

ADVERTIMENT. La consulta d'aquesta tesi queda condicionada a l'acceptació de les següents condicions d'ús: La difusió d'aquesta tesi per mitjà del servei TDX (www.tesisenxarxa.net) ha estat autoritzada pels titulars dels drets de propietat intel·lectual únicament per a usos privats emmarcats en activitats d'investigació i docència. No s'autoritza la seva reproducció amb finalitats de lucre ni la seva difusió i posada a disposició des d'un lloc aliè al servei TDX. No s'autoritza la presentació del seu contingut en una finestra o marc aliè a TDX (framing). Aquesta reserva de drets afecta tant al resum de presentació de la tesi com als seus continguts. En la utilització o cita de parts de la tesi és obligat indicar el nom de la persona autora.

ADVERTENCIA. La consulta de esta tesis queda condicionada a la aceptación de las siguientes condiciones de uso: La difusión de esta tesis por medio del servicio TDR (www.tesisenred.net) ha sido autorizada por los titulares de los derechos de propiedad intelectual únicamente para usos privados enmarcados en actividades de investigación y docencia. No se autoriza su reproducción con finalidades de lucro ni su difusión y puesta a disposición desde un sitio ajeno al servicio TDR. No se autoriza la presentación de su contenido en una ventana o marco ajeno a TDR (framing). Esta reserva de derechos afecta tanto al resumen de presentación de la tesis como a sus contenidos. En la utilización o cita de partes de la tesis es obligado indicar el nombre de la persona autora.

WARNING. On having consulted this thesis you're accepting the following use conditions: Spreading this thesis by the TDX (www.tesisenxarxa.net) service has been authorized by the titular of the intellectual property rights only for private uses placed in investigation and teaching activities. Reproduction with lucrative aims is not authorized neither its spreading and availability from a site foreign to the TDX service. Introducing its content in a window or frame foreign to the TDX service is not authorized (framing). This rights affect to the presentation summary of the thesis as well as to its contents. In the using or citation of parts of the thesis it's obliged to indicate the name of the author

Metodología para la
evaluación y seguimiento
de procedimientos
constructivos de forma
sostenible e integrada.

tesis doctoral realizada por:

Maria del Mar Casanovas Rubio

dirigida por:

Gonzalo Ramos Schneider

Barcelona, [septiembre de 2014](#)

Universitat Politècnica de Catalunya
Departament d'Enginyeria de la Construcció

TESIS DOCTORAL

Agradecimientos

Quiero expresar mi agradecimiento a mi director de tesis, el catedrático Gonzalo Ramos Schneider, por su orientación y guía durante todo el desarrollo de la tesis. Su ayuda y consejos, siempre dotados de una visión realista y práctica, han contribuido de forma decisiva en la elaboración del trabajo.

Me gustaría agradecer también al catedrático Ángel Aparicio Bengoechea sus amables y valiosos consejos durante todos estos años.

Quiero agradecer al profesor y experto en prevención de riesgos laborales José Hernández Paterna, su buena disposición y su gran aportación e implicación en la investigación.

Mi agradecimiento al profesor Manuel Valdés López por compartir conmigo su extensa experiencia en la compleja ejecución de obras urbanas y facilitarme el contacto con otros expertos.

Mi agradecimiento al vice-rector Jaume Armengou Orús por confiar en mí y por el apoyo recibido.

Agradezco a los profesores Alison Ahearn y Sunday Popo-Ola darme la oportunidad de realizar una estancia en el prestigioso Imperial College London.

La presente tesis doctoral se ha podido realizar gracias al soporte del Ministerio de Economía y Competitividad a través de una beca para la Formación de Personal Investigador (FPI) [BES-2008-002621] en la Universitat Politècnica de Catalunya dentro del proyecto de investigación [BIA2006-15471-C02-01]. La estancia breve en el Imperial College London tuvo el apoyo de un complemento de beca [EEBB-I-12-03701]. La autora quiere agradecer al Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos el apoyo recibido.

Mi reconocimiento a todas las personas que he entrevistado o me han facilitado algún tipo de información que ha contribuido a la elaboración de la tesis, ya sea en el ámbito de la toma de decisiones en la construcción, los riesgos laborales, el impacto ambiental, el impacto social o las aplicaciones prácticas de la metodología a obras:

Alison Ahearn - Imperial College London

Alberto Aldonza Vidales - Sacyr

Ángel Aparicio Bengoechea - UPC

Ramon Ariño Tarragó - Agbar

Josep Armengol Tomás - Abertis

Rafael Batista Terrones - Sacyr

Ignacio Batlle Artal - Sacyr

Pier Berglund - Entorn

Albert Bové Chic - Infraestructures de la Generalitat de Catalunya

Enric Castellví Arasa - Agbar

Juliana Claudino Véras - Universidade de Pernambuco

Josep Maria Coll Estruga - Ayuntamiento de Barcelona

Laia Eraso Fornells - Inypsa

Raúl García - Gas Natural Fenosa

Miquel García Sanjuan - Ayuntamiento de Barcelona
José Hernández Paterna - Generalitat de Catalunya
María Ángeles Horna - Cementos Molins
Ramon Juanola Subirana - Ministerio de Fomento
David Lozano Masferrer - BCNsit
Adriana Malé Tolo - Ayuntamiento de Barcelona
Josep Maria Miranda Garuz - Acefat
Rubén Monter Lázaro - Gas Natural Fenosa
Josep Maria Mulet Camarasa - Generalitat de Catalunya
Mónica Pérez - Cementos Molins
Sunday Popo-Ola - Imperial College London
Gonzalo Ramos Schneider - UPC
Miguel Torán Villanueva - Infraestructuras de la Generalitat de Catalunya
Manuel Valdés López - Ayuntamiento de Barcelona
Mercedes Vázquez - Adif
Jordi Vidal Sánchez - Endesa
Miriam Villares Junyent - UPC

Quiero agradecer a mi familia su ayuda en todo momento, apoyo y comprensión en todas mis decisiones y proyectos.

Agradezco a mis amigos y compañeros de tesis los momentos que hemos compartido y las interesantes conversaciones durante los almuerzos: Marta, Anna R., Giorgio, Carlos, Matías, Catalina, Miriam, Ander, Astrid, Anna M., Miquel, Ana F., Bernat, Nelson, Juliana, Eduardo, Fernando... Mi agradecimiento, también, a los compañeros del Imperial College London por hacer mi estancia allí más agradable.

A todos, muchas gracias.

Resumen

En la presente tesis doctoral se define una metodología que permite evaluar y comparar de forma objetiva y sistematizada distintos procedimientos constructivos integrando aspectos tan diversos como el coste, los riesgos laborales, el impacto ambiental y el impacto social. La metodología permite, a la administración o cualquier otra entidad, en la fase de licitación de una obra, cuantificar y comparar el impacto de las distintas alternativas presentadas a concurso, priorizarlas y elegir la mejor desde un punto de vista multicriterio. También permite, en la fase de ejecución de una obra, evaluar y comparar el impacto de la obra planificada en proyecto con el impacto de la obra que se está ejecutando y solicitar correcciones o medidas compensatorias equivalentes en caso de desvío. La metodología se estructura a partir de la teoría de utilidad multiatributo, considerada como la más adecuada de entre todos los métodos de ayuda a la decisión estudiados.

En primer lugar se ha definido un Índice de Riesgo Laboral (IRL) que permite cuantificar los riesgos laborales de los procedimientos constructivos. El IRL depende de las horas de trabajo dedicadas a cada actividad con riesgo y, por tanto, se puede calcular a partir de los datos de proyecto. Para desarrollar el índice, se han tipificado los riesgos laborales de la construcción y las actividades en las que están presentes y, para cada actividad con riesgo, se ha definido la probabilidad de ocurrencia y la consecuencia más probable en caso de producirse el accidente. El IRL permite priorizar los procedimientos constructivos respecto a los riesgos laborales y elegir el que implique menos riesgos para los trabajadores. También permite detectar las actividades con más riesgo e introducir mejoras. Anteriormente no existía ningún índice similar específico de la construcción.

El impacto ambiental de un procedimiento constructivo no se produce únicamente durante la fase de ejecución de una obra sino que también se produce en las fases anteriores (extracción, manufactura y transporte de los materiales de construcción). En la tesis se han estudiado los impactos ambientales y las fases en las que se producen y se han definido distintas formas de medirlos en función de los datos disponibles. Se incluyen valores promedios de consumos de energía y emisiones de gases de efecto invernadero obtenidos de bases de datos y cálculos realizados en la tesis. Estos datos se pueden utilizar para el cálculo del impacto en caso de no disponer de información más precisa. La metodología es sensible al consumo de materiales, reutilización y reciclaje, ahorro energético, emisión de gases de efecto invernadero y contaminantes atmosféricos, generación de residuos, afección a entornos sensibles, etc. La metodología permite priorizar los procedimientos constructivos respecto al impacto ambiental, elegir el mejor e introducir mejoras.

Los impactos sociales producidos por una obra, especialmente en zona urbana, (afección al transporte, peatones, comercios, ruido, etc.) son los más complejos de analizar y los menos regulados y estudiados hasta el momento. En la tesis se identifican y tipifican los distintos impactos sociales producidos por la ejecución de las obras y se define la forma de medir cada uno de ellos de manera objetiva y sistematizada. La posibilidad de cuantificar el impacto social se considera una de las principales innovaciones de la tesis, lo que permite priorizar los distintos

procedimientos constructivos respecto al impacto social, elegir el mejor e introducir mejoras.

Otra aportación importante de la metodología es que permite integrar los distintos impactos, junto al coste, en una misma evaluación. También permite integrar los intereses de las distintas partes implicadas: administración, personas afectadas durante la obra, constructoras, etc.

La metodología se ha aplicado con éxito a cuatro proyectos constructivos ejecutados por estudiantes del Imperial College London en el Reino Unido y a las obras de dos pozos de ventilación y salida de emergencia de un túnel a Barcelona. Las aplicaciones prácticas han permitido ajustar y mejorar la metodología. Con estos datos se ha realizado un análisis de sensibilidad de los resultados a la variación de los pesos concluyéndose que los resultados y la metodología son muy estables. Las aplicaciones prácticas y el análisis de sensibilidad validan la metodología.

La metodología es flexible, fácilmente aplicable y se puede adaptar a cualquier tipo de obra (desde la más sencilla hasta la más compleja), en cualquier entorno (urbano, periurbano y rural) y en las diferentes fases de un proyecto (diseño, licitación y ejecución de obra).

La metodología desarrollada está basada en el análisis de más de 150 legislaciones europeas y españolas sobre prevención de riesgos laborales, impacto ambiental e impacto social relacionadas con el sector de la construcción, en la revisión de más de 240 publicaciones científicas y técnicas y en la realización de entrevistas a más de 30 expertos en los distintos ámbitos que abarca la metodología.

Resum

En la present tesi doctoral es defineix una metodologia que permet avaluar i comparar de forma objectiva i sistematitzada diferents procediments constructius integrant aspectes tan diversos com el cost, els riscos laborals, l'impacte ambiental i l'impacte social. La metodologia permet, a l'administració o qualsevol altra entitat, en la fase de licitació d'una obra, quantificar i comparar l'impacte de les diferents alternatives presentades a concurs, prioritzar-les i elegir la millor des d'un punt de vista multicriteri. També permet, en la fase d'execució d'una obra, avaluar i comparar l'impacte de l'obra planificada al projecte amb l'impacte de l'obra que s'està executant i sol·licitar correccions o mesures compensatòries equivalents en cas de desviament. La metodologia s'estructura a partir de la teoria d'utilitat multiatribut, considerada com la més adequada entre tots els mètodes d'ajuda a la decisió estudiats.

Primerament, s'ha definit un Índex de Risc Laboral (IRL) que permet quantificar els riscos laborals dels procediments constructius. L'IRL depèn de les hores de treball dedicades a cada activitat amb risc i, per tant, es pot calcular a partir de les dades de projecte. Per desenvolupar l'índex s'han tipificat els riscos laborals de la construcció i les activitats en les que hi són presents i, per a cada activitat amb risc, s'ha definit la probabilitat d'ocurrència i la conseqüència més probable en cas de produir-se l'accident. L'IRL permet prioritzar els procediments constructius respecte als riscos laborals i elegir el que impliqui menys riscos per als treballadors. També permet detectar les activitats amb més risc i introduir millores. Anteriorment no existia un índex similar específic de la construcció.

L'impacte ambiental d'un procediment constructiu no es produeix només durant la fase d'execució sinó que es produeix també en les fases anteriors (extracció, manufactura i transport dels materials de construcció). En la tesi s'han estudiat els impactes ambientals i les fases en que es produeixen i s'han definit diferents formes de mesurar-los en funció de les dades disponibles. S'inclouen valors promitjos de consums d'energia i emissions de gasos d'efecte hivernacle obtinguts de bases de dades i de càlculs realitzats a la tesi. Aquestes dades es poden utilitzar per al càlcul de l'impacte en cas de no disposar d'informació més precisa. La metodologia és sensible al consum de materials, la reutilització i el reciclatge, l'estalvi energètic, l'emissió de gasos d'efecte hivernacle i contaminants atmosfèrics, la generació de residus, l'afecció a entorns sensibles, etc. La metodologia permet prioritzar els procediments constructius respecte a l'impacte ambiental, elegir el millor i introduir millores.

Els impactes socials produïts per una obra, especialment en zona urbana, (afecció al transport, vianants, comerços, soroll, etc.) són els més complexos d'analitzar i els menys regulats i estudiats fins al moment. En la tesi s'identifiquen i es tipifiquen els diferents impactes socials produïts per l'execució d'una obra i es defineix la forma de mesurar cadascun d'aquests impactes de manera objectiva i sistematitzada. La possibilitat de quantificar l'impacte social es considera una de les principals aportacions de la tesi. Això permet prioritzar els diferents procediments constructius respecte a l'impacte social, elegir el millor i introduir millores.

Una altra aportació important de la metodologia és que permet integrar els diferents impactes, juntament amb el cost, dins d'una mateixa avaluació. També permet integrar

els interessos de les diferents parts implicades: administració, persones afectades durant l'obra, constructores, etc.

La metodologia s'ha aplicat amb èxit a quatre projectes constructius executats per estudiants de l'Imperial College London al Regne Unit i a les obres de dos pous de ventilació i sortida d'emergència d'un túnel a Barcelona. Les aplicacions pràctiques han permès ajustar i millorar la metodologia. Amb aquestes dades s'ha realitzat un anàlisi de sensibilitat dels resultats a la variació dels pesos conclouent que els resultats i la metodologia són molt estables. Les aplicacions pràctiques i l'anàlisi de sensibilitat validen la metodologia.

La metodologia és flexible, fàcilment aplicable i es pot adaptar a qualsevol tipus d'obra (des de les més senzilles fins a les més complexes), en qualsevol entorn (urbà, periurbà i rural) i en les diferents fases d'un projecte (disseny, licitació i execució d'obra).

La metodologia desenvolupada està basada en l'anàlisi de més de 150 legislacions europees i espanyoles sobre prevenció de riscos laborals, impacte ambiental i impacte social relacionades amb el sector de la construcció, en la revisió de més de 240 publicacions científiques i tècniques i en la realització d'entrevistes a més de 30 experts en els diferents àmbits d'abast de la metodologia.

Abstract

This doctoral thesis defines a new methodology for evaluating and comparing different construction projects in an objective and systematic manner. It is innovative by incorporating issues as diverse as cost, occupational risks, environmental impact, and social impact. The methodology enables public administrations or other entities, during the construction tender stage, to quantify and compare the impact of the different construction options, to prioritise them, and to select the best based on a multi-criteria analysis. The proposed methodology can assess the impact of actual work during construction and contrast it with the impact predicted at the design stage, enabling corrective measures to be proposed timeously. The methodology is based on the multi-attribute utility theory, which was found to be the most appropriate theory among all multi-criteria decision aid methods reviewed.

An occupational risk index (ORI) that allows the quantification of occupational risks in construction work is defined. The ORI is based solely on a given project's design and its resulting construction process and a project's ORI is a function of the total amount of work to be devoted to each risk activity. Occupational risks in construction work - and the activities in which the risks are present - have been categorised and, for each risk activity, the probability of occurrence and the most probable consequence have been determined. The ORI allows the prioritisation of the construction processes in terms of occupational risks and the selection of the least occupationally-risky construction process. It also enables the detection of the most risky activities and the introduction of improvements. Prior to the ORI, no similar index specific to construction work existed.

A construction project has environmental impacts not only during the construction work stage but also during the preceding stages (extraction, manufacturing and transport of construction materials). The environmental impacts of the different stages in construction projects have been studied and different ways for measuring them have been defined according to data availability. The thesis includes average values of energy consumption and greenhouse gas emissions obtained from databases and from calculations in the thesis. This data can be used for the environmental impact calculations in cases where more accurate local data is not available. The methodology is sensitive to material consumption, reuse and recycling, energy saving, greenhouse gas and air pollutant emissions, waste generation, effects on sensitive environments and suchlike. The methodology enables the prioritisation of the construction projects, the selection of the best alternative and the introduction of improvements in terms of environmental impact.

Social impacts due to construction work, especially in urban areas, (effects on transport, pedestrians, shops, noise and others) are very complex to analyse and the hitherto least studied and regulated type of impact. The different types of social impacts produced during construction work are identified and classified. An objective and systematic manner of measuring each one of these impacts is defined. The ability to quantify these social impacts is considered to be one of the main innovations of the thesis. This enables the prioritisation of the construction projects, the selection of the best alternative and the introduction of improvements in terms of social impact.

Another significant contribution of the methodology is the incorporation of the different types of impacts, including the cost, in the same evaluation. Furthermore, it enables the incorporation of the interests of the different stakeholders: developers, people affected during construction work, constructors, and others specific to a given project.

The methodology has been successfully applied in field trials: to four construction projects built by Imperial College London students in the United Kingdom and to two ventilation and emergency exit shafts of a tunnel in Barcelona. These applications have helped fine-tuning of the methodology through adjustments and improvements. Using the data from these applications, a sensitivity analysis was carried out by modifying the weightings from which it can be deduced that the results and the methodology are robust. The field applications of the methodology and the sensitivity analysis validate the methodology.

The methodology is flexible, readily applied and can be adapted to any kind of construction work (from the simplest to the most complex), in any environment (urban, periurban and rural) and in different stages of a construction project (design, tender and construction work).

The methodology is based on the analysis of more than 150 pieces of European and Spanish legislation on occupational risk prevention, environmental and social impacts related to construction work; on the review of more than 240 scientific and technical publications; and on interviews with more than 30 experts drawn from the different fields included in the methodology.

Sumario

1. Introducción.....	1
2. Objetivos y estructura del documento de tesis doctoral.....	3
2.1. Objetivos	3
2.1.1. Objetivo general	3
2.1.2. Objetivos específicos.....	4
2.2. Estructura del documento de tesis doctoral	5
3. Métodos de ayuda a la decisión multicriterio	9
3.1. Introducción.....	9
3.2. Estado del conocimiento de los métodos de ayuda a la decisión multicriterio y propuestas de utilización.....	10
3.2.1. Teorías de decisión multicriterio.....	10
3.2.2. Métodos de construcción de la función valor	12
3.2.3. Métodos de ponderación.....	15
3.2.4. Métodos de agregación de preferencias	20
3.3. Investigación preliminar	21
3.3.1. Introducción	21
3.3.2. Objetivos.....	21
3.3.3. Método de trabajo.....	22
3.3.4. Conclusiones de la primera ronda de entrevistas	23
3.3.4.1. Respecto a la utilidad de la metodología y su interés.....	23
3.3.4.2. Respecto al árbol de valor.....	23
3.3.4.3. Respecto a la aplicación práctica de los métodos de asignación de pesos	26
3.3.4.4. Respecto a la asignación de pesos realizada.....	27
4. Metodología para la evaluación y el seguimiento de procedimientos constructivos.....	33
4.1. Definición del árbol de impacto	33
4.2. Definición de los indicadores.....	35
4.2.1. Indicador del impacto económico	35
4.2.2. Indicadores de riesgos laborales, impacto ambiental e impacto social.....	36
4.3. Determinación de la función valor de cada indicador.....	37

4.4. Asignación de pesos a las categorías, criterios y subcriterios	39
4.5. Definición del conjunto de alternativas	47
4.6. Priorización de alternativas	47
5. Riesgos laborales.....	49
5.1. Introducción.....	49
5.2. Estado del conocimiento de las metodologías para la evaluación de los riesgos laborales en la construcción	50
5.2.1. Evaluación de riesgos laborales del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo	51
5.2.2. Nota Técnica de Prevención 330: Sistema simplificado de evaluación de riesgos de accidente del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.....	52
5.2.3. Monografía M-17 de ACHE, Recomendaciones relativas a seguridad y salud para la ejecución de estructuras de hormigón: Puentes y Estructuras de edificación convencionales.....	54
5.2.4. Método Fine: evaluación matemática para el control de riesgos	55
5.3. Nueva metodología	57
5.3.1. Índice de Riesgo Laboral (IRL).....	57
5.3.2. Exposición a los principales riesgos laborales en la construcción (cómputo de horas-persona para cada riesgo)	59
6. Impacto ambiental.....	71
6.1. Introducción.....	71
6.2. Estado del conocimiento	72
6.2.1. Responsabilidad medioambiental.....	72
6.2.2. Acceso a la información y participación pública	73
6.2.3. Evaluación de Impacto Ambiental y Evaluación Ambiental Estratégica.....	73
6.2.4. Evaluación ambiental en las obras de construcción.....	75
6.3. Nueva metodología	75
6.3.1. Criterios y fases.....	75
6.3.2. Índice de Impacto Ambiental (IIA)	78
6.3.3. Indicadores	78
7. Impacto social	87
7.1. Introducción.....	87
7.2. Estado del conocimiento	88

7.2.1. Publicaciones científicas y técnicas	88
7.2.2. Legislación y manuales técnicos municipales	90
7.3. Nueva metodología	90
7.3.1. Criterios	90
7.3.2. Índice de Impacto Social (IIS).....	93
7.3.3. Indicadores	93
8. Aplicaciones prácticas de la metodología	111
8.1. Aplicación a los proyectos del Constructionarium	111
8.2. Aplicación a dos pozos de ventilación y emergencia de la L.A.V.....	113
8.2.1. Obtención de la información y cálculo de los indicadores	114
8.2.2. Cálculo del impacto global y análisis de resultados	139
8.3. Conclusiones de las aplicaciones prácticas	142
8.3.1. Conclusiones de los resultados del cálculo del impacto global de la ejecución de los pozos	142
8.3.2. Mejoras introducidas en la metodología gracias a su aplicación práctica.	142
9. Análisis de sensibilidad.....	145
9.1. Introducción.....	145
9.2. Análisis de sensibilidad e intervalos de estabilidad.....	145
9.3. Análisis de sensibilidad utilizando los conjuntos de pesos asignados por los expertos.....	153
10. Conclusiones y futuras líneas de investigación.....	157
10.1. Conclusiones y futuras líneas de investigación por ámbitos	157
10.1.1. Métodos de ayuda a la decisión multicriterio y su aplicación en la metodología de la tesis.....	157
10.1.2. Riesgos laborales	158
10.1.3. Impacto ambiental	159
10.1.4. Impacto social.....	162
10.2. Conclusiones y futuras líneas de investigación globales	163
Referencias	165
Referencias generales	165
Referencias sobre métodos de ayuda a la decisión multicriterio	167
Referencias sobre riesgos laborales	170

Referencias sobre impacto ambiental	177
Referencias sobre impacto social	182
A. Riesgos laborales	185
A.1. Cómputo de horas-persona para cada riesgo laboral considerado	187
A.1.1. Caída de personas a distinto nivel – Trabajos en altura o en profundidad con desnivel superior a 2 m.....	187
A.1.2. Contacto eléctrico directo o indirecto – Trabajos eléctricos, próximos a líneas eléctricas o con maquinaria eléctrica en condiciones húmedas	189
A.1.3. Quemaduras por incendio y explosión debido a rotura accidental de tubería – Trabajos en proximidad de conducciones de combustibles	195
A.1.4. Inhalación de gas – Trabajos cerca de tuberías de gas	196
A.1.5. Asfixia causada por sepultamiento por desprendimiento de materiales – Movimiento de tierras, excavaciones, pozos, trabajos subterráneos y túneles...	196
A.1.6. Proyección de partículas y explosión accidental – Voladuras en excavaciones, pozos, trabajos subterráneos y túneles	197
A.1.7. Accidente disbárico o por descompresión – Trabajos en condiciones hiperbáricas	198
A.1.8. Golpes o atrapamiento por movimiento o desprendimiento de carga – Manejo de cargas mediante medios mecánicos	199
A.1.9. Golpes en extremidades superiores o inferiores – Manejo manual de cargas.....	200
A.1.10. Atropello o golpes debidos a maquinaria o vehículos pesados – Trabajos con maquinaria o vehículos pesados	201
A.1.11. Cortes, heridas y golpes debido a maquinaria no pesada – Trabajo con maquinaria no pesada o herramientas manuales que cortan, perforan o dan golpes	203
A.1.12. Quemaduras – Soldadura, corte oxiacetilénico y adhesión de lámina asfáltica al soporte mediante soplete	204
A.1.13. Golpes por proyección o caída de elementos sobre trabajadores – Derribo o demolición manual, mecánica o mediante explosivos; perforación de barrenos previa a la voladura de un desmonte y posterior saneamiento y reconocimiento del terreno	205
A.1.14. Intoxicaciones por polvo o tóxicos – Derribos o demoliciones generales o de hospitales, industrias, mataderos o cualquier otro lugar que pueda contener sustancias tóxicas por medios manuales, mecánicos o explosivos.	206
A.1.15. Asfixia o intoxicaciones en espacios confinados – Trabajos en espacios confinados	206
A.1.16. Ahogo – Trabajos en zonas con riesgo de avenidas	210

A.1.17. Colisión o atropello debido a tráfico externo a la obra – Trabajo en zonas con tráfico externo a la obra	210
A.1.18. Accidente de tráfico – Transporte de elementos a obra	211
A.1.19. Riesgo estructural o riesgo macro – Operaciones complejas	211
A.1.20. Caídas al mismo nivel – Todos los trabajos.....	213
A.1.21. Golpe de calor, lesiones por frío, quemaduras por radiación solar – Trabajos a la intemperie en condiciones climáticas adversas.....	213
A.1.22. Aumento de la probabilidad de producirse algún siniestro – Trabajo nocturno o en condiciones de visibilidad reducida	214
A.1.23. Lesiones dorsolumbares – Manipulación manual de cargas	215
A.1.24. Problemas osteoarticulares – Trabajos con exposición a vibraciones mecánicas	216
A.1.25. Hipoacusia laboral o sordera – Trabajos con exposición al ruido.....	216
A.1.26. Enfermedades descompresivas – Trabajos en condiciones hiperbáricas.....	217
A.1.27. Enfermedades provocadas por el amianto – Trabajos con susceptibilidad de exposición al amianto	217
A.1.28. Daños en la salud derivados de las radiaciones ionizantes – Trabajo con maquinaria generadora de radiaciones ionizantes.....	218
A.1.29. Silicosis – Trabajos que produzcan concentraciones elevadas de polvo silíceo	219
A.2. Legislación, guías técnicas, notas técnicas y otros documentos de referencia utilizados en la definición de cada riesgo.....	219
A.3. Legislación europea y española sobre seguridad y salud consultada .	228

B. Impacto ambiental 239

B.1. Criterios, subcriterios e indicadores de impacto ambiental considerados	241
B.1.1. Consumo de recursos	241
B.1.1.1. Consumo de materiales	241
B.1.1.2. Consumo de energía	244
B.1.2. Generación de residuos y emisión de contaminantes	269
B.1.2.1. Emisión de gases de efecto invernadero.....	271
B.1.2.2. Emisión de contaminantes a la atmosfera.....	282
B.1.2.3. Contaminación acústica sobre entorno natural	288
B.1.2.4. Generación de residuos no peligrosos	293
B.1.2.5. Generación de residuos tóxicos, contaminantes o peligrosos	295
B.1.3. Afectación a entornos sensibles	298
B.1.3.1. Afectación al dominio público hidráulico.....	298

B.1.3.2. Afectación al dominio público marítimo-terrestre.....	300
B.1.3.3. Afectación a espacios naturales protegidos	301
B.1.3.4. Afectación a especies silvestres en régimen de protección especial.....	302
B.1.3.5. Afectación a espacios naturales no protegidos	303
B.2. Legislación europea y española sobre medioambiente consultada.....	304
C. Impacto social.....	313
C.1. Criterios, subcriterios e indicadores de impacto social considerados..	315
C.1.1. Afectación a servicios	315
C.1.1.1. Servicios de suministro y evacuación a garantizar	315
C.1.1.2. Servicios públicos desplazables o prescindibles.....	318
C.1.1.3. Tiempo sin la prestación del servicio que se está construyendo (no relacionado con la movilidad).....	321
C.1.1.4. Centros de alta sensibilidad.....	322
C.1.1.5. Contaminación acústica sobre residentes en viviendas.....	326
C.1.1.6. Negocios	328
C.1.1.7. Sector primario y secundario	336
C.1.1.8. Espacios verdes y arbolado.....	337
C.1.1.9. Riesgo de afección patrimonio	339
C.1.2. Afectación a la movilidad	340
C.1.2.1. Vehículos de emergencia	341
C.1.2.2. Transporte colectivo	343
C.1.2.3. Transporte no colectivo	350
C.1.2.4. Bicicletas.....	356
C.1.2.5. Peatones.....	358
C.1.2.6. Tiempo sin la prestación del servicio de movilidad que se está construyendo	361
C.2. Legislación española, autonómica y local consultada	362
D. Planos de la aplicación práctica de la metodología	365

Capítulo 1

Introducción

Las infraestructuras son el soporte imprescindible para que los ciudadanos dispongan de unos servicios seguros y de calidad, además de un instrumento eficaz para impulsar el desarrollo económico y la cohesión social y territorial. No obstante, el sector de la construcción ha pasado de ser uno de los pilares de la economía española, representando una inversión en infraestructuras de 14.237 millones de euros en los presupuestos generales del estado del año 2007 (Ley 42/2006), a ser un sector gravemente afectado por la crisis, viéndose la anterior inversión reducida prácticamente a un tercio, 5.454 millones de euros, en los presupuestos del año 2014 (Ley 22/2013).

Tanto en épocas de crecimiento, por el volumen de obras, como en épocas de recesión, por la escasez de recursos, es necesario realizar una buena gestión de las obras públicas.

Tradicionalmente, el desarrollo de un proyecto se ha valorado en términos de tiempo, coste y calidad. Hoy en día, la sociedad es más consciente de las consecuencias que las acciones humanas tienen sobre el entorno natural y sobre las personas. Cada vez existe una mayor participación ciudadana en las decisiones de los proyectos de construcción que les afectan y las administraciones públicas toman más medidas para minimizar las molestias e impactos que las obras causan a los ciudadanos. Como refleja el programa de investigación Horizonte 2020 de la Comisión Europea, se busca un crecimiento inteligente, sostenible e integrador.

Dentro de impacto social, las normativas en prevención de riesgos laborales han avanzado mucho en los últimos años. Aun así, la construcción es el tercer sector con mayor ratio de accidentes mortales en España, después del sector de la pesca y la minería y el segundo sector con mayor ratio de accidentes no mortales después de la minería, muy por encima de otros sectores, según datos de 2008 obtenidos de LABORSTA Internet (2008) (base de datos sobre estadísticas del trabajo elaborada por el Departamento de Estadística de la Oficina Internacional del Trabajo). La seguridad y salud en las obras se centra mayoritariamente en la adopción de las

medidas preventivas necesarias según el procedimiento constructivo una vez éste ya ha sido definido, teniendo poca influencia en el diseño y en la definición del mismo (Seo y Choi, 2008).

Paralelamente a la evolución de la sociedad en los últimos años, los ingenieros se han vuelto cada vez más conscientes de los impactos sociales, ambientales y económicos de los proyectos, es decir, de la sostenibilidad de los proyectos.

La definición más conocida de desarrollo sostenible es la del informe Brundtland: aquél que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer las propias (ONU, 1987). En Bakhoum y Brown (2012) se definen las tres ramas de la sostenibilidad de la siguiente forma:

- Sostenibilidad económica: el aumento de los beneficios mediante un uso de los recursos más eficiente incluyendo la mano de obra, los materiales, la energía y el agua.
- Sostenibilidad medioambiental: la protección del medioambiente frente al impacto de las emisiones y los residuos haciendo un uso de recursos racional.
- Sostenibilidad social: reconocer las necesidades de todas las partes implicadas y afectadas por la construcción, desde el inicio de un proyecto hasta la demolición, incluyendo los trabajos de construcción y los usuarios.

Aunque existe una amplia difusión del desarrollo sostenible como concepto, existen pocos medios para hacer una valoración cuantitativa de los proyectos constructivos desde un punto de vista multicriterio que incluya los aspectos sociales, ambientales y económicos, es decir, aspectos de características muy diferentes entre sí, y que integre los intereses diversos de las múltiples partes implicadas: administración, personas afectadas durante la obra, constructoras, etc.

Por todo ello y para conseguir que las obras generen el mínimo impacto global en beneficio general de la sociedad, se considera necesario incluir los anteriores aspectos en la toma de decisiones en el sector de la construcción. En el presente trabajo se aborda esta necesidad y se define una metodología que permite medir y cuantificar de forma objetiva y sistematizada el impacto generado por las obras de construcción. De esta forma se pueden tomar decisiones fruto del análisis ordenado de información. Para este fin, se cuenta con las técnicas de análisis de decisión multicriterio, que son métodos de ayuda a la decisión específicos para cuando hay que satisfacer varios objetivos en conflicto.

Capítulo 2

Objetivos y estructura del documento de tesis doctoral

2.1. OBJETIVOS

2.1.1. Objetivo general

El objetivo general de la tesis es definir una metodología que permita a la administración pública o a cualquier otra entidad, empresa o persona, evaluar el impacto de las obras de construcción en su fase de diseño y realizar un seguimiento en su fase de ejecución para la optimización global del procedimiento constructivo. De esta forma, la metodología permite:

- En la fase de licitación de la construcción de una obra: cuantificar, evaluar y comparar el impacto de las diferentes alternativas presentadas a concurso, priorizarlas y elegir la que genere un menor impacto global.
- En la fase de ejecución de una obra: evaluar y comparar el impacto de la obra planificada en proyecto con el impacto real de la obra que se está construyendo, identificar los aspectos que están teniendo un desvío de impacto, cuantificar el desvío y solicitar correcciones o medidas compensatorias equivalentes por el desvío producido.

Se trata de definir una metodología para la ayuda a las decisiones relacionadas con la construcción que permita integrar de forma objetiva y sistematizada todos los aspectos que se crean relevantes como los riesgos laborales, el impacto ambiental y el impacto social, además del coste, ya considerado tradicionalmente.

La metodología tiene que ser suficientemente exhaustiva y flexible para que pueda adaptarse a distintos entornos y situaciones, simplemente eliminando los subcriterios que no sean relevantes y ajustando las importancias asignadas. Para cada obra que se desee evaluar se tiene que establecer una frecuencia de aplicación de la metodología, de acuerdo a las características de la obra.

2.1.2. Objetivos específicos

Para conseguir el objetivo general de la tesis, es necesario conseguir previamente una serie de objetivos específicos:

1. Realizar una revisión del estado del conocimiento de los métodos de ayuda a la decisión multicriterio y decidir, en base a ella, cuál es la teoría más adecuada para aplicarla a la toma de decisiones en la construcción.
2. Una vez decidida la teoría de decisión, definir las características específicas de la metodología.
3. Definir las categorías, criterios, subcriterios, árbol de impacto y pesos relativos iniciales a partir de una primera ronda de entrevistas a expertos en la toma de decisión en la construcción.
4. Elegir el método de asignación de pesos que se considere más apropiado para la asignación de pesos finales de la metodología en base a la experiencia práctica obtenida en la primera ronda de entrevistas.
5. Definir el indicador de riesgos laborales a partir de una revisión exhaustiva de la legislación europea y española aplicable y vigente, notas técnicas, guías técnicas, publicaciones científicas y numerosas entrevistas a expertos en prevención de riesgos laborales.
6. Definir los criterios, subcriterios e indicadores de impacto ambiental a partir de una revisión exhaustiva de la legislación europea y española aplicable y vigente, de publicaciones científicas y técnicas y de entrevistas a expertos en impacto ambiental de las obras.
7. Definir los criterios, subcriterios e indicadores de impacto social a partir de una revisión de la escasa legislación española, autonómica y local aplicable y vigente, de publicaciones científicas y de numerosas entrevistas a expertos en gestión de obras en entorno urbano.
8. A partir de los objetivos 5, 6 y 7, definir el árbol de impacto de la metodología final que integre el coste, los riesgos laborales, el impacto ambiental y el impacto social.
9. Definir unos pesos orientativos para todas las categorías, criterios y subcriterios del árbol de impacto en distintos entornos (urbano, periurbano y rural) a partir de una ronda de entrevistas realizadas a expertos en la toma de decisiones en la construcción.
10. Probar el funcionamiento de la metodología mediante su aplicación práctica a varias obras reales e introducir las mejoras que se estimen oportunas.
11. A partir de los datos obtenidos en la aplicación práctica de la metodología, realizar un análisis de sensibilidad, es decir, de cómo varían los resultados de impacto global de las alternativas al variar los pesos de las categorías, criterios y subcriterios y extraer conclusiones.

2.2. ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO DE TESIS DOCTORAL

El documento de tesis doctoral se estructura en diez capítulos, que se relacionan tal como se indica en la figura 2.1.

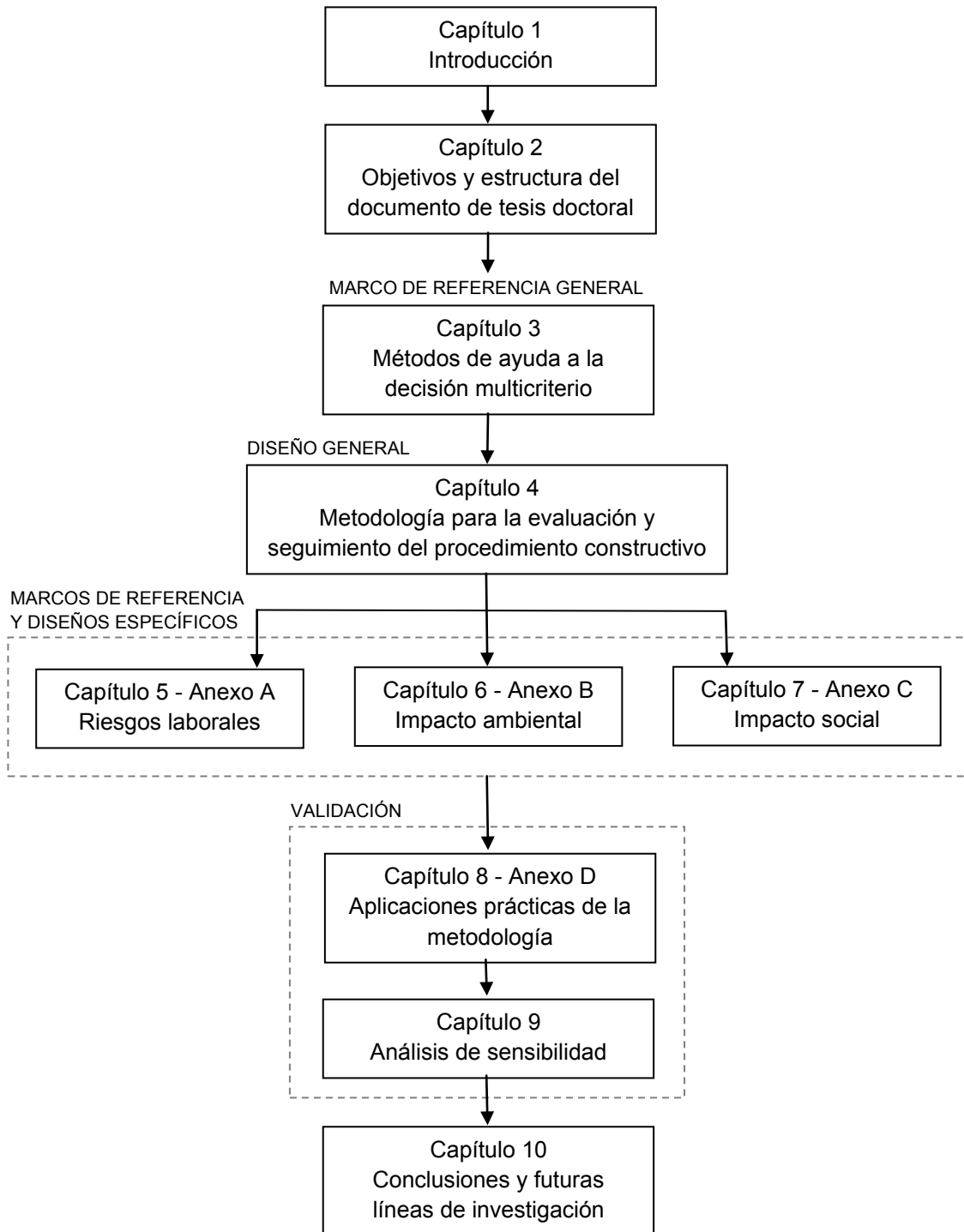


Figura 2.1. Estructura del documento de tesis doctoral.

A continuación se describen los contenidos de cada capítulo del documento de tesis doctoral:

En el *Capítulo 1* se introducen los antecedentes de la tesis doctoral.

En el *Capítulo 2* se describen los objetivos generales y específicos de la tesis doctoral y la estructura del documento.

En el *Capítulo 3* se aborda el estado del conocimiento de los métodos de ayuda a la decisión multicriterio, se extraen conclusiones y se adopta la teoría que se considera más adecuada para su aplicación en la toma de decisiones en la construcción incluyendo: el método de obtención de la función valor, el método de agregación de preferencias y varios métodos de asignación de pesos. En una primera ronda de entrevistas a expertos se prueban los métodos de asignación de pesos seleccionados y se elige el que se considera más adecuado de acuerdo a la aplicación práctica.

En el *Capítulo 4*, una vez definido el marco de referencia sobre métodos de ayuda a la decisión multicriterio, se diseña una metodología específica para la evaluación y seguimiento del procedimiento constructivo incluyendo: la definición del árbol de impacto, las funciones impacto de los indicadores, asignación de pesos orientativos, etc. La asignación de pesos se obtiene a partir de una segunda ronda de entrevistas realizadas a expertos en la toma de decisiones en la construcción.

En el *Capítulo 5* y el *Anexo A* se elabora un estado del conocimiento de los riesgos laborales en el sector de la construcción y de los métodos de evaluación a partir de la legislación europea y española aplicable y vigente, de publicaciones científicas y técnicas y de entrevistas a expertos en prevención de riesgos laborales (tercera ronda de entrevistas). Se define el indicador de riesgos laborales que se utiliza en la metodología de la tesis que incluye una lista de los riesgos con su correspondiente probabilidad de ocurrencia y consecuencia más probable, así como la forma de medir las horas de trabajo con exposición a cada riesgo en base a la tercera ronda de entrevistas.

El *Capítulo 6* y el *Anexo B* incluyen un estado del conocimiento sobre el impacto ambiental del procedimiento constructivo de las obras a partir de la legislación europea y española aplicable y vigente, de publicaciones científicas y técnicas y de entrevistas a expertos en el impacto ambiental de las obras (cuarta ronda de entrevistas). Se definen los criterios, subcriterios e indicadores de impacto ambiental que se utilizan en la metodología diseñada en la tesis.

En el *Capítulo 7* y el *Anexo C* se incluye un estado del conocimiento sobre el impacto social del procedimiento constructivo de las obras a partir de la legislación española, autonómica y local, de publicaciones científicas y técnicas y de entrevistas realizadas a expertos en la gestión de obras en entorno urbano (quinta ronda de entrevistas). Se definen los criterios, subcriterios e indicadores de impacto social para la metodología diseñada en la tesis.

Con el fin de validar la metodología desarrollada en la tesis, en el *Capítulo 8* se realizan dos aplicaciones prácticas a casos reales. La primera aplicación se comenta brevemente y corresponde a la parte de impacto ambiental de la metodología, llevada a cabo en el Constructionarium, unos proyectos constructivos realizados por estudiantes de ingeniería civil y medioambiental en el Reino Unido. La segunda aplicación de la metodología es una aplicación completa a las obras de dos pozos de ventilación y salida de emergencia del túnel de la L.A.V. Madrid-Zaragoza-Barcelona-

Frontera francesa en el tramo Sants-La Sagrera en Barcelona. En el *Anexo D* se incluyen unos planos con información necesaria para realizar la aplicación.

Para continuar con la validación de la metodología, en el *Capítulo 9* se realiza un análisis de sensibilidad variando los pesos de las distintas categorías, criterios y subcriterios considerados en la metodología a partir de los datos de la aplicación práctica completa expuesta en el Capítulo 8.

En el *Capítulo 10* se recogen las conclusiones generales y específicas y los futuros estudios que se derivan de la investigación realizada.

Todo el contenido del documento de tesis (metodología, figuras, tablas, etc.) es de elaboración propia, salvo que se especifique la fuente de donde fue obtenido.

Capítulo 3

Métodos de ayuda a la decisión multicriterio

3.1. INTRODUCCIÓN

La toma de decisiones resulta un proceso habitual y difícil en la vida cotidiana del ser humano por observar intereses contrapuestos, poseer elementos de incertidumbre, involucrar a distintas personas en la decisión y considerar elementos tanto fácilmente como difícilmente valorables (León, 2001).

El Análisis de Decisiones Multicriterio (*Multiple Criteria Decision Analysis*, MCDA) se presenta como una valiosa herramienta para asistir al decisor durante el proceso de toma de decisiones multicriterio. Los métodos del MCDA no pretenden sustituir al decisor en el proceso de toma de decisiones ni eliminar la subjetividad inherente a dicho proceso, sino ayudar al decisor a pensar de manera sistemática y ordenada sobre problemas complejos para mejorar la calidad de las decisiones finales, permitiendo la incorporación de diferentes criterios y visiones de la realidad (Ríos-Insua *et al.*, 2002).

En el presente capítulo se explican brevemente las teorías de decisión multicriterio estudiadas y se justifica la elección de la teoría que se aplica a la metodología definida en la tesis, incluyendo: el método de construcción de la función valor, el método de ponderación y el método de agregación de preferencias. Además se incluye una investigación realizada a partir de una primera ronda de entrevistas sobre el interés y principales criterios de la metodología, y sobre la aplicación práctica de distintos métodos de asignación de pesos.

3.2. ESTADO DEL CONOCIMIENTO DE LOS MÉTODOS DE AYUDA A LA DECISIÓN MULTICRITERIO Y PROPUESTAS DE UTILIZACIÓN

Los métodos del MCDA se muestran válidos para ayudar al decisor a resolver problemas de decisión, tanto continuos como discretos, que implican diferentes criterios o puntos de vista en conflicto y múltiples agentes interesados, incorporando los aspectos tangibles e intangibles del proceso de decisión así como el subjetivismo y la incertidumbre del proceso. Como resultado de su aplicación a problemas de decisión multicriterio se obtiene la selección, ordenación o clasificación de las alternativas, según el método utilizado (Ferrís, 2008). Dicho resultado puede aplicarse en múltiples contextos, entre los que se incluye la elección del mejor procedimiento constructivo y el seguimiento de su ejecución.

3.2.1. Teorías de decisión multicriterio

En la tabla 3.1 se muestran los cinco grandes grupos de técnicas de decisión multicriterio estudiadas. Los métodos 1, 3, 4 y 5 se aplican habitualmente a problemas de decisión discretos, es decir, permiten la evaluación de un conjunto discreto de alternativas y, por tanto, los cuatro son aplicables a la evaluación del procedimiento constructivo.

La *programación matemática multiobjetivo (Multiobjective Mathematical Programming)*, aunque puede colaborar indirectamente en la resolución de problemas discretos, está pensada principalmente para solucionar problemas de toma de decisiones continuos (Ferrís, 2008). La elección del procedimiento constructivo con menor impacto global es un problema discreto con las alternativas claramente diferenciadas. Por ello se descarta este grupo de métodos.

Los *métodos multicriterio ordinales* son importantes desde un punto de vista histórico porque han sido los primeros en estudiarse y han introducido importantes conceptos teóricos. Sin embargo, tienen los inconvenientes de que pueden producir órdenes no transitivos y no respetan el axioma de independencia de las alternativas irrelevantes, es decir, el hecho de introducir o eliminar una o varias alternativas puede afectar la ordenación del resto de alternativas (Barba-Romero y Pomerol, 1997). Por estos motivos se descarta este grupo de métodos.

La teoría de las *relaciones de sobreclasificación o superación (Outranking Relation Theory)* se basa en los coeficientes de concordancia y discordancia generados para cada par de alternativas. Mediante estos métodos pueden aparecer incomparabilidades, intransitividad e incluso ciclos entre alternativas, consecuencia de acoger posibilidades, como los umbrales de indiferencia, etc., que otros métodos no toleran (Barba-Romero y Pomerol, 1997). Estos resultados son una debilidad dado el amplio margen de interpretación de los mismos, lo que puede conducir a propuestas finales muy dispares para un mismo problema. Por estos motivos se descartan estos métodos.

En el *análisis de disgregación de preferencias (Preference Disaggregation Analysis)* se pregunta directamente al decisor sobre sus decisiones reales y se investiga la manera

de construir un modelo que represente sus preferencias. Este método está pensado para los casos en que el decisor no dispone de tiempo y le es más fácil decir simplemente cuáles han sido sus decisiones reales anteriores sin dar ninguna explicación sobre cómo y porqué se han tomado (Ferrís, 2008). En la aplicación de la metodología desarrollada en la tesis se espera contar con decisores que puedan dedicar un mínimo de tiempo para compartir los motivos de sus decisiones. Por ello se descarta este método.

Tabla 3.1. Metodología en la decisión multicriterio.

Técnicas de decisión multicriterio		Referencias	
1	Métodos multicriterio ordinales	Procedimiento clásico de agregación de Borda	Barba-Romero y Pomerol, 1997
		Votación a lo Borda	
		La diferencia de rangos	Vansnick, 1986; Barba-Romero y Pomerol, 1997
		Los "votos a favor" menos los "votos en contra" o método ajustado de Borda	Luce y Raïffa, 1957; Black, 1958; Barba-Romero y Pomerol, 1997
		Método de Condorcet	Condorcet, 1785; Barba-Romero y Pomerol, 1997
		Método de Copeland	Copeland, 1951; Barba-Romero y Pomerol, 1997
		Métodos lexicográficos ¹	Fishburn, 1974; Barba-Romero y Pomerol, 1997
2	Programación matemática multiobjetivo	Método de las restricciones	Marglin, 1969; Cohon, 1978
		Método de las ponderaciones	Zadeh, 1963; Cohon, 1978
		Programación compromiso	Yu, 1973; Zeleny, 1973, 1974
		Programación por metas	Charnes <i>et al.</i> , 1955; Charnes y Cooper, 1961
3	Teoría de la utilidad multiatributo	Suma ponderada	Barba-Romero y Pomerol, 1997; Ferrís, 2008
		Producto ponderado	
		Proceso Analítico Jerárquico (AHP)	Saaty, 1980, 1995, 2000
		Proceso Analítico en Red (ANP)	Saaty, 1996, 2001, 2005
		Métodos PRES y PRES II multiexperto	Gómez-Senent, 1992; Gómez-Senent <i>et al.</i> , 1997; Aragonés y Gómez-Senent, 1997; Aragonés <i>et al.</i> , 2001
4	Teoría de las relaciones de sobreclasificación	Métodos ELECTRE	Benayoun <i>et al.</i> , 1966; Roy, 1968, 1971, 1985, 1990, 1991
		Métodos PROMETHEE	Brans y Vincke, 1985; Brans <i>et al.</i> , 1986; Brans y Mareschal, 1990, 1992, 1995
5	Análisis de disgregación de preferencias	Método UTA	Jacquet-Lagrèze y Siskos, 1978, 1982, 1983, 2001

¹ Barba-Romero y Pomerol (1997) clasifican esta metodología dentro de los métodos multicriterio ordinales, remarcando que tiene unas características muy específicas. Ferrís (2008) la clasifica dentro de la programación matemática multiobjetivo.

Se ha optado por *la teoría de utilidad multiatributo (Multiple Attribute Theory)* ya que, además de ser comprensible intuitivamente, tiene un fundamento teórico sólido. Esta teoría fue desarrollada por Keeney y Raiffa (1976) a partir de la teoría unidimensional de Von Neumann y Morgenstern (1944) extendida por Fishburn (1965) al caso multicriterio. Se basa en la existencia de una función utilidad o valor que representa la utilidad, valor o satisfacción que cada alternativa tiene para el decisor. La función integra los distintos criterios, generalmente en conflicto, reduciendo el problema multicriterio a un problema de optimización monocriterio.

La teoría de utilidad multiatributo se basa en los siguientes principios de racionalidad (Ferrís, 2008):

- a) El decisor intenta inconscientemente o implícitamente maximizar una función de utilidad o valor que agrega todos los puntos de vista relevantes. Si se interroga al decisor sobre sus preferencias, sus respuestas serán coherentes con la función valor, que no es conocida a priori.
- b) Todo par de alternativas A_1 y A_2 pueden ser comparadas. Existe un ordenamiento de preferencia sobre el conjunto de alternativas de modo que para todo par de alternativas se tiene alguna de las siguientes opciones:
 - el resultado A_1 es preferido al resultado A_2
 - A_1 es indiferente a A_2
 - el resultado A_2 es preferido al resultado A_1
- c) Se asume que el orden de preferencia es transitivo, es decir, si se prefiere A_1 a A_2 y se prefiere A_2 a A_3 , entonces se prefiere A_1 a A_3 . Este principio junto con el anterior garantizan la consistencia en la comparación.

3.2.2. Métodos de construcción de la función valor

El grado de cumplimiento de los objetivos por parte de las alternativas se caracteriza por un conjunto de criterios y subcriterios. Los indicadores son la forma de medir o valorar las alternativas respecto a los criterios y subcriterios. No se pueden comparar las magnitudes de las respuestas de los distintos indicadores directamente porque en la mayoría de los casos cada indicador mide en unidades diferentes.

En estos casos, para poder comparar unas alternativas con otras, es necesario utilizar las funciones valor que transforman las distintas unidades de medida de los indicadores en unidades de valor o satisfacción. Estas funciones son la medida de satisfacción del decisor con respecto a la respuesta que produce una alternativa a un indicador. Cuando una alternativa se prefiere a otra, el valor asociado a la primera es mayor que el valor asociado a la segunda.

Hay que definir la escala de medida del valor. Frecuentemente la satisfacción se mide entre 0 y 1. Un valor de 1 de la función valor corresponde a la máxima satisfacción y un valor de 0 corresponde a una satisfacción nula, aunque por razones prácticas o de interpretación se pueden tomar otros valores. Como se muestra en la figura 3.1, las funciones valor pueden adoptar tendencias (creciente, decreciente o mixta) y formas (lineal, convexa, cóncava o en "s") muy variadas dependiendo de cómo varía la satisfacción al variar la respuesta del indicador.

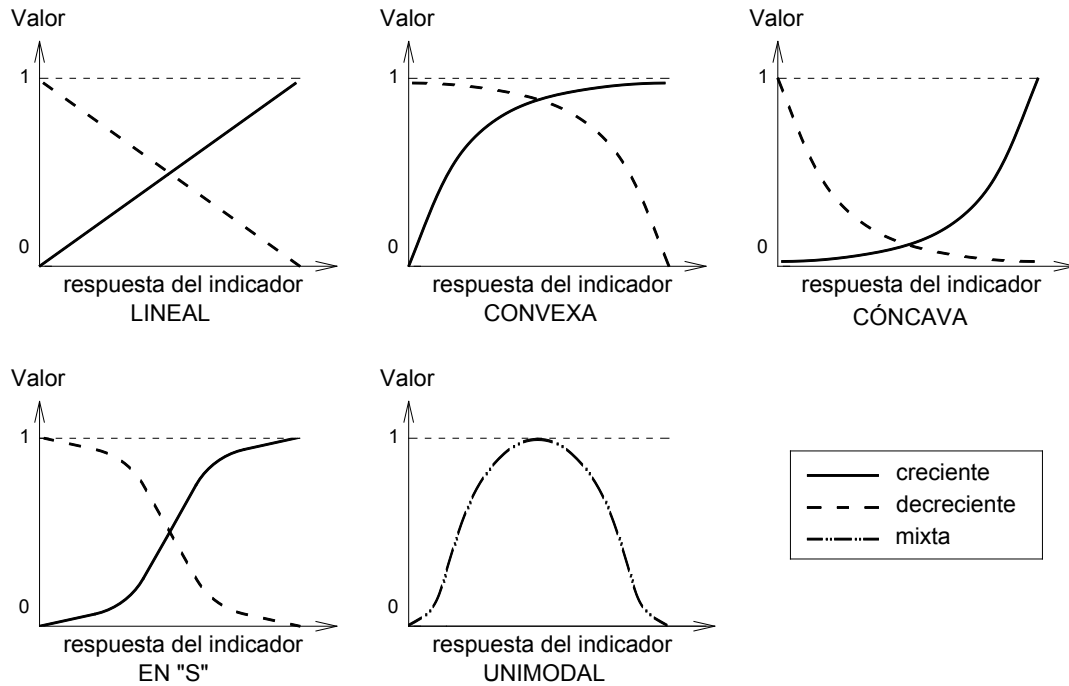


Figura 3.1. Representación de varios tipos de función valor combinando diferentes tendencias y formas.

La principal dificultad del análisis multiatributo es encontrar la función valor; para ello se han propuesto métodos muy diversos, como se puede ver en la tabla 3.2,. En algunos métodos se definen varios puntos de la función valor y se interpola, mientras que en otros métodos se parte de expresiones matemáticas predefinidas.

Tabla 3.2. Métodos de determinación de la función valor.

Métodos de construcción de la función valor		Referencias
Definición por puntos e interpolación	La evaluación directa	Barba-Romero y Pomerol, 1997
	El método de las razones	
	El método de las categorías	
	El método de la bisección	
	El método de solubilidad	
Definición matemática	Métodos de normalización de las evaluaciones	Barba-Romero y Pomerol, 1997; Ferris, 2008
	Expresión de la herramienta MIVES	Manga, 2005
	A partir de la función tangente hiperbólica	Pulido, 2008

A partir del estudio de los distintos métodos encontrados en la bibliografía se ha llegado a las siguientes conclusiones:

- Se considera primordial determinar la tendencia de la función: creciente, decreciente o mixta y la forma de la misma: lineal, cóncava, convexa, en s, unimodal, bimodal, etc.
- No se considera básica la determinación de una expresión matemática explícita que defina la función en todos los puntos. Es suficiente con conocer la

tendencia, forma y valores de la función en unos puntos determinados y por interpolación obtener los valores en los puntos que sean de interés.

Por los anteriores motivos se considera que la forma más adecuada para determinar la función valor es mediante los siguientes pasos:

1. Determinación de la forma y la tendencia de la función según valoraciones de los expertos.
2. Determinación del rango de valores del eje de abscisas a considerar.
3. Definición del valor de unos puntos conocidos por el decisor. A priori parece fácil para el decisor indicar las abscisas que producen máxima y mínima satisfacción respectivamente y uno o varios puntos intermedios si es necesario. Por ejemplo, si se trata de una función lineal, con dos puntos conocidos es suficiente, para funciones cóncavas o convexas se necesitarían por lo menos tres puntos, etc.
4. Interpolar los valores intermedios de la función valor.

En conclusión, se actúa de forma similar al método de la bisección, pero, a diferencia de ese método, sin tener que dar exactamente el valor intermedio entre la mejor y peor valoración. De esta forma, igual que en el método de la bisección, se pueden fijar los valores extremos y se puede obtener cualquier tipo de curva.

Si la función valor es lineal, su determinación se simplifica. En este caso, los procedimientos que parecen más adecuados para su obtención son los métodos de normalización de las evaluaciones, encontrados en varias fuentes (Barba-Romero y Pomerol, 1997 y Ferrís, 2008) y mostrados en la tabla 3.3. Son expresiones sencillas con el inconveniente que la función valor depende de las alternativas estudiadas.

Tabla 3.3. Métodos de normalización de las evaluaciones.

	Procedimiento 1	Procedimiento 2	Procedimiento 3	Procedimiento 4
Definición ¹	$v_{ij} = \frac{z_{ij}}{\max\{z_{ij}\}_{j=ct.}}$	$v_{ij} = \frac{z_{ij} - \min\{z_{ij}\}_{j=ct.}}{\max\{z_{ij}\}_{j=ct.} - \min\{z_{ij}\}_{j=ct.}}$	$v_{ij} = \frac{z_{ij}}{\sum_{i=1}^m z_{ij}}$	$v_{ij} = \frac{z_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m z_{ij}^2}}$
Vector normalizado	$0 < v_{ij} \leq 1$	$0 \leq v_{ij} \leq 1$	$0 < v_{ij} < 1$	$0 < v_{ij} < 1$
Módulo de v	variable	variable	variable	1
Conserva la proporcionalidad	si	no	si	si
Interpretación	% del máximo z_i	% del rango ($\max z_i - \min z_i$)	% del total $\sum_i z_i$	i - ésima componente del vector unitario

¹ z_{ij} es la medición o evaluación de la alternativa i respecto al criterio j en sus correspondientes unidades y el v_{ij} obtenido es su correspondiente valor o utilidad.

A continuación se explica más detalladamente cada procedimiento de la tabla 3.3:

- El procedimiento 1 es el más corriente, tiene una interpretación muy sencilla, como fracción de lo máximo posible, y respeta la proporcionalidad.

- El procedimiento 2 es un perfeccionamiento del primero destinado a asegurar que las evaluaciones cubren el intervalo [0,1]; es decir, para cada criterio, el peor valor es 0 y el mejor 1. Respeto la cardinalidad, pero, al contrario que el procedimiento anterior, no respeta la proporcionalidad: z_{ij}/z_{vj} no es forzosamente igual a v_{ij}/v_{vj} .
- El procedimiento 3 se utiliza frecuentemente, especialmente en el método AHP de Saaty y también para la normalización de los pesos. Ofrece las mismas ventajas que el procedimiento 1 aunque proporciona valores más pequeños y más concentrados.
- El procedimiento 4 es menos intuitivo. Ofrece la ventaja de permitir comparaciones de vectores de módulo 1, pero sufre de la misma concentración de valores que el precedente. Su utilización es muy escasa en la práctica.

En caso de que la función valor sea decreciente y las mediciones estrictamente crecientes, también se pueden utilizar las expresiones de la tabla 3.3, utilizando el valor $z'_{ij} = \frac{1}{z_{ij}}$ en lugar de z_{ij} .

De los cuatro procedimientos se opta por utilizar el procedimiento 1, por las ventajas descritas y porque no produce una concentración de valores como ocurre con otros procedimientos; por ello es el método más utilizado.

3.2.3. Métodos de ponderación

Los métodos de ponderación de variables posibilitan la asignación de pesos a los criterios de decisión para representar la importancia relativa que el decisor otorga a cada criterio. De entre todos los métodos de asignación de pesos estudiados (tabla 3.4) se han seleccionados los tres que se consideran más adecuados para su aplicación en la metodología de la tesis. En la tabla 3.5 se indica el procedimiento principal de aplicación de los métodos de asignación de pesos estudiados. Para una explicación más detallada de cada método se pueden consultar las referencias indicadas en la tabla 3.4.

Tabla 3.4. Métodos de ponderación de variables o asignación de pesos.

Métodos de asignación de pesos		Referencias	
Método de los pesos iguales		Dawes y Corrigan, 1974; Barron y Barrett, 1996; Ahn y Park, 2008	
Método de asignación directa		-	
Métodos de ordenación. Factor de importancia	Sin información adicional	Método de inversa del ranking	Stillwell <i>et al.</i> , 1981; Romero, 1996
		Método de posición en el ranking	Stillwell <i>et al.</i> , 1981; Romero, 1996; Barba-Romero y Pomerol, 1997
		Método del centroide	Solymosi y Dombi, 1985; Barron, 1992
	Con un dato adicional	Método geométrico del ranking	Lootsma y Bots, 1999
		Método de exponente del ranking	Stillwell <i>et al.</i> , 1981
Métodos de comparación a partir de una sola referencia		Método de las proporciones y método de asignación por ratios	Von Winterfeldt y Edwards, 1986
		Método de tasación simple	Barba-Romero y Pomerol, 1997; Ferrís, 2008
Método de comparaciones sucesivas		Churchman y Ackoff, 1954; Knoll y Engelberg, 1978	
Métodos de comparación de alternativas		Método de compensación	Barba-Romero y Pomerol, 1997
		Método de asignación por precios	
		Método del vaivén o swing method	Von Winterfeldt y Edwards, 1986
Cálculo de la diversidad de las valoraciones en cada criterio		Método de la entropía	Zeleny, 1982
		Método CRITIC	Diakoulaki <i>et al.</i> , 1995
Matriz de dominación		Ferrís, 2008	
Métodos a partir de la matriz de comparación por pares o escala ratio		Media aritmética	Saaty, 1995
		Media geométrica por filas	Aguarón y Moreno-Jiménez, 2003
		Métodos basados en el vector propio	Saaty, 1980; Cogger y Yu, 1985
		Métodos extremos	Golany y Kress, 1993

Tabla 3.5. Metodologías de asignación de pesos o ponderación estudiadas.

Métodos	Procedimiento principal
Pesos iguales	El peso total se divide a partes iguales entre todos los criterios.
Asignación directa	Introducción directa de la importancia relativa de cada criterio.
Ordenación. Factor de importancia	Ordenación de los diferentes criterios de mayor a menor importancia o a la inversa. Asignación de pesos con infinidad de métodos.
Comparación a partir de una sola referencia	Comparación de la importancia relativa de todos los criterios con un criterio considerado de referencia o con una escala predefinida.
Comparaciones sucesivas	Comparación sistemática de cada criterio con sucesivos grupos de criterios que le siguen en importancia.
Comparación de alternativas	Comparaciones binarias globales entre alternativas hipotéticas.
Diversidad de las valoraciones	Cálculo de las desviaciones en las valoraciones de cada criterio en las distintas alternativas.
Matriz de dominación	Comparación sin cuantificación de la importancia relativa de cada criterio con todos los demás.
Matriz de escala ratio	Comparación con cuantificación de la importancia relativa de cada criterio con todos los demás.

A continuación se comenta cada método, justificando su utilización en la primera ronda de entrevistas de la tesis o su exclusión. Los métodos seleccionados están resaltados en negrita:

- Método de los pesos iguales. El método más simple de determinar los pesos de los criterios cuando no existe información sobre los mismos es la división del peso a partes iguales entre todos los criterios (Barron y Barrett, 1996). En la metodología desarrollada en la tesis sí que se dispondrá de información acerca de las preferencias de los decisores, por lo que se descarta este método.
- **Método de asignación directa.** Es un método sencillo y claro mediante el que el decisor proporciona información, además de sobre la ordenación de los criterios, sobre su importancia relativa. Es adecuado para un número de hasta 7 ± 2 criterios comparados a la vez, debido a una limitación de manejo simultáneo de información de la mente humana (Miller, 1956). Por estos motivos se considera adecuada la utilización de este método.
- Métodos de ordenación. En este conjunto de métodos, sólo se pide al decisor una ordenación de los criterios de mayor a menor importancia o viceversa y, en algunos casos, un dato adicional. A continuación, mediante la aplicación de alguna fórmula predeterminada que no tiene en cuenta la opinión del decisor en cuanto a la importancia relativa de los criterios entre sí, se asignan unos pesos a cada criterio. Esta metodología puede llevar a la sobrevaloración de criterios poco importantes o, por el contrario, a la infravaloración de criterios que sí que son importantes. Por esta falta de precisión se descartan estos métodos.
- **Métodos de comparación a partir de una sola referencia.** Tanto en el método de las proporciones como en el método de tasación simple, el decisor proporciona información sobre la importancia relativa de los criterios entre sí, comparándolos

de manera sencilla con un criterio considerado de referencia, en el método de las proporciones, o con una escala predefinida, en el método de tasación simple. En la primera ronda de entrevistas se optó por utilizar el método de tasación simple, debido a la mayor facilidad que tiene el decisor para dar una valoración en una escala cualitativa. Se utilizó la escala cualitativa que se muestra en la tabla 3.6.

Tabla 3.6. Escala simple utilizada en el método de tasación simple (Ferrís, 2008).

Valoración cualitativa	Escala simple
Muy débil	1
Débil	2
Moderada	3
Fuerte	4
Muy fuerte	5

- Método de las comparaciones sucesivas. El método de las comparaciones sucesivas, además de incorporar información del decisor sobre la importancia relativa de los criterios, detecta las inconsistencias entre asignaciones de pesos y las corrige. A pesar de estas ventajas, puede resultar difícil de aplicar para un decisor no experto en métodos de ayuda a la decisión, ya que debe comparar la importancia relativa de un criterio con la suma de dos criterios, de tres criterios y así sucesivamente. Por este motivo y a pesar de sus ventajas, se descarta.
- Métodos de comparación de alternativas. Estos métodos se basan en comparaciones binarias de alternativas hipotéticas en su globalidad. Pueden representar mayor dificultad para el decisor no experto en sistemas de ayuda a la decisión y por ello se descartan.
- Métodos basados en el cálculo de la diversidad de las valoraciones. En este grupo de métodos los pesos se determinan en función de las respuestas de las alternativas respecto de cada uno de los criterios sin que influyan las preferencias del decisor. No se asigna un peso mayor al criterio considerado más importante por el decisor, sino al criterio cuyas alternativas presentan mayor diferencia en las valoraciones. Un cambio en el conjunto de alternativas, como puede ser la introducción o eliminación de una alternativa, hace variar los pesos, es decir, los pesos no son independientes de las alternativas. Puede ser adecuado en situaciones de decisión con conflictos entre partes decisoras y en las que se busque neutralidad. Un objetivo de la tesis es encontrar un conjunto de pesos que refleje las preferencias de los decisores y que dichos pesos sean, en general, independientes de las alternativas estudiadas, por ello se descarta este grupo de métodos.
- Matriz de dominación. En este método se compara la importancia por pares de criterios, lo que facilita la ordenación en casos con un número elevado de criterios. Sin embargo, la comparación sólo considera si es más importante el criterio *i* respecto al *j*, sin entrar a valorar cuán más importante es. Por lo tanto, es adecuado para obtener una ordenación, pero como en el caso de los métodos de ordenación, puede llevar a sobrevalorar criterios poco importantes e infravalorar criterios de mayor importancia. Por ello se descarta este método.
- **Matriz de escala ratio o de comparación por pares.** En este método, el decisor tiene que comparar la importancia relativa de cada criterio respecto a todos los demás. Además de permitir comparar un número más elevado de criterios que

cuando se comparan todos a la vez, permite obtener la información del decisor sobre la importancia relativa de un criterio respecto al resto. Este método, asimismo, permite una cierta inconsistencia en la matriz que se puede resolver mediante varios métodos: media aritmética, media geométrica, búsqueda del autovector propio, etc. La aplicación de estos últimos métodos en caso de inconsistencia no es más que buscar una matriz consistente lo más parecida posible a la matriz original. Si la matriz fuera consistente se obtendrían los pesos directamente a partir de cualquiera de sus columnas. El presente método se considera para su utilización en la primera ronda de entrevistas.

A rasgos generales, se han descartado:

- Los métodos que no utilizan información del decisor respecto a la importancia relativa de los criterios (métodos de los pesos iguales, de ordenación y matriz de dominación).
- Los métodos con un concepto distinto de peso, que no asignan mayor peso al criterio con mayor importancia para el decisor (métodos basados en el cálculo de la diversidad de las valoraciones).
- Los métodos con una elevada carga cognitiva para un decisor desconocedor de los métodos de ayuda a la decisión (métodos de comparaciones sucesivas o métodos de comparación de alternativas).

Se han considerado los métodos que incluyen información del orden de preferencias del decisor, de la importancia relativa de unos criterios respecto a otros y que no suponen una carga cognitiva excesiva para el decisor (método de asignación directa, métodos de comparación a partir de una sola referencia y métodos a partir de la matriz de escala ratio). Se optó por utilizar estos tres métodos porque, además de poseer las ventajas enunciadas, son distintos entre sí.

Cuando es posible establecer una jerarquía de criterios, se pueden asignar los pesos comenzando por el nivel de mayor complejidad de la jerarquía e ir descendiendo hacia los niveles de menor complejidad. El criterio del nivel superior de la jerarquía tiene el valor de 1 ó 100, y a cada subcriterio de los niveles inferiores de la jerarquía le corresponde un peso local y un peso global (Ferrís, 2008):

- El *peso local* de un subcriterio representa una fracción del peso del criterio del nivel inmediatamente superior del cual deriva. Por tanto, la suma de los pesos locales de todos los subcriterios en los que se ha descompuesto el criterio del nivel inmediatamente superior da como resultado 1 ó 100.
- El *peso global* de un subcriterio es el resultado de multiplicar el peso real del subcriterio considerado por los pesos locales de los criterios superiores de los cuales deriva. Esta forma de obtención de pesos se denomina principio de composición jerárquica.

La asignación de pesos para la metodología definida en la tesis se hará de forma jerarquizada, ya que es más rica que la no jerarquizada en el sentido que genera un mayor contraste (mayor varianza) de los pesos obtenidos (Stillwell *et al.*, 1987 y Borchering *et al.*, 1991).

3.2.4. Métodos de agregación de preferencias

Una vez construida la función valor y obtenida la respuesta de cada alternativa a los indicadores se obtiene la utilidad o valor parcial de una alternativa respecto a cada criterio. Seguidamente hay que agregar las utilidades parciales, ponderándolas con sus correspondientes pesos para obtener la utilidad global de la alternativa.

Se han estudiado los cinco métodos de agregación de preferencias o de agregación de utilidades parciales siguientes:

- Suma ponderada.
- Producto ponderado.
- Método PRES y PRES II multiexperto.
- Proceso Analítico Jerárquico (AHP).
- Proceso Analítico en Red (ANP).

De entre los anteriores métodos, se ha elegido la suma ponderada ya que es un método muy intuitivo, rápido y simple de aplicar y, por ello, es el método más conocido y utilizado. En su aplicación, si se cambia el conjunto de pesos por otro conjunto de pesos proporcionales, no cambia la ordenación final.

El producto ponderado tiene la ventaja de que cada criterio puede expresarse en las unidades que se deseen siempre que el cambio de unidades sea lineal, pero magnifica en exceso los valores extremos, lo que puede conducir a grandes deformaciones en los resultados finales, por lo que es poco utilizado en la práctica.

Mediante el método PRES se obtiene un índice para cada alternativa que representa la relación entre el grado que una alternativa domina a todas las demás y el grado con que éstas dominan a la alternativa. No se aprecian ventajas significativas en la aplicación de este método y sin embargo su aplicación es un poco más compleja que los métodos anteriores, por ello se descarta su utilización en la metodología de la tesis.

Por los motivos anteriores también se descartan los métodos AHP y ANP.

La formulación de la suma ponderada, adoptada en la metodología, es la que se muestra en la ecuación 3.1.

$$V(a_i) = \sum_j w_j \cdot v_{ij} \quad (3.1)$$

Dónde:

$V(a_i)$ es el valor o utilidad global de la alternativa i

w_j es el peso del criterio j

v_{ij} es el valor o utilidad de la alternativa i respecto al criterio j

3.3. INVESTIGACIÓN PRELIMINAR

3.3.1. Introducción

En el inicio de la investigación de la tesis se desarrolló un primer árbol de valor con todos los criterios y subcriterios que, a priori, parecían relevantes. Posteriormente se realizó una primera ronda de entrevistas a siete expertos de distintos sectores relacionados con la toma de decisiones en las obras públicas:

- Administración local
- Administración autonómica
- Administración estatal
- Construcción
- Explotación y mantenimiento
- Ámbito académico

Entre los entrevistados hay una amplia representación de la administración porque la metodología está pensada para que sea utilizada principalmente por la administración y porque es de esperar que la administración tenga una visión global, que integre los puntos de vista de todos los agentes que intervienen en una obra, y procure por el bienestar general de la sociedad.

Se optó por la realización de un número menor de entrevistas frente al envío masivo de encuestas porque se considera que una encuesta puede dar lugar a diferentes interpretaciones. En cambio, en una entrevista siempre existe una interacción entre los interlocutores, permitiendo aclarar dudas y matices, lo que lleva a obtener unos resultados de mayor calidad.

3.3.2. Objetivos

Se realizó la primera ronda de entrevistas con cuatro objetivos:

- Ver la opinión, en distintos sectores, respecto a la utilización de la metodología definida en la tesis y su interés.
- Detectar la idoneidad del árbol inicial, es decir, si estaban incluidos todos los aspectos importantes y si todos los aspectos incluidos eran importantes.
- Comparar las ventajas e inconvenientes de los tres métodos de asignación de pesos seleccionados en el apartado 3.2.3 en aplicaciones prácticas reales y elegir el más idóneo para la obtención de unos pesos orientativos para la metodología definida en la tesis. El método de asignación de pesos elegido también puede ser utilizado por los futuros usuarios de la metodología en la determinación de los pesos de los criterios según sus propias preferencias.
- Obtener una primera asignación de pesos del árbol inicial y sus posibles variaciones según si la obra está en un entorno urbano, periurbano y rural.

3.3.3. Método de trabajo

Se contactó por carta con los expertos explicando brevemente el objetivo de la tesis y la temática de la entrevista. Posteriormente se realizó una entrevista presencial con cada uno de ellos. Se realizaron grabaciones de voz de las entrevistas para poder realizar un mejor análisis de la información.

En la entrevista se explicó al experto:

- La metodología en desarrollo de forma un poco más extensa que en la carta.
- Las características que debe cumplir un árbol de valor.
- El significado de los pesos y cómo realizar la asignación de pesos mediante los tres métodos en estudio.
- La posible variación en la importancia de algunos criterios según el entorno: urbano, periurbano y rural.

Primeramente se preguntó a los entrevistados sobre si añadirían o eliminarían algún criterio del árbol de valor. Seguidamente se realizó una asignación de pesos mediante los tres métodos elegidos:

1. Método de comparación a partir de una sola referencia: método de tasación simple.
2. Método de la matriz de escala ratio.
3. Método de asignación directa.

La primera asignación se realizó con el método de tasación simple, ya que es el único que permite una valoración de los pesos mediante una escala cualitativa y tiene una gran sencillez de aplicación. Se empezó con el método más simple para que el decisor fuese entrando en la dinámica de asignación de pesos.

Se siguió con el método de la matriz de escala ratio, comparando criterio con criterio. Si no hay inconsistencias los pesos se determinan a partir de cualquier columna de la matriz y a continuación se normalizan. En caso de existir inconsistencias, se consideró preferible alcanzar la consistencia mediante la reflexión del decisor y el replanteamiento de las comparaciones inconsistentes frente a forzarla mediante un procedimiento preestablecido no controlado por el decisor y que puede que no refleje tan bien sus preferencias. Por ello se optó por detectar las inconsistencias durante las entrevistas y pedirle al decisor que modificase las valoraciones hasta que éstas fueran consistentes.

Se terminó aplicando el método de asignación directa, después de haber aplicado los anteriores métodos. Por lo tanto, esta asignación directa es más razonada que si se hubiera empezado por ella.

3.3.4. Conclusiones de la primera ronda de entrevistas

3.3.4.1. Respecto a la utilidad de la metodología y su interés

En general, los entrevistados comentan que una metodología de este tipo es muy interesante y necesaria para poder elegir el procedimiento constructivo más adecuado considerando, además del coste de ejecución de la obra, aspectos esenciales, como el impacto ambiental, el impacto social y la seguridad y salud de los trabajadores.

3.3.4.2. Respecto al árbol de valor

El árbol de valor al inicio de las entrevistas era el que se muestra en la figura 3.2. En general, a los entrevistados les parecen adecuados los criterios del árbol y su clasificación.

La conclusión más importante obtenida de las entrevistas respecto al árbol de valor es la necesidad de desarrollar de forma más extensa el impacto social incluyendo factores como la afección a los servicios, negocios, centros de alta sensibilidad, movilidad, etc. Los factores sociales son esenciales en un entorno urbano, pues pueden llegar a invalidar un procedimiento constructivo. Por todo ello, realizar una obra urbana requiere una gran coordinación.

Además, los expertos realizaron las siguientes aportaciones y comentarios para la mejora del árbol de valor:

- Están de acuerdo en que la funcionalidad no es un criterio de decisión, ya que la obra resultante tiene la misma funcionalidad independientemente del procedimiento constructivo utilizado. El mismo razonamiento se puede aplicar a la seguridad estructural. Por ello se descartó su inclusión en árbol de valor.
- Sería bueno incluir el coste de las medidas de seguridad y salud dentro del coste global de la obra en vez de incluirlo como un criterio dentro de seguridad y salud porque la parte económica de la seguridad y salud no importa por ser seguridad y salud, importa por ser un coste añadido.
- Todos los procedimientos constructivos deben cumplir la normativa de seguridad y salud. Por ello sería más adecuado referirse a ellos como riesgos potenciales del procedimiento constructivo en vez de seguridad y salud de los trabajadores. Sería interesante comparar los riesgos de los distintos procedimientos constructivos.
- Para determinar la presencia de riesgos se sugiere elaborar una lista de chequeo. También se sugiere incluir la complejidad de las maniobras del procedimiento constructivo. Todo ello se realiza en el Capítulo 5 de riesgos laborales.
- Consideran que sería más adecuado incluir el impacto visual dentro de impacto social, en vez de en impacto ambiental, ya que es un impacto que se produce sobre las personas.
- Se sugiere incluir la generación de residuos dentro de medioambiente.
- La contaminación acústica podría ubicarse dentro de dos categorías: en medioambiente y en impacto social. Así se ha considerado en el árbol definitivo (Capítulo 4). En un entorno urbano la contaminación acústica es un problema social y genera un impacto mayor.

- La presencia de restos arqueológicos puede condicionar el procedimiento constructivo. Este impacto se ha tenido en cuenta en el árbol final (Capítulo 4).

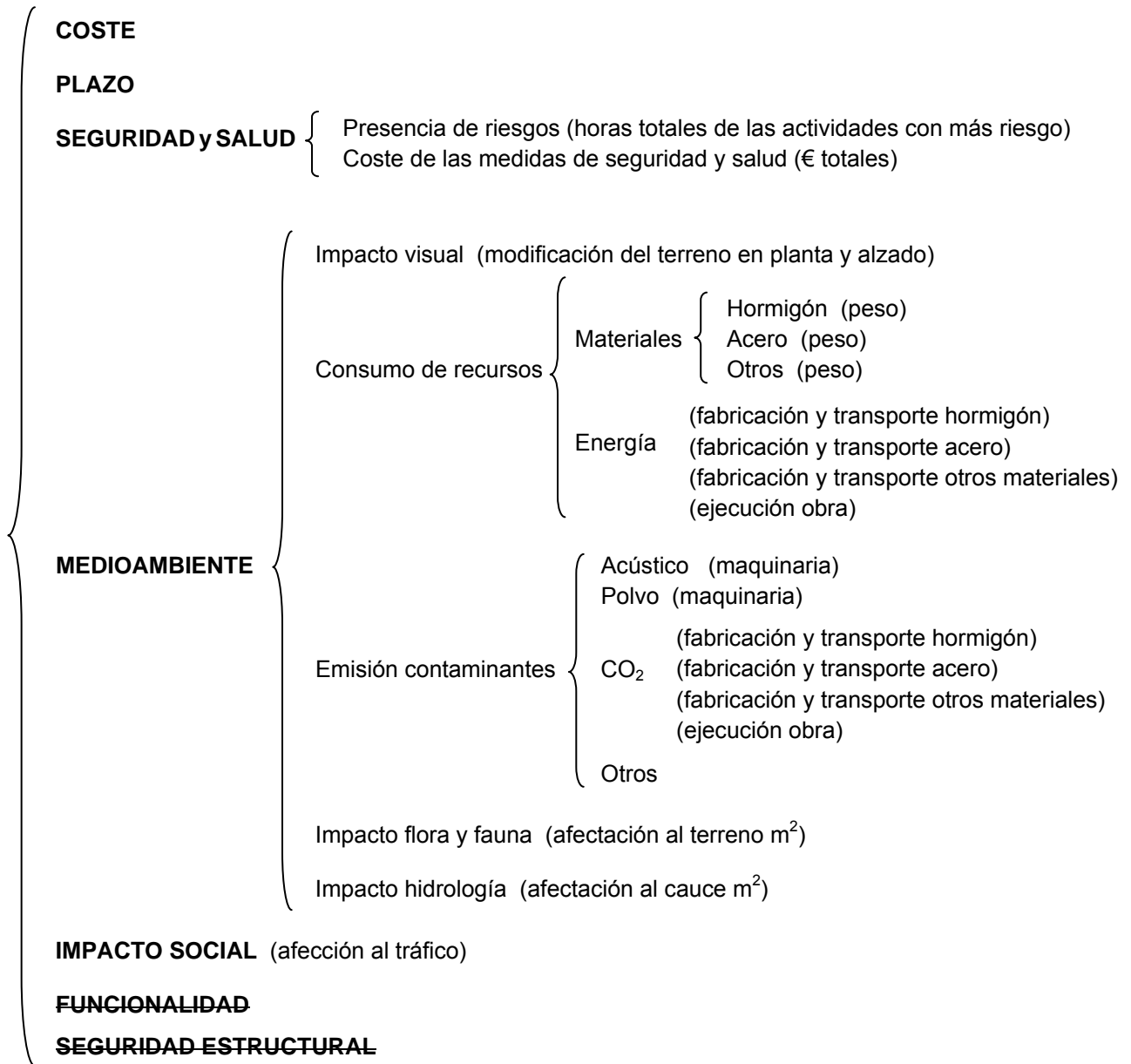


Figura 3.2. Árbol de valor provisional al inicio de la primera ronda de entrevistas

A partir de los comentarios de las entrevistas, se modifica el árbol de valor anterior y se define como se muestra en la figura 3.3. Este árbol no es el definitivo, pues se mejora en las posteriores fases de investigación de la tesis.

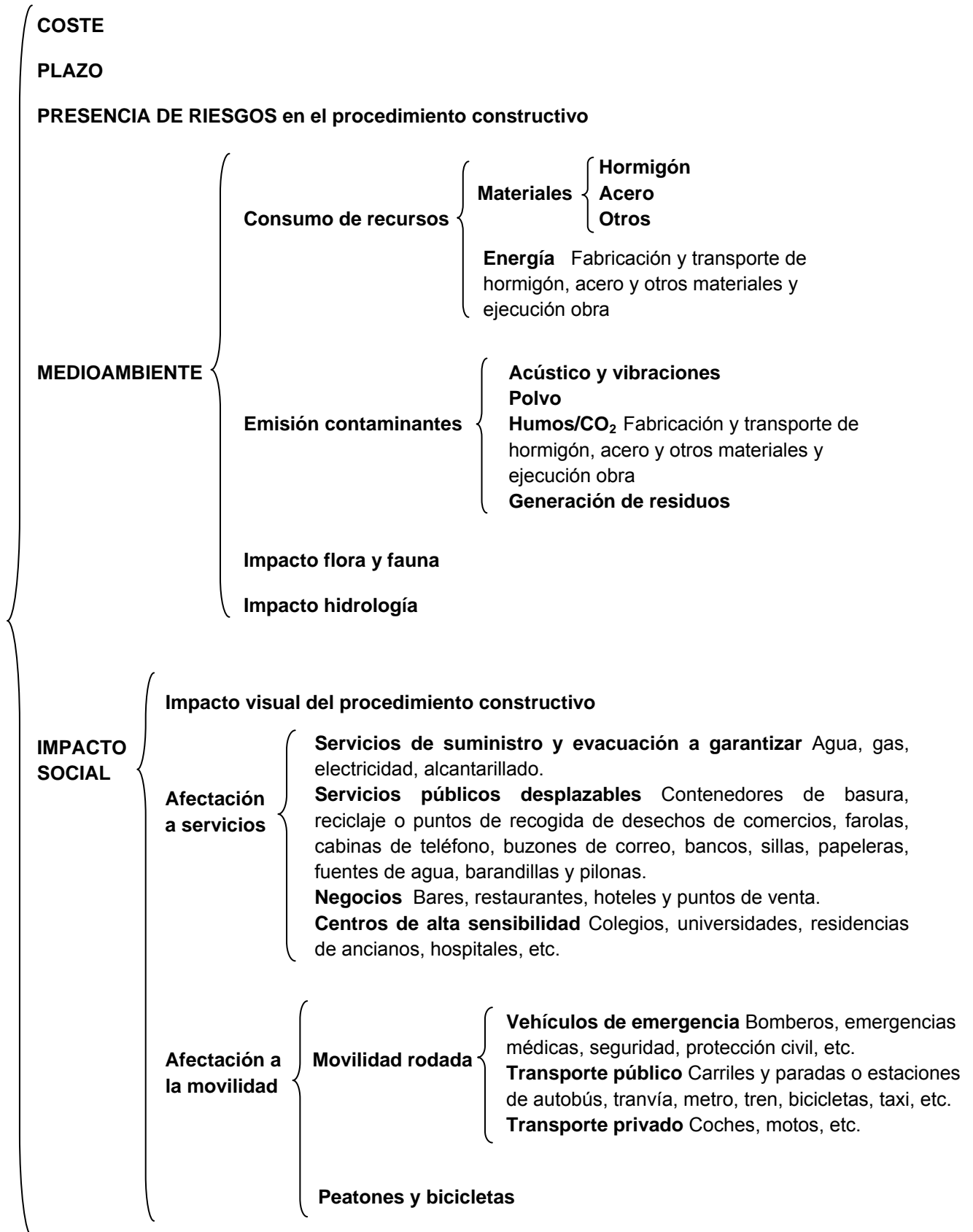


Figura 3.3. Árbol de valor provisional al final de la primera ronda de entrevistas.

3.3.4.3. Respeto a la aplicación práctica de los métodos de asignación de pesos

De los tres métodos de asignación de pesos utilizados en la primera ronda de entrevistas, los que requieren menor tiempo de dedicación por parte del decisor son el método de tasación simple y el método de asignación directa. Por el contrario, el método de asignación de pesos de la matriz de comparación por pares requiere un tiempo notablemente superior lo que, sumado a que se realiza una asignación de pesos para cada entorno (urbano, periurbano y rural) hace que el tiempo de la entrevista se alargue considerablemente.

En el método de tasación simple, el decisor califica la importancia de cada criterio de manera cualitativa y, por lo tanto, no es consciente del valor cardinal que está asignando en realidad a cada criterio ni cuántas veces le está asignando más peso a un criterio que otro. Por estos motivos, aunque se trata de un método muy sencillo de aplicar, puede ser que los pesos obtenidos no sean muy precisos. Por ello se descarta su aplicación en la asignación de pesos de la metodología final.

Una alternativa al método de tasación simple que no tiene el anterior inconveniente, es el método de asignación por ratios, ambos considerados métodos de comparación a partir de una sola referencia. En el método de asignación por ratios se evalúa la importancia relativa de cada criterio respecto al criterio menos importante, considerado como referencia. Por ejemplo, el criterio j es 2,5 veces más importante que el criterio menos importante. De esta forma el decisor tiene un control cuantitativo sobre los pesos. Se decide comparar la importancia de los criterios con el menos importante porque se considera que es más fácil asignar múltiplos de importancia que fracciones de importancia.

Dadas las reticencias de algunos entrevistados a realizar la asignación de pesos mediante el método de la matriz de comparación por pares debido al trabajo que conlleva, sumado a los comentarios acerca de la extrema dificultad o imposibilidad de asignar tantos valores numéricos de forma precisa, dicho método queda descartado para su utilización en la metodología final. Este método requiere un tiempo de dedicación y un esfuerzo cognitivo excesivos por parte del decisor. Además, debido a la falta de tiempo, no fue posible corregir las inconsistencias de la matriz en la misma entrevista teniendo en cuenta las preferencias del decisor como se había previsto inicialmente, sino que se tuvieron que corregir a posteriori mediante el método de la media aritmética.

El método de asignación directa tiene una gran sencillez de aplicación. Sin embargo, en la aplicación práctica se constató en algunos casos que los decisores modificaban la importancia relativa asignada previamente a los pesos entre sí para conseguir que la suma total de pesos fuera igual a 100.

Al preguntar a los entrevistados qué método de asignación de pesos creen que es mejor, en general respondieron que el método de asignación directa les parecía el más realista. El método de la matriz de comparación por pares les pareció pesado de realizar, además de difícil de cuantificar.

De la aplicación práctica de los métodos de asignación de pesos se concluye que los más adecuados son, por su sencillez de aplicación y el conocimiento del valor cardinal

de los pesos que se asignan, el método de asignación directa y el método de asignación por ratios. Finalmente se adopta el método de asignación por ratios para la asignación de pesos en la metodología final desarrollada en la tesis, ya que en este método, a diferencia del método de asignación directa, los decisores entrevistados no realizan reajustes de los pesos para conseguir una suma de 100 que pueden alterar la importancia relativa de los criterios.

3.3.4.4. Respecto a la asignación de pesos realizada

Los pesos asignados en la primera ronda de entrevistas no son de aplicación para la metodología final porque se han modificado los criterios y subcriterios del árbol de valor. Sí que son de aplicación el orden de importancia de los criterios y los motivos que justifican la ordenación, además de la experiencia obtenida en la aplicación práctica de los métodos de asignación de pesos, comentada en el apartado anterior.

Todos los expertos realizaron la asignación de pesos excepto uno de ellos porque, según él, no se pueden asignar pesos en general, ya que depende de cada circunstancia. Sin embargo sí que hizo comentarios cualitativos de la importancia de los criterios.

Todos los expertos coinciden en que, en zona urbana, el impacto social es lo más importante, seguido del plazo. El plazo y el impacto social están relacionados: en general, a mayor plazo, mayor impacto social, pero si existe un procedimiento constructivo que no genera impacto social pero conlleva un plazo mayor, seguramente se preferiría esta alternativa. Por tanto, el impacto social tiene mayor importancia que el plazo. Normalmente el plazo es más importante que el coste. Seguramente se preferiría una tipología constructiva con un menor plazo aunque fuera más costosa que otra. El medioambiente estaría en último lugar. La seguridad y salud según algún experto iría en tercer lugar y según algún otro experto en último lugar.

En zona rural se invierte el orden: lo más importante es el coste seguido del medioambiente, en tercer lugar la seguridad y salud seguida del plazo y finalmente el impacto social. En zona rural se prefiere un procedimiento constructivo más económico aunque se tarde más tiempo; es más importante el coste que el plazo.

Coste

Algunos entrevistados creen que el coste siempre es muy importante para la administración, independientemente del entorno e incluso alguno cree que el coste es el criterio más importante. Otros entrevistados comentan que prefieren una mejora en los demás criterios aunque ello conlleve un incremento de coste, si éste es razonable.

Algunos expertos creen que la importancia del coste depende del entorno: en un entorno urbano es menor que en un entorno periurbano o rural porque comparativamente es más importante utilizar un procedimiento constructivo que genere menos molestias y permita ejecutar la obra en menos tiempo aunque su coste sea más elevado.

Plazo

Todos los entrevistados están de acuerdo en que en una zona urbana el plazo es muy importante ya que está directamente relacionado con el impacto social. A menor plazo, menor impacto en la sociedad. En una zona periurbana, el plazo ya no es tan importante porque se afecta a un menor número de personas y en zona rural aún tiene menor importancia.

Presencia de riesgos

Todos los expertos están de acuerdo en que la presencia de riesgos tiene la misma importancia en todos los entornos (urbano, periurbano o rural).

Algunos entrevistados comentan que la seguridad y salud de los trabajadores no es cuestionable, hay que cumplirla y que todos los procedimientos constructivos son seguros o tienen el nivel de seguridad exigible ya que si existe un procedimiento que no es seguro éste se rechaza. Por ello creen que no deberían valorarla o le asignan una importancia muy fuerte. Otros entrevistados comentan que siempre hay que aplicar las medidas de prevención necesarias pero reconocen que unos procedimientos constructivos pueden presentar más riesgos que otros, aún cumpliendo todos con las normativas de prevención.

En este último caso, la importancia que le asignan es moderada, menor que en el caso anterior, y ponen como ejemplo que una diferencia de costes muy acentuada podría ser globalmente más importante que la presencia potencial de riesgos. Seguramente elegirían un procedimiento con trabajos en altura que fuese más eficiente o con ventajas frente a otro procedimiento que permitiera reducir los trabajos en altura, disponiendo los elementos de seguridad necesarios.

La metodología desarrollada en la tesis va en la segunda línea de pensamiento comentada, ya que la seguridad absoluta no existe y los riesgos varían según el procedimiento constructivo. Este aspecto se comenta a los expertos entrevistados en la segunda ronda de entrevistas realizada para la asignación de pesos del árbol final (Capítulo 4, apartado 4.4).

Medioambiente

Existen distintas opiniones en cuanto a la importancia del criterio ambiental según el entorno. Algún entrevistado piensa que el criterio ambiental es, como mínimo, de importancia fuerte en todos los entornos sea por afección al entorno natural o al entorno social. Otros entrevistados creen que va cobrando más importancia a medida que el entorno es más rural. Otro entrevistado opina que el impacto ambiental en zona urbana tiene importancia fuerte debido a la afectación a las personas, en periurbana es moderado y en rural es débil. Justifica la importancia débil del entorno rural porque es obligatorio cumplir la declaración de impacto ambiental en la que se exigen unas condiciones mínimas que debe cumplir el procedimiento constructivo.

Consumo de recursos

Según los expertos, siempre se tendría que buscar el procedimiento constructivo que consuma menos energía y menos materiales ya que es una forma de optimización. Todos están de acuerdo en que la importancia del consumo de recursos no depende del entorno en el que esté situada la obra.

Las opiniones respecto a la importancia relativa de minimizar el consumo de materiales y minimizar el consumo de energía están divididas. Además, los expertos también discrepan en si las importancias relativas del consumo de energía y el consumo de materiales varían según el entorno o no.

Emisión de contaminantes

En general, los entrevistados están de acuerdo en que la emisión de contaminantes, humos, polvo y ruido depende del entorno y es más perjudicial en una zona poblada y en entornos naturales sensibles.

La importancia de reducir la emisión de CO₂ es independiente del entorno, en todas las partes aumenta el efecto invernadero.

Un entrevistado considera que la generación de residuos no tiene mucha importancia a la hora de decidir el procedimiento constructivo, hay que cumplir la legislación y la cantidad generada no suele variar mucho de un procedimiento constructivo a otro.

Impacto en flora y fauna e impacto en hidrología

Todos los entrevistados opinan que el impacto en la flora y la fauna y el impacto en la hidrología pueden ser muy importantes dependiendo del entorno. El impacto en la hidrología puede ser muy importante tanto en zona urbana como rural, dependiendo del contexto hidrológico. En una zona urbana casi nunca existen ríos, pero en caso de que existan son igualmente importantes. La importancia del impacto sobre la flora y la fauna en zona urbana es muy débil porque es prácticamente inexistente.

Impacto social

Todos los entrevistados están de acuerdo en que en un entorno urbano el impacto social tiene más importancia que en un entorno rural debido a la proximidad con las personas y es claramente condicionante. Las obras urbanas tienen un coste añadido debido al impacto social. En las ciudades densas es absolutamente necesario coordinar la obra con las demás actividades. En zona rural difícilmente será necesario coordinar porque existe mucho espacio.

Algunos entrevistados opinan que en zona urbana es más importante disminuir la afección a la movilidad que la afección a los servicios y que en zona rural se invierten las prioridades. Otros entrevistados opinan lo contrario.

Impacto visual del procedimiento constructivo

Todos los entrevistados están de acuerdo en que el impacto visual durante el procedimiento constructivo es muy poco importante o irrelevante a la hora de elegir el procedimiento constructivo. También están de acuerdo en que el impacto visual es más importante en zona urbana que en zona periurbana. Unos opinan que el impacto visual va disminuyendo al alejarse de la ciudad, a no ser que haya alguna vivienda, y otros que en zona rural es tan fuerte como en zona urbana porque se suele tener menos cuidado.

Servicios

Algunos expertos opinan que la importancia de la afectación a servicios depende del número de servicios del entorno (muy fuerte en zona urbana, moderado en periurbana y débil en rural). Otros expertos opinan que la afectación a servicios tiene la misma importancia (fuerte) en todos los entornos en el sentido de que si se afecta, es igual de importante para todos.

Todos los expertos creen que es más importante minimizar la afectación a servicios de suministro y evacuación a garantizar que la afectación a los servicios desplazables o a los negocios, tanto en entorno rural como urbano.

Servicios de suministro y evacuación a garantizar

En zona urbana existen muchos servicios mallados. Al alejarse de una zona urbana los servicios son cada vez más dispersos y no es factible que estén mallados. El corte de un servicio en zona urbana puede afectar a un mayor número de personas pero se resuelve más rápidamente. En zona rural el número de personas afectadas suele ser menor pero el tiempo de restablecimiento del servicio mayor. La zona periurbana es un caso intermedio.

Servicios desplazables

Según algún entrevistado la afectación a los servicios desplazables tiene importancia muy fuerte en zona rural y moderada en zona urbana porque en zona urbana existen más alternativas, si se anula un elemento hay otro cerca. En cambio, en zona rural, si se anula un servicio quizás no exista otro cerca.

Otro entrevistado asigna importancia moderada a la afectación a servicios desplazables en zona urbana, débil en zona periurbana y muy débil en zona rural.

Negocios

Según los expertos, si se dificulta el acceso a negocios en el centro de la ciudad, se producirá una menor afluencia de clientes, pero aún así se conservará una cierta afluencia debido a su ubicación. Sin embargo, la afectación a negocios en un entorno rural, posiblemente genere una pérdida de clientes superior. Otros entrevistados opinan que la importancia de la afectación a negocios es fuerte independientemente del entorno, ya que siempre puede generar problemas.

Centros de alta sensibilidad

Algunos expertos consideran más importante la afectación a los centros de alta sensibilidad en zona rural que en zona urbana, ya que en zona urbana siempre existen más alternativas.

Movilidad

Respecto a la afectación a la movilidad, en un entorno urbano siempre hay mucha más movilidad pero también hay más alternativas que en un entorno rural.

Varios entrevistados asignan mayor importancia a minimizar la afectación a la movilidad rodada que a los peatones en zona urbana o periurbana porque es más fácil encontrar solución para los peatones, que son más libres en sus movimientos que para los vehículos, pero igualmente hay que tener en cuenta a los peatones. Otros consideran igual de importante la afectación a la movilidad rodada que a los peatones en un entorno urbano.

Vehículos de emergencia

Todos los entrevistados están de acuerdo en que, dentro de afectación a la movilidad, lo más importante son los vehículos de emergencia seguido del transporte público.

Si existe una zona con dificultades de acceso para los vehículos de emergencia debido a las obras, cuanto más poblada esté la zona, mayor probabilidad de que tenga que acceder un vehículo de emergencia. Pero si realmente se produce la necesidad, es igual de importante que acceda un vehículo de emergencia en todos los entornos y además es fundamental. Considerando el último punto de vista, los vehículos de emergencia tienen igual importancia en todos los entornos.

Transporte público

Según algunos expertos, si se afecta a un transporte público en la ciudad se afecta a un gran número de personas pero casi siempre existe un transporte alternativo. En una zona rural, si se afecta a un transporte público es posible que no exista otra alternativa para desplazarse. Se considera más importante el transporte público en un entorno rural que en un entorno urbano.

De acuerdo a otros expertos, la afectación al transporte público tiene una importancia fuerte en zona urbana, moderada en zona periurbana y débil en zona rural porque existen menos servicios a los que se puede afectar, se pueden mover las paradas, etc.

Transporte privado

Según algún experto, la importancia de la afectación al transporte privado es fuerte en zona urbana y moderada en zonas periurbana y rural ya que en estas últimas existe una mayor disponibilidad de espacio para la ejecución de la obra. Otro experto asignó el mayor peso a la afectación al tráfico en zona rural porque considera que se puede afectar a las vías principales de acceso a un pueblo o zona, lo que puede suponer un

incremento considerable en el recorrido. En una red urbana la densidad de tráfico es tan elevada que, si se afectan varias calles a la vez, se puede generar un tráfico incómodo. El menor peso es para un entorno periurbano porque siempre existen más alternativas que en un ámbito rural y no se trata de una red de alta densidad como en un entorno urbano.

De acuerdo a algún experto, en zona rural el transporte público y el transporte privado tienen ya que normalmente las redes de transporte público no están muy desarrolladas y por ello es igualmente necesario el transporte privado. En la ciudad las personas se pueden desplazar en vehículo privado pero no es estrictamente necesario.

Peatones y bicicletas

Todos los expertos coinciden en que la afección a los peatones es más importante en una ciudad que en una zona rural, ya que en ésta prácticamente no existen peatones ni bicicletas.

Capítulo 4

Metodología para la evaluación y el seguimiento de procedimientos constructivos

4.1. DEFINICIÓN DEL ÁRBOL DE IMPACTO

La determinación de los criterios relevantes para la decisión y su ordenación jerárquica mediante un árbol son fundamentales para una correcta toma de decisión. Como los aspectos reflejados en el árbol se refieren a impactos producidos por la obra, a partir de aquí, el árbol se llama árbol de impacto en lugar de árbol de valor.

En la metodología desarrollada en la tesis se ha definido el árbol de impacto a partir de la primera y segunda ronda de entrevistas realizadas a expertos de diversos sectores, de la tercera, cuarta y quinta ronda de entrevistas realizadas a expertos de cada categoría y de la revisión y el análisis de la legislación vigente y otras publicaciones sobre las diferentes categorías. La definición del árbol ha sido un proceso iterativo y por tanto ha ido experimentando cambios a lo largo de todo el proceso de investigación. En la figura 4.1 se puede ver el árbol de impacto final definido para la metodología desarrollada en la tesis.

Las categorías se han definido en base a los tres pilares de la sostenibilidad: económica, medioambiental y social, dando lugar al impacto económico, impacto ambiental e impacto social. Los riesgos laborales son un impacto social, pero se considera que tienen suficiente entidad como para que sean una categoría. Dentro de las categorías se han definido los criterios y subcriterios a partir de su estudio específico.

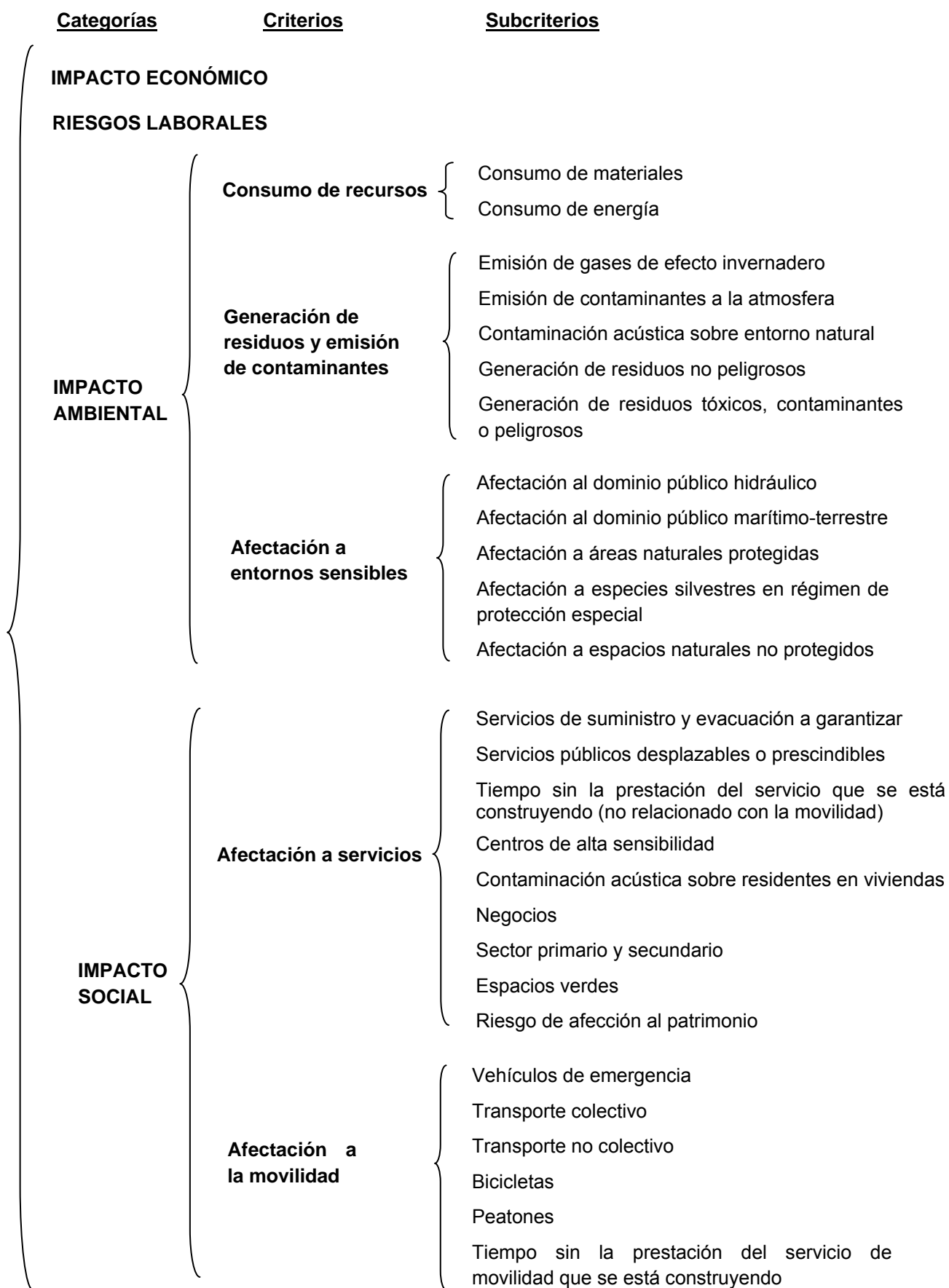


Figura 4.1. Árbol de impacto de la metodología para la evaluación del procedimiento constructivo.

Una vez realizada la estructuración del árbol de impacto se ha revisado para comprobar que sea:

- *Completa o exhaustiva*, que no falte ningún aspecto importante.
- *Operativa*, que los indicadores puedan ser evaluados para cada alternativa, es decir, que sean *medibles*.
- *No redundante*, que la misma propiedad no aparezca repetida y, por tanto, los indicadores sean *independientes* entre sí.
- *Mínima*, que los indicadores sirvan para establecer diferencias entre las alternativas, es decir, que sean *discriminantes*.

El árbol de impacto pretende ser lo más exhaustivo posible para englobar la mayor parte de situaciones y entornos. En cada aplicación de la metodología, el esquema se adapta, utilizándose solamente los impactos que sean relevantes y discriminantes entre alternativas. Por ejemplo, una actuación en un entorno urbano seguramente producirá gran parte de los impactos sociales incluidos en el esquema pero pocas o ninguna afección a entornos sensibles.

4.2. DEFINICIÓN DE LOS INDICADORES

De acuerdo con CIRIA (2001) y Conesa (2010), en la definición de los indicadores se ha buscado que sean, en la medida de lo posible:

- Relevantes
- Científicamente válidos
- Representativos
- Reproducibles
- Sensibles a las variaciones
- Razonablemente sencillos de interpretar

Desde un punto de vista práctico, es necesario que los indicadores se basen en información disponible de calidad adecuada y que ésta pueda ser recopilada de manera eficiente y actualizada.

4.2.1. Indicador del impacto económico

El impacto económico de una obra está formado por:

- El presupuesto de licitación para la ejecución de la obra (*Pejec*).
- El coste anual previsto de mantenimiento de la obra ejecutada (*Cmant*) multiplicado por los años de vida útil de la obra (*tvida*), en caso de que haya diferencias entre las alternativas comparadas.
- El coste de deconstrucción (*Cdeco*).

El indicador se define como se muestra en la ecuación 4.1.

$$I_{\text{impacto económico}} = Pejec + C_{\text{mant}} \cdot t_{\text{vida}} + C_{\text{deco}} \quad (4.1)$$

En principio, las unidades monetarias de medida del indicador son los euros, pero se pueden utilizar otras monedas en caso de aplicar la metodología en obras en otros países.

En Bakhoum y Browm (2012) se incluye en el indicador de coste la producción de los materiales de construcción y su transporte, la ejecución de la obra y su mantenimiento y demolición. En la cuantificación de los principios de sostenibilidad para proyectos de puentes realizada por Spencer *et al.* (2012) se incluye la sostenibilidad económica, que consta de tres criterios: el coste inicial de diseño y construcción, el coste de mantenimiento y demolición potencial y el coste que supone a los usuarios los retrasos en el transporte público causados por la ejecución de la obra.

4.2.2. Indicadores de riesgos laborales, impacto ambiental e impacto social

La definición de los indicadores del resto de categorías es mucho más compleja que la definición del indicador de impacto económico y se puede encontrar en los siguientes capítulos y anexos, junto a las explicaciones y justificaciones de los criterios y subcriterios:

- Capítulo 5 y Anexo A de riesgos laborales.
- Capítulo 6 y Anexo B de impacto ambiental.
- Capítulo 7 y Anexo C de impacto social.

Como se puede ver en los Capítulos 5, 6 y 7, los indicadores se han desarrollado al máximo para poder recoger las diferencias entre alternativas. En algunos casos comentados en dichos capítulos, se pueden simplificar las partes que no son necesarias del indicador (sólo es necesario contabilizar en el indicador los aspectos que diferencian unas alternativas de las otras) o cuyos datos no son conocidos. Un ejemplo del primer caso es el indicador de la afectación al dominio público hidráulico, dentro de impacto ambiental, y un ejemplo del segundo caso es el indicador de afectación a carriles bici, dentro de impacto social. Es importante remarcar que, para poder comparar los resultados de las distintas alternativas, hay que utilizar, para el mismo subcriterio, indicadores definidos de la misma forma en todas las alternativas.

En Gangoells *et al.* (2011), en caso de no disponer de los datos para calcular los indicadores, suponen que se está en el caso más desfavorable posible. Esta forma de actuar parece que sea adecuada como incentivo para obtener los datos. Para la presente metodología, cuando se conozcan los datos de cálculo de un indicador para todas las alternativas excepto unas pocas, a las alternativas sin datos se les asigna el caso más desfavorable de entre las alternativas conocidas.

4.3. DETERMINACIÓN DE LA FUNCIÓN VALOR DE CADA INDICADOR

Como se puede ver en los siguientes capítulos (Capítulos 5, 6 y 7) los indicadores de los distintos subcriterios miden distintos conceptos, con unidades de medida distintas entre sí. Por lo tanto, no se pueden comparar las magnitudes directamente y es necesaria la determinación de las funciones valor.

Si se analizan los indicadores del coste, del riesgo laboral, del impacto ambiental y del impacto social definidos en los Capítulos 5, 6 y 7, se llega a la conclusión de que todos ellos tienen una función valor con tendencia decreciente, es decir, a mayor respuesta del indicador, menor satisfacción (mayor impacto). También se puede comprobar que una respuesta de cero del indicador corresponde a la máxima satisfacción (al menor impacto). Ninguno de los indicadores tiene una función valor con tendencia mixta.

Analizando cada uno de los indicadores, parece lógico que la función valor tenga forma lineal, con lo que finalmente se adopta esta forma, lo que simplifica su definición.

Es decir, a todos los indicadores les corresponde una función valor lineal decreciente. En la figura 4.2 se muestra la función valor para el indicador de emisiones de gases de efecto invernadero.

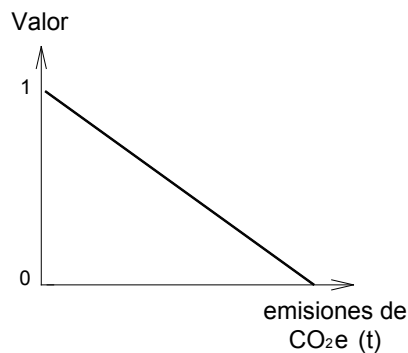


Figura 4.2. Función valor del indicador de emisión de gases de efecto invernadero.

Como todos los indicadores están midiendo magnitudes relacionadas con el impacto, ya sea éste por coste, el potencial impacto de los riesgos laborales, el impacto ambiental o el impacto social, se opta por utilizar funciones impacto en lugar de funciones valor. Al contrario que las funciones valor, las funciones impacto de los indicadores de la presente metodología son directamente proporcionales al indicador. Es decir, las funciones impacto tienen tendencia creciente: a mayor respuesta del indicador, mayor impacto y pasan por el origen de coordenadas: a una respuesta de cero del indicador le corresponde un impacto nulo. Al igual que las funciones valor, las funciones impacto tienen forma lineal, como se puede ver en la figura 4.3 para el ejemplo de emisión de gases de efecto invernadero.

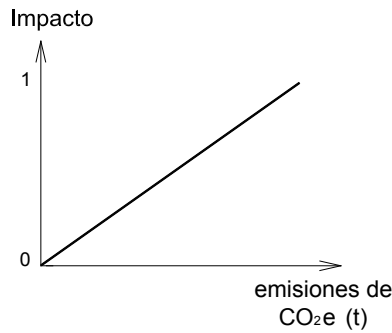


Figura 4.3. Función impacto para el indicador emisión de gases de efecto invernadero.

Para funciones valor crecientes y, por tanto, funciones impacto decrecientes, la función impacto se podría definir como se muestra en la ecuación 4.2.

$$\text{Función impacto} = 1 - \text{Función valor} \quad (4.2)$$

Para funciones impacto crecientes, como es el caso de la metodología, la función impacto puede calcularse directamente aplicando el procedimiento 1 de la tabla 3.3, seleccionado en el Capítulo 3 como el más adecuado para funciones valor lineales crecientes. Este procedimiento se muestra en la ecuación 4.3 y se representa gráficamente en la figura 4.4. La función impacto definida de esta forma representa el tanto por uno del máximo impacto de entre todas las alternativas.

$$\text{Impacto}_{ij} = \frac{z_{ij}}{\text{máx}\{z_{ij}\}_{j=ct.}} \quad (4.3)$$

Dónde:

Impacto_{ij} es el impacto de la alternativa i respecto al criterio j , adimensional

z_{ij} es la medición o evaluación de la alternativa i respecto al criterio j en sus correspondientes unidades

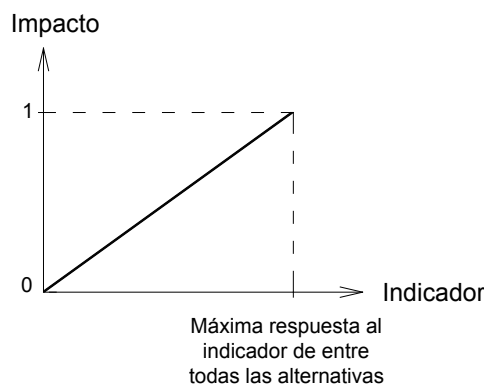


Figura 4.4. Función impacto tomando como referencia la alternativa más desfavorable en cada indicador.

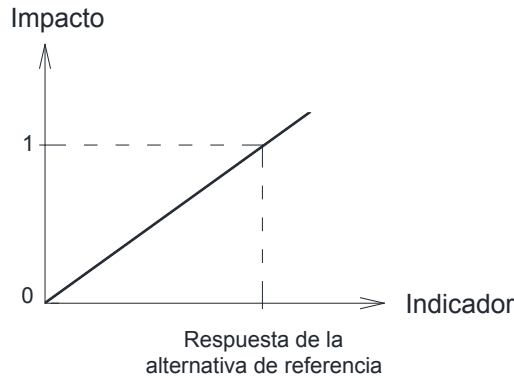
Cuando existe una alternativa que tiene distintos de cero todos los impactos generados por las otras alternativas, se puede calcular el impacto utilizando esta alternativa como referencia en todos los subcriterios en lugar de utilizar la alternativa con mayor impacto en cada subcriterio. De esta forma la ecuación 4.3 se transforma en la ecuación 4.4. y la figura 4.4 en la figura 4.5.

$$Impacto_{ij} = \frac{z_{ij}}{z_{ref j}} \quad (4.4)$$

Dónde:

z_{ij} es la medición o evaluación de la alternativa i respecto al criterio j

$z_{ref j}$ es la medición o evaluación de la alternativa de referencia respecto al criterio j



Función 4.5. Función impacto tomando como referencia una alternativa en todos los indicadores.

En los impactos calculados de esta forma, la alternativa de referencia genera un impacto de 1 y las otras alternativas toman valores mayores o menores a 1 según si el impacto generado sea mayor o menor al impacto generado por la alternativa de referencia.

La ventaja de calcular el impacto de esta forma es que el impacto tomado como referencia corresponde a una alternativa real y el impacto de las otras alternativas se compara con el impacto de una alternativa real. El inconveniente es que esta forma de cálculo sólo se puede aplicar si se cumplen las circunstancias descritas más arriba ya que si la respuesta a un indicador utilizado en el cálculo fuese cero en la alternativa de referencia, según la fórmula 4.4, el impacto de las otras alternativas tomaría el valor de infinito. En la aplicación práctica del Capítulo 8 se calcula el impacto de las dos formas descritas.

4.4. ASIGNACIÓN DE PESOS A LAS CATEGORÍAS, CRITERIOS Y SUBCRITERIOS

La asignación de pesos a las categorías, criterios y subcriterios se ha realizado a partir de una segunda ronda de entrevistas realizada a 7 expertos en la toma de decisiones en las obras públicas de los siguientes ámbitos:

- Administración local
- Administración autonómica
- Empresa concesionaria
- Académico

Los pesos se han asignado para tres entornos o ubicaciones de la obra distintos: urbano, periurbano y rural.

La asignación de pesos se ha realizado mediante el método de ponderación elegido como el más apropiado a partir de la investigación realizada en la primera ronda de entrevistas (Capítulo 3, apartado 3.3.4.3), el método de asignación por ratios, explicado en ese mismo apartado.

Los comentarios realizados por el entrevistador pueden influir en los pesos asignados por el decisor; por este motivo es importante que los comentarios del entrevistador sean neutrales, sin expresar opiniones personales. Por otro lado, se considera muy importante que el entrevistador defina con claridad cada criterio, en especial cuando puedan surgir confusiones, ya que la asignación de pesos realizada depende de ello. En este sentido, en cada entrevista realizada se ha comunicado al experto los siguientes aspectos a tener en cuenta en la asignación de pesos:

1. La definición de los criterios y su asignación de pesos debe realizarse de acuerdo a lo que sería más correcto o lo que se debería hacer, aunque difiera de la práctica habitual actual.
2. En cuanto a riesgos laborales, se parte de que todas las alternativas estudiadas cumplen con las normativas de prevención de riesgos laborales vigentes. Distintos procedimientos constructivos presentan distintos riesgos laborales, con distintas probabilidades de ocurrencia, consecuencias y tiempos de exposición. Es esta diferencia entre los riesgos laborales inherentes al procedimiento constructivo de cada alternativa lo que se evalúa. El peso asignado debe reflejar la importancia de minimizar las actividades que, aún cumpliendo con la normativa vigente y utilizando las medidas preventivas necesarias, presentan unos riesgos potenciales mayores. Este impacto depende de una probabilidad de ocurrencia, a diferencia de la mayoría del resto de impactos (económico, ambiental y social), que ocurren de forma segura.
3. Los subcriterios consumo de energía, emisión de gases de efecto invernadero y emisión de contaminación a la atmosfera incluyen las emisiones generadas en la fabricación de los materiales de construcción, su transporte desde fábrica hasta obra y la ejecución de la obra.
4. El subcriterio contaminación acústica, dentro de impacto ambiental, recoge solamente el impacto que la generación de ruido tiene sobre el entorno natural. El impacto de la contaminación acústica sobre las personas, tanto en entorno urbano como rural, si fuese el caso, se recoge dentro del criterio impacto social, en los subcriterios: centros de alta sensibilidad, viviendas y negocios, como se verá en el Capítulo 7 y el Anexo C.
5. El peso asignado a los subcriterios tiempo sin la prestación del servicio que se está construyendo, tanto si lo que se construye es un servicio de movilidad como otro tipo de servicio, debe reflejar la importancia, necesidad o urgencia de empezar a utilizar el servicio lo antes posible. Por lo tanto, este peso depende de la obra que se está construyendo.

La necesidad de aclarar alguno de los anteriores aspectos se detectó en la primera ronda de entrevistas.

Los pesos obtenidos de la segunda ronda de entrevistas son los que se muestran en las tablas 4.1 a 4.3. Estos pesos son valores orientativos; para cada aplicación de la metodología hay que revisarlos y adaptarlos a las preferencias del decisor y al entorno concreto de la obra. Toda asignación de pesos es adecuada siempre que cumpla lo anterior y esté basada y justificada en un razonamiento.

Para obras que construyen una infraestructura no relacionada con la movilidad, se han diferenciado dos casos dentro de afectación a servicios:

- Si se trata de una obra esencial para garantizar la continuidad del servicio o de una obra de urgencia, el tiempo sin la prestación del servicio que se está construyendo adquiere mayor importancia y se utilizan los pesos indicados entre paréntesis.
- Si lo que se construye es un elemento complementario para mejorar la calidad del servicio pero no afecta a su continuidad, se utilizan los pesos que no están entre paréntesis.

De forma análoga, para obras que construyen una infraestructura relacionada con la movilidad, también se diferencian dos casos:

- Si se construye una obra para resolver un problema inminente de movilidad obligada (desplazamientos del hogar al trabajo y viceversa), especialmente de transporte colectivo, el tiempo sin la prestación del servicio de movilidad que se está construyendo adquiere mayor importancia y se utilizan los valores indicados entre paréntesis.
- Si se construye una obra para resolver un problema de movilidad no obligada o complementaria a la movilidad obligada, el tiempo sin la prestación del servicio no es tan importante y se utilizan los pesos que no están entre paréntesis.

El árbol de impacto pretende ser lo más exhaustivo posible. En la aplicación de la metodología, lo más probable es que no se produzcan todos los impactos del árbol. Cuando ninguna de las alternativas estudiadas produce el impacto de un subcriterio, el subcriterio se elimina del árbol de impacto y, por tanto, de la toma de decisión, pues no es discriminante entre alternativas. En ese caso, se recomienda normalizar los pesos de los criterios restantes a suma cien pues de esta forma:

- en caso de calcular el impacto tomando una alternativa como referencia, el impacto de la alternativa de referencia toma el valor de la unidad, o,
- en caso de calcular el impacto respecto a la envolvente del máximo impacto de todas las alternativas, el impacto de una alternativa hipotética con el máximo impacto de entre todas las alternativas para cada indicador toma el valor de la unidad.

La mayoría de los pesos globales de las tablas 4.1 a 4.3 adoptan valores muy pequeños debido al elevado número de criterios incluidos en el árbol. Como se ha comentado, en las aplicaciones prácticas de la metodología normalmente no se producen todos los impactos del árbol, con lo que el número de criterios es inferior y, al normalizar a suma cien, el valor de los pesos aumenta ligeramente, como se puede comprobar en la aplicación práctica del Capítulo 8.

Tabla 4.1. Pesos orientativos para las categorías, criterios, subcriterios e indicadores del árbol en un entorno urbano.

Categoría	Peso local (%)	Criterio	Peso local (%)	Subcriterio	Peso local (%)	Peso global (%)		
Impacto económico	19,4	-	-	-	-	19,4		
Riesgos laborales	20,8	-	-	-	-	20,8		
Impacto ambiental	26,3	Consumo de recursos	20,9	Consumo de materiales	49,7	2,7		
				Consumo de energía	50,3	2,8		
		Generación de residuos y emisión de contaminantes	40,2	Emisión de gases de efecto invernadero	19,2	2,0		
				Emisión de contaminantes a la atmósfera	28,1	3,0		
				Contaminación acústica sobre entorno natural	-	-		
				Generación de residuos no peligrosos	16,6	1,8		
				Generación de residuos tóxicos, contaminantes o peligrosos	36,1	3,8		
		Afectación a entornos sensibles	38,9	Afectación al dominio público hidráulico	21,3	2,2		
				Afectación al dominio público marítimo-terrestre	15,2	1,6		
				Afectación a áreas naturales protegidas	28,6	2,9		
				Afectación a especies silvestres en régimen de protección especial	24,5	2,5		
				Afectación a espacios naturales no protegidos	10,4	1,1		
		Impacto social	33,5	Afectación a servicios	46,1	Servicios de suministro y evacuación a garantizar	13,1 (12,6)	2,0 (1,9)
						Servicios públicos desplazables o prescindibles	5,6 (4,2)	0,9 (0,6)
						Tiempo sin la prestación del servicio que se está construyendo (no relacionado con la movilidad)	8,1 (21,0)	1,2 (3,2)
Centros de alta sensibilidad	16,6 (14,7)					2,6 (2,3)		
Contaminación acústica sobre residentes en viviendas	15,3 (13,5)					2,4 (2,1)		
Negocios	13,3 (9,2)					2,0 (1,4)		
Sector primario y secundario	8,2 (10,1)					1,3 (1,6)		
Espacios verdes	8,5 (6,3)					1,3 (1,0)		
Riesgo de afección al patrimonio	11,3 (8,4)					1,7 (1,3)		
Afectación a la movilidad	53,9			Vehículos de emergencia	29,3 (30,9)	5,3 (5,6)		
				Transporte colectivo	20,9 (18,5)	3,8 (3,3)		
				Transporte no colectivo	12,9 (8,6)	2,3 (1,5)		
				Bicicletas	10,6 (6,2)	1,9 (1,1)		
				Peatones	13,9 (11,1)	2,5 (2,0)		
				Tiempo sin la prestación del servicio de movilidad que se está construyendo	12,4 (24,7)	2,2 (4,5)		

Tabla 4.2. Pesos orientativos para las categorías, criterios, subcriterios e indicadores del árbol en un entorno periurbano.

Categoría	Peso local (%)	Criterio	Peso local (%)	Subcriterio	Peso local (%)	Peso global (%)		
Impacto económico	21,2	-	-	-	-	21,2		
Riesgos laborales	20,9	-	-	-	-	20,9		
Impacto ambiental	29,2	Consumo de recursos	22,5	Consumo de materiales	45,8	3,0		
				Consumo de energía	54,2	3,6		
		Generación de residuos y emisión de contaminantes	36,7	Emisión de gases de efecto invernadero	17,8	1,9		
				Emisión de contaminantes a la atmósfera	23,4	2,5		
				Contaminación acústica sobre entorno natural	14,1	1,5		
				Generación de residuos no peligrosos	15,4	1,7		
				Generación de residuos tóxicos, contaminantes o peligrosos	29,3	3,1		
		Afectación a entornos sensibles	40,8	Afectación al dominio público hidráulico	21,5	2,6		
				Afectación al dominio público marítimo-terrestre	15,6	1,9		
				Afectación a áreas naturales protegidas	27,2	3,2		
				Afectación a especies silvestres en régimen de protección especial	24,9	3,0		
				Afectación a espacios naturales no protegidos	10,8	1,3		
		Impacto social	28,7	Afectación a servicios	46,8	Servicios de suministro y evacuación a garantizar	13,3 (12,6)	1,8 (1,7)
						Servicios públicos desplazables o prescindibles	5,9 (4,2)	0,8 (0,6)
						Tiempo sin la prestación del servicio que se está construyendo (no relacionado con la movilidad)	8,3 (21,0)	1,1 (2,8)
Centros de alta sensibilidad	15,4 (14,7)					2,1 (2,0)		
Contaminación acústica sobre residentes en viviendas	14,7 (13,4)					2,0 (1,8)		
Negocios	13,0 (9,2)					1,7 (1,2)		
Sector primario y secundario	9,4 (10,0)					1,3 (1,4)		
Espacios verdes	8,5 (6,3)					1,1 (0,8)		
Riesgo de afección al patrimonio	11,5 (8,4)					1,5 (1,1)		
Afectación a la movilidad	53,2			Vehículos de emergencia	29,2 (30,9)	4,5 (4,7)		
				Transporte colectivo	21,2 (18,5)	3,2 (2,8)		
				Transporte no colectivo	13,4 (8,6)	2,0 (1,3)		
				Bicicletas	10,1 (6,2)	1,5 (0,9)		
				Peatones	12,2 (11,1)	1,9 (1,7)		
				Tiempo sin la prestación del servicio de movilidad que se está construyendo	13,9 (24,7)	2,1 (3,8)		

Tabla 4.3. Pesos orientativos para las categorías, criterios, subcriterios e indicadores del árbol en un entorno rural.

Categoría	Peso local (%)	Criterio	Peso local (%)	Subcriterio	Peso local (%)	Peso global (%)		
Impacto económico	26,0	-	-	-	-	26,0		
Riesgos laborales	21,4	-	-	-	-	21,4		
Impacto ambiental	28,9	Consumo de recursos	23,3	Consumo de materiales	53,8	3,6		
				Consumo de energía	46,2	3,1		
		Generación de residuos y emisión de contaminantes	33,3	Emisión de gases de efecto invernadero	17,9	1,7		
				Emisión de contaminantes a la atmosfera	17,7	1,7		
				Contaminación acústica sobre entorno natural	17,5	1,7		
				Generación de residuos no peligrosos	17,2	1,7		
				Generación de residuos tóxicos, contaminantes o peligrosos	29,7	2,9		
		Afectación a entornos sensibles	43,4	Afectación al dominio público hidráulico	21,4	2,7		
				Afectación al dominio público marítimo-terrestre	21,4	2,7		
				Afectación a áreas naturales protegidas	23,1	2,9		
				Afectación a especies silvestres en régimen de protección especial	23,5	2,9		
				Afectación a espacios naturales no protegidos	10,6	1,3		
		Impacto social	23,7	Afectación a servicios	40,9	Servicios de suministro y evacuación a garantizar	11,3 (12,6)	1,1 (1,2)
						Servicios públicos desplazables o prescindibles	6,1 (4,2)	0,6 (0,4)
						Tiempo sin la prestación del servicio que se está construyendo (no relacionado con la movilidad)	9,3 (21,0)	0,9 (2,0)
Centros de alta sensibilidad	14,1 (14,7)					1,4 (1,4)		
Contaminación acústica sobre residentes en viviendas	14,3 (13,5)					1,4 (1,3)		
Negocios	12,4 (9,2)					1,2 (0,9)		
Sector primario y secundario	11,9 (10,1)					1,1 (1,0)		
Espacios verdes	7,8 (6,3)					0,8 (0,6)		
Riesgo de afección al patrimonio	12,8 (8,4)					1,2 (0,8)		
Afectación a la movilidad	59,1					Vehículos de emergencia	29,9 (31,3)	4,2 (4,4)
				Transporte colectivo	19,3 (18,8)	2,7 (2,6)		
				Transporte no colectivo	15,5 (11,2)	2,2 (1,6)		
				Bicicletas	9,1 (6,2)	1,3 (0,9)		
				Peatones	9,4 (7,5)	1,3 (1,1)		
				Tiempo sin la prestación del servicio de movilidad que se está construyendo	16,8 (25,0)	2,3 (3,5)		

La normalización de los pesos a suma cien se puede realizar sobre los pesos globales o sobre los pesos locales. Se recomienda realizar la normalización sobre los pesos locales ya que, de lo contrario, el peso de los subcriterios eliminados se reparte entre todos los subcriterios, independientemente de si pertenecen al mismo criterio o no, modificando el peso de criterios que, en principio no tendrían que verse afectados por la normalización.

Por ejemplo, en la tabla 4.4 se muestra una asignación de pesos locales a un árbol de valor y el cálculo de los pesos globales considerando todos los criterios y subcriterios. En las tablas 4.5 y 4.6 se supone que el subcriterio A2 no es relevante para una aplicación y se normalizan los pesos.

Tabla 4.4. Ejemplo de asignación de pesos a un árbol de valor.

Criterio	Peso local del criterio (%)	Subcriterio	Peso local del subcriterio (%)	Peso global del subcriterio (%)
A	70	A1	30	21
		A2	20	14
		A3	50	35
B	30	-	-	30

En la tabla 4.5 primero se calculan los pesos globales del subcriterio y a continuación se normalizan los pesos globales. El resultado es que el peso final del criterio B (34,9%) se ha modificado respecto a la asignación de pesos original (30%) y lo mismo ocurre con el peso final del criterio A (24,4% + 40,7% = 65,1%) respecto al peso asignado al criterio A (70%).

Tabla 4.5. Ejemplo de eliminación de algún subcriterio con redistribución de pesos mediante normalización de los pesos globales.

Criterio	Peso local del criterio (%)	Subcriterio	Peso local del subcriterio (%)	Peso global del subcriterio (%)	Peso global del subcriterio normalizado (%)
A	70,0	A1	30,0	21,0	24,4
		A2	20,0	-	-
		A3	50,0	35,0	40,7
B	30,0	-	-	30,0	34,9

Como, en principio, se desea conservar la asignación de pesos original, se recomienda realizar primero la normalización de los pesos locales y después el cálculo de los pesos globales, como se muestra en el ejemplo de la tabla 4.6. De esta forma el peso final de los criterios A (24,4% + 40,7% = 65,1%) y B (30%) es el mismo que el peso asignado por los expertos.

Tabla 4.6. Ejemplo de eliminación de algún subcriterio con redistribución de pesos mediante normalización de los pesos locales.

Criterio	Peso local del criterio (%)	Subcriterio	Peso local del subcriterio (%)	Peso local del subcriterio normalizado (%)	Peso global del subcriterio (%)
A	70,0	A1	30,0	37,5	26,3
		A2	20,0	-	-
		A3	50,0	62,5	43,8
B	30,0	-	-	-	30,0

Es conveniente realizar un análisis de sensibilidad de la metodología a la variación de los pesos dada su influencia en los resultados finales. En el Capítulo 9 se realiza un análisis de sensibilidad a partir de los datos obtenidos de la aplicación práctica a un caso real realizada en el Capítulo 8.

En la ronda de entrevistas, además de realizar una asignación de pesos a las categorías, criterios y subcriterios del árbol, se asignaron pesos a los indicadores que pertenecen a un subcriterio con más de un indicador. El promedio de los pesos asignados se muestra en la tabla 4.7.

Tabla 4.7. Pesos de los indicadores pertenecientes a un subcriterio con varios indicadores para zonas urbana, periurbana y rural.

Subcriterio	Indicador	Peso (%)		
		Zona urbana	Zona periurbana	Zona rural
Servicios de suministro y evacuación a garantizar	Cortes previstos	29,2	32,3	37,7
	Riesgo de cortes imprevistos	70,8	67,7	62,3
Negocios	Negocios tipo 1: Gimnasios, hoteles, locales comerciales, restauración y cafeterías, salas de cine, teatros, etc.	70,8	66,9	63,7
	Negocios tipo 2: quioscos de todo tipo, terrazas de locales de alimentación	29,2	33,1	36,3
Transporte no colectivo	Afección a carriles	51,4	62,8	72,7
	Afección a plazas de estacionamiento	48,6	37,2	27,3
Bicicletas	Afección a carriles	72,9	64,4	64,1
	Afección a plazas de estacionamiento	27,1	35,6	35,9

4.5. DEFINICIÓN DEL CONJUNTO DE ALTERNATIVAS

Todas las alternativas consideradas en la evaluación deben cumplir las siguientes condiciones:

- Las normativas vigentes de prevención de riesgos laborales.
- Las normativas medioambientales vigentes y la Declaración de Impacto Ambiental.
- Las normativas vigentes de impacto social.

En las tablas A.5, B.21 y C.21 de los Anexos A, B y C respectivamente, se pueden consultar la legislación vigente a fecha de redacción de la tesis. De no cumplirse alguna de las anteriores condiciones, la alternativa queda excluida de la decisión.

4.6. PRIORIZACIÓN DE ALTERNATIVAS

Adaptando la ecuación 3.1., formulada en términos de valor, a términos de impacto, se define el impacto global de una alternativa como el sumatorio del impacto de cada subcriterio multiplicado por su correspondiente peso global (ecuación 4.5).

$$\text{Impacto}(a_i) = \sum_j w_j \cdot \text{Impacto}_{ij} \quad (4.5)$$

Dónde:

$\text{Impacto}(a_i)$ es el impacto global de la alternativa i

w_j es el peso del subcriterio j

Impacto_{ij} es el impacto de la alternativa i respecto al subcriterio j

Se considera mejor alternativa aquélla que alcanza el impacto global mínimo. El impacto global obtenido no tiene sentido físico ya que se calcula a partir de indicadores con unidades distintas, que se transforman a unidades de impacto mediante la función de impacto. El valor de impacto obtenido para cada alternativa debe considerarse solamente como un impacto relativo, a comparar con el impacto del resto de alternativas. Sirve para evaluar si una alternativa tiene mayor o menor impacto que otra.

Capítulo 5

Riesgos laborales

5.1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se presenta la parte de la metodología relacionada con los riesgos laborales.

A partir de las entrevistas a expertos en prevención de riesgos laborales (tercera ronda de entrevistas) y de la revisión y análisis de la legislación europea y española y de otros documentos del ámbito de la seguridad y salud de los trabajadores, se ha diseñado una nueva metodología de evaluación de las obras en cuanto a los riesgos de seguridad y salud de los trabajadores. Esta metodología se puede utilizar tanto por sí sola, si lo que interesa es evaluar el riesgo de seguridad y salud de una obra de construcción, como de forma integrada con el resto de metodologías (impacto económico, impacto ambiental e impacto social) que se presentan en los Capítulos 4, 6 y 7 para realizar una evaluación global de la obra.

Primeramente, se recoge un pequeño estado del arte de las metodologías de evaluación de las condiciones de trabajo aplicables a las obras de construcción y se explica y justifica la nueva metodología. Se define el Índice de Riesgo Laboral, que es una medida de los riesgos de seguridad y salud en las obras.

Seguidamente se listan los principales riesgos laborales en el sector de la construcción. La lista se basa en un análisis de las legislaciones, guías técnicas, notas técnicas y otros documentos de referencia europeos y españoles así como en entrevistas a expertos en prevención de riesgos laborales. Las horas de trabajo dedicadas a las actividades con riesgo de la obra serán los indicadores utilizados.

Finalmente se muestra, para cada riesgo, una valoración de la probabilidad de que se produzca el accidente y de su consecuencia más probable. Esta valoración ha sido realizada por un experto en prevención de riesgos laborales que tiene conocimiento de gran parte de los accidentes de trabajo en el sector de la construcción que se han producido en Cataluña durante los últimos 40 años y ha sido contrastada por otros dos

técnicos en prevención de riesgos laborales. A partir de estas valoraciones se obtiene la importancia o peso de cada riesgo.

5.2. ESTADO DEL CONOCIMIENTO DE LAS METODOLOGÍAS PARA LA EVALUACIÓN DE LOS RIESGOS LABORALES EN LA CONSTRUCCIÓN

En el presente apartado se revisan distintas metodologías de evaluación de riesgos y se define una nueva metodología, en base a la que se considera más adecuada entre las analizadas.

Actualmente se reconoce que el análisis y la evaluación de riesgos es la base para gestionar la seguridad y salud en el trabajo. Las metodologías estudiadas y la nueva metodología se encuentran dentro del marco de gestión de riesgos generalmente aceptados (Perry y Hayes, 1985; Ahmed *et al.*, 2007). Aunque no existe una metodología única y oficial para llevar a cabo la evaluación de riesgos, existen unos rasgos comunes en las diversas metodologías, que son los siguientes:

- Establecimiento del contexto.
- Identificación de riesgos.
- Análisis de riesgos (valoración de la probabilidad de ocurrencia del accidente y de la severidad o consecuencias del daño, en caso de producirse el accidente).
- Evaluación del riesgo (en algunos casos, se determina la frecuencia o nivel de exposición al riesgo).
- Tratamiento del riesgo (priorización de alternativas, rediseño y elección de la mejor alternativa).

La mayoría de las metodologías de evaluación de seguridad y salud están pensadas para ser aplicadas en distintos ámbitos o en el ámbito industrial. Prácticamente no existen metodologías de evaluación de riesgos específicas para las obras de construcción. A continuación se comentan algunas de las pocas encontradas en las revistas científicas especializadas, todas ellas basan la evaluación del riesgo en las distintas estrategias de seguridad y salud adoptadas por la empresa constructora:

- Seo y Choi (2008) consideran la probabilidad y las consecuencias de que se produzca un riesgo, pero no el tiempo o frecuencia de exposición. En lugar de ello, tienen en cuenta una valoración, por parte de un experto, de la calidad del diseño de las medidas de seguridad y salud. Solamente definen la metodología para las obras subterráneas y para un número reducido de actividades.
- Sun *et al.* (2008) también presentan un modelo basado en las consecuencias y la probabilidad de ocurrencia del riesgo. Sin embargo, la lista de riesgos utilizada no se basa en las actividades constructivas sino en aspectos organizativos o de gestión de la obra y la seguridad y salud.
- Rajendran y Gambatese (2009) proponen un sistema de valoración basado en la importancia que se da a la seguridad y salud de los trabajadores y el grado de implementación de los elementos de seguridad y salud.

En CIRIA (2001), dentro de impacto social, se define como uno de los indicadores de respeto a los trabajadores, el número de accidentes mortales y no mortales por cada 100.000 horas trabajadas en la empresa constructora. Bakhoum y Brown (2012) tienen en cuenta la seguridad y salud de los trabajadores en su sistema de puntuación para la evaluación de los materiales estructurales utilizando como indicadores el ratio de enfermedades y muerte de los trabajadores, la toxicidad humana y el ratio de accidentes de los trabajadores. En Spencer *et al.* (2012) se plantea la posibilidad de incluir la seguridad y salud en una herramienta de cuantificación de la sostenibilidad de proyectos de puentes, pero finalmente deciden descartarla por varios motivos. Según ellos, asignar una puntuación a la seguridad y salud crearía dificultades políticas como, por ejemplo, preguntarse por qué una alternativa es más segura o por qué no todas las alternativas son 100% seguras.

La metodología que se presenta en la tesis asume que las estrategias y medidas de seguridad y salud adoptadas por las constructoras se encuentran dentro del marco legislativo europeo y español y, por lo tanto, dentro de este contexto, no son un factor discriminatorio relevante a la hora de evaluar las distintas obras. En cambio, se considera que los distintos tipos de actividades del proceso constructivo permiten discriminar mejor entre obras en cuanto a los riesgos de seguridad y salud.

A continuación se revisan brevemente algunos de los métodos de evaluación de riesgos, que se encuentran en los siguientes documentos:

- Evaluación de riesgos laborales (INSHT, 1996).
- Nota Técnica de Prevención 330: Sistema simplificado de evaluación de riesgos de accidente (INSHT, 1993).
- Recomendaciones relativas a seguridad y salud para la ejecución de estructuras de hormigón: Puentes y Estructuras de edificación convencionales (ACHE, 2011).
- Mathematical evaluations for controlling hazards (Fine, 1971).

5.2.1. Evaluación de riesgos laborales del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo

Dentro de la evaluación general de riesgo, se determina la potencial severidad o consecuencia del daño, en tres niveles, que se muestran en la tabla 5.1. También se evalúa la probabilidad de que ocurra el daño con los tres niveles mostrados en la tabla 5.2.

En esta metodología no se establece una valoración numérica sino que, a partir de las dos valoraciones cualitativas anteriores, se estima el nivel de riesgo (tabla 5.3) y las actuaciones a realizar.

Tabla 5.1. Niveles de consecuencia del daño (INSHT, 1996).

Consecuencias del daño	
Niveles	Descripción
Ligeramente dañino	Daños superficiales, molestias e irritación.
Dañino	Laceraciones, quemaduras, conmociones, torceduras importantes, fracturas menores, sordera, dermatitis, asma, trastornos musco-esqueléticos, enfermedades que conducen a una incapacidad menor.
Extremadamente dañino	Amputaciones, fracturas mayores, intoxicaciones, lesiones múltiples, lesiones fatales, enfermedades que acorten severamente la vida.

Tabla 5.2. Niveles de probabilidad de ocurrencia del daño (INSHT, 1996).

Probabilidad de ocurrencia del daño	
Niveles	Descripción
Alta	El daño ocurrirá siempre o casi siempre
Media	El daño ocurrirá en algunas ocasiones
Baja	El daño ocurrirá raras veces

Tabla 5.3. Método simple para estimar los niveles de riesgo de acuerdo a su probabilidad estimada y a sus consecuencias esperadas (INSHT, 1996).

		Consecuencias		
		Ligeramente dañino	Dañino	Extremadamente dañino
Probabilidad	Baja	Riesgo trivial	Riesgo tolerable	Riesgo moderado
	Media	Riesgo tolerable	Riesgo moderado	Riesgo importante
	Alta	Riesgo moderado	Riesgo importante	Riesgo intolerable

5.2.2. Nota Técnica de Prevención 330: Sistema simplificado de evaluación de riesgos de accidente del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo

En la presente nota técnica se comenta que la materialización de un riesgo puede generar consecuencias diferentes (C_i), cada una de ellas con su correspondiente probabilidad (P_i). Así, por ejemplo, ante una caída al mismo nivel, las consecuencias normalmente esperables son leves pero, con una probabilidad menor, también podrían ser graves e incluso mortales. El daño esperable promedio de un accidente vendría determinado por la expresión definida en la ecuación 5.1.

$$Daño\ esperable\ promedio = \sum_i P_i \cdot C_i \tag{5.1}$$

Sin embargo, en la valoración de los riesgos, se considera la consecuencia normalmente esperable o consecuencia más probable.

En este caso (ecuación 5.2), el nivel de riesgo (NR) es función del nivel de deficiencia (ND), el nivel de exposición (NE) y del nivel de consecuencias (NC):

$$NR = ND \cdot NE \cdot NC \quad (5.2)$$

El nivel de deficiencia se define como la magnitud de la vinculación esperable entre los factores de riesgo considerados y su relación causal directa con el posible accidente. Las valoraciones cualitativas, numéricas y su significado se muestran en la tabla 5.4.

Tabla 5.4. Niveles de deficiencia (INSHT, 1993).

Deficiencia		
Niveles	Valoración numérica	Descripción
Muy deficiente	10	Se han detectado factores de riesgo significativos que determinan como muy posible la generación de fallos. El conjunto de medidas preventivas existentes respecto al riesgo resulta ineficaz.
Deficiente	6	Se ha detectado algún factor de riesgo significativo que precisa ser corregido. La eficacia del conjunto de medidas preventivas existentes se ve reducida de forma apreciable.
Mejorable	2	Se han detectado factores de riesgo de menor importancia. La eficacia del conjunto de medidas preventivas existentes respecto al riesgo no se ve reducida de forma apreciable.
Aceptable	-	No se ha detectado anomalía destacable alguna. El riesgo está controlado. No se valora.

El nivel de exposición es una medida de la frecuencia con la que se da exposición al riesgo. Las valoraciones numéricas del nivel de exposición son inferiores a las valoraciones de los niveles de deficiencias, ya que una exposición alta con nivel de deficiencia bajo no debiera ocasionar el mismo nivel de riesgo que una deficiencia alta con exposición baja. Los niveles de exposición considerados se muestran en la tabla 5.5.

Tabla 5.5. Niveles de exposición al riesgo (INSHT, 1993).

Exposición al riesgo		
Niveles	Valoración numérica	Descripción
Continuada	4	Continuamente. Varias veces en su jornada laboral con tiempo prolongado.
Frecuente	3	Varias veces en su jornada laboral, aunque sea con tiempos cortos.
Ocasional	2	Alguna vez en su jornada laboral y con periodo corto de tiempo.
Esporádica	1	Irregularmente.

Se consideran cuatro niveles para la clasificación de las consecuencias, teniendo en cuenta daños personales y daños materiales. Como en el presente capítulo se están considerando los riesgos laborales, solamente se incluyen los daños personales (tabla 5.6). La escala numérica de consecuencias es muy superior a las anteriores ya que debe tener mayor peso.

Tabla 5.6. Niveles de consecuencias de los daños personales (INSHT, 1993).

Consecuencia		
Niveles	Valoración numérica	Descripción
Mortal o catastrófico	100	Un muerto o más
Muy grave	60	Lesiones graves que pueden ser irreparables
Grave	25	Lesiones con incapacidad laboral transitoria
Leve	10	Pequeñas lesiones que no requieren hospitalización

Finalmente se establecen 4 niveles de intervención, según el nivel de riesgo obtenido (tabla 5.7).

Tabla 5.7. Niveles de intervención (INSHT, 1993).

Nivel de intervención	Valoración numérica	Descripción
I	600-4000	Situación crítica. Corrección urgente.
II	150-500	Corregir y adoptar medidas de control.
III	40-120	Mejorar si es posible. Sería conveniente justificar la intervención y su rentabilidad.
IV	20	No intervenir, salvo que un análisis más preciso lo justifique.

5.2.3. Monografía M-17 de ACHE, Recomendaciones relativas a seguridad y salud para la ejecución de estructuras de hormigón: Puentes y Estructuras de edificación convencionales

La valoración del riesgo de la presente monografía es la que se muestra en la ecuación 5.3.

$$\text{Valoración del Riesgo} = \text{Probabilidad} \cdot \text{Consecuencias} \quad (5.3)$$

Como se puede ver en la tabla 5.8, la probabilidad de que ocurra el daño se clasifica en cuatro niveles. La severidad del daño se clasifica también en cuatro niveles (tabla 5.9).

Tabla 5.8. Probabilidad de ocurrencia del daño (ACHE, 2011).

Probabilidad de que ocurra el daño		
Niveles	Valoración numérica	Descripción
Improbable	1	Prácticamente el daño nunca se presenta
Poco probable	2	El daño ocurrirá en raras ocasiones
Probable	3	El daño ocurrirá en algunas ocasiones
Altamente probable	4	El daño ocurrirá siempre o casi siempre

Tabla 5.9. Severidad del daño (ACHE, 2011).

Severidad del daño		
Niveles	Valoración numérica	Descripción
Leve	1	Cortes y magulladuras pequeñas, irritación de los ojos por polvo y molestias (dolor de cabeza, malestar)
Medio	2	Laceraciones, quemaduras, conmociones, torceduras importantes, fracturas menores, sordera, dermatitis, asma, trastornos músculo-esqueléticos, enfermedad que conduce a una incapacidad menor
Grave	3	Amputaciones o fracturas mayores, intoxicaciones, lesiones múltiples, cáncer y otras enfermedades que acorten severamente la vida
Mortal	4	Muerte

Análogamente a los métodos anteriores, según la puntuación obtenida en la valoración del riesgo, se establecen cinco categorías de riesgo (trivial, tolerable, moderado, importante e intolerable) y las actuaciones a realizar en cada caso.

5.2.4. Método Fine: evaluación matemática para el control de riesgos

El método Fine (1971) es ampliamente conocido. Se utiliza para determinar el riesgo de accidente como se indica en la ecuación 5.4.

$$\text{Riesgo} = \text{Consecuencias} \cdot \text{Exposición} \cdot \text{Probabilidad} \quad (5.4)$$

La consecuencia, el resultado más probable de un accidente potencial, se clasifica como se muestra en la tabla 5.10. El método también incluye los daños materiales, no mostrados aquí. La exposición, la frecuencia de ocurrencia de la situación de riesgo, se clasifica como se indica en la tabla 5.11.

Tabla 5.10. Clasificación de las consecuencias según el método Fine (1971).

Consecuencias	
Valoración numérica	Niveles
100	Catástrofe; numerosas muertes
50	Varias muertes
25	Muerte
15	Lesión muy grave (amputación, discapacidad permanente)
5	Lesiones incapacitantes
1	Cortes menores, moratones, hinchazón por golpes

Tabla 5.11. Niveles de exposición a la situación de riesgo según el método Fine (1971).

Exposición		
Niveles	Valoración numérica	Descripción
Continua	10	Muchas veces al día
Frecuente	6	Aproximadamente una vez al día
Ocasional	3	De una vez a la semana a una vez al mes
Inusual	2	De una vez al mes a una vez al año
Rara	1	Se conoce que se ha producido
Remotamente posible	0,5	No se conoce que se haya producido

Los niveles de probabilidad de que la secuencia de accidente se complete son los que se muestran en la tabla 5.12.

Tabla 5.12. Niveles de probabilidad de que la secuencia del accidente se complete según el método Fine (1971).

Probabilidad	
Valoración numérica	Niveles
10	Es el resultado esperado y más probable si se produce la situación de riesgo
6	Es completamente posible, no es inusual, con una probabilidad del 50%
3	Sería una secuencia inusual o casualidad
1	Sería una coincidencia remotamente posible
0,5	Nunca ha sucedido después de muchos años de experiencia, pero es concebible
0,1	Es una secuencia prácticamente imposible (no se conoce que haya sucedido)

El método Fine establece una clasificación de seis niveles para las consecuencias, exposición y la probabilidad, lo que permite afinar más en la valoración del riesgo y de la obra en cuanto a seguridad y salud, en comparación con los otros métodos

estudiados, que solamente establecen 3 o 4 niveles dentro de la probabilidad y las consecuencias. Se opta por la utilización del método Fine con algunas adaptaciones.

5.3. NUEVA METODOLOGÍA

5.3.1. Índice de Riesgo Laboral (IRL)

Partiendo del método Fine (1971), se define el Índice de Riesgo Laboral (*IRL*) de una obra. El IRL es una medida del grado de peligrosidad para la seguridad y salud de los trabajadores, que depende del volumen y tipo de actividades llevadas a cabo (Casanovas *et al.*, 2014).

El IRL_i de una obra (ecuación 5.5) es la suma de los Índices de Riesgo Laboral de las distintas actividades con riesgo de la obra (IRL_{ik}). El IRL_{ik} de cada actividad (ecuación 5.6) se obtiene multiplicando la valoración de la probabilidad de ocurrencia del accidente (P_k) por la valoración de la consecuencia más probable del accidente (C_k) y por la exposición al riesgo (E_{ik}).

La exposición al riesgo, en vez de cuantificarse como la frecuencia con que se produce la situación de riesgo como en otras metodologías, se cuantifica como el tiempo total en horas-persona empleado en cada actividad. Las horas-persona se definen como las horas de trabajo ininterrumpido necesarias para realizar una determinada actividad sin tener en cuenta las interrupciones lógicas del trabajo como descansos, comidas u otro tipo de paradas.

$$IRL_i = \sum_k IRL_{ik} \quad (5.5)$$

$$IRL_{ik} = P_k \cdot C_k \cdot E_{ik} = w_k \cdot E_{ik} \quad (5.6)$$

siendo k todas las actividades de obra con algún riesgo a considerar de la alternativa i .

Las horas-persona empleadas en las distintas actividades con riesgo no pueden sumarse directamente, pues la gravedad de las consecuencias en caso de accidente no es la misma para los distintos riesgos, ni tampoco la probabilidad de ocurrencia del accidente. Por ello, es necesario realizar una ponderación de las horas de trabajo de las distintas actividades.

La ponderación se realiza mediante la asignación de pesos (w_k) obtenidos a partir de la valoración de los niveles de la probabilidad (P_k) de ocurrencia de un accidente y de su consecuencia (C_k), utilizando las tablas 5.13 y 5.14. A mayor probabilidad de ocurrencia de un accidente y mayor gravedad de las consecuencias del accidente potencial, mayor importancia del riesgo y, por tanto, mayor peso.

Tabla 5.13. Niveles de probabilidad de que la secuencia de accidente se complete utilizados para la obtención del Índice de Riesgo Laboral de una obra.

Probabilidad (P) De que la secuencia del accidente se complete	
Valoración numérica	Niveles de probabilidad
10	Es muy probable ante la situación de riesgo
6	Es completamente posible, no es inusual
3	Sería una secuencia rara pero posible
1	Es remotamente posible
0,5	Nunca ha sucedido pero es concebible
0,1	Es una secuencia prácticamente imposible (no se conoce que haya sucedido)

Tabla 5.14. Niveles de consecuencias del resultado más probable de un accidente potencial utilizados para la obtención del Índice de Riesgo Laboral de una obra.

Consecuencias (C) Resultado más probable de un accidente potencial	
Valoración numérica	Niveles
100	Catástrofe; numerosas muertes
50	Varias muertes
25	Muerte
15	Lesiones con baja muy graves (amputación, discapacidad permanente)
5	Heridas con baja no graves (lesiones incapacitantes)
1	Heridas leves sin baja (cortes menores, moratones, hinchazón por golpes)

Para que el IRL de una alternativa (IRL_i) se pueda comparar al resto de criterios (coste, impacto ambiental e impacto social) hay que transformarlo a unidades de impacto. Esto se realiza aplicando la ecuación 4.3 o 4.4 al IRL_i , obteniendo así un impacto en cuanto a riesgos laborales, como se muestra en las ecuación 5.7 y 5.8.

$$Impacto RL_i = \frac{IRL_i}{\max\{IRL_i\}} \quad (5.7)$$

$$Impacto RL_i = \frac{IRL_i}{IRL_{ref}} \quad (5.8)$$

La ecuación 5.7 se utiliza cuando se toma como referencia la alternativa más desfavorable, es decir, la que tiene el máximo IRL y la ecuación 5.8 se utiliza cuando se toma como referencia la misma alternativa para el cálculo del impacto en todas las categorías y subcriterios.

Dado un conjunto de alternativas y sus respectivos IRL, la alternativa con mayor IRL, es la alternativa con mayor impacto en cuanto a la seguridad y salud de los trabajadores. En el Capítulo 8 se muestra un ejemplo de cálculo del IRL en una obra real.

5.3.2. Exposición a los principales riesgos laborales en la construcción (cómputo de horas-persona para cada riesgo)

A partir del análisis de legislaciones, guías técnicas, notas técnicas y otros documentos de referencia españoles y europeos aplicables a la seguridad y salud de los trabajadores en la construcción y de entrevistas a expertos en prevención de riesgos laborales, se han definido los principales riesgos y como calcular la exposición a cada actividad con riesgo, es decir, las horas-persona.

A continuación se indican los principales riesgos de seguridad en las obras de construcción a considerar en el cálculo del IRL y las actividades en las que se presentan (riesgo – actividades). También se define cómo se contabilizan las horas-persona de cada actividad. Es importante remarcar que en todos los indicadores se contabilizan tanto las horas de trabajo de los trabajadores propios de la empresa como de los trabajadores subcontractados, así como los trabajos de desvío o modificación de servicios que tengan que realizar las compañías de servicios debido a la ejecución de la obra. En caso de estructura prefabricada, las probabilidades de ocurrencia de un accidente serían inferiores que en una obra ya que se dan en condiciones industriales más controladas y la metodología presentada en la tesis analiza los riesgos de las obras, que tienen condiciones continuamente cambiantes.

Además, en el Anexo A de riesgos laborales, se define y analiza cada riesgo con más detalle y se comentan las principales medidas preventivas a adoptar. Se indican los trabajos con riesgos especiales para la seguridad y salud de los trabajadores y la legislación que así lo considera. También se incluyen otros riesgos y enfermedades profesionales no utilizados en el cálculo del IRL y se justifica su exclusión. En las tablas A.2 y A.3 se indica la legislación y documentos de referencia sobre seguridad y salud utilizados en la definición de la metodología y los riesgos.

1. Caída de personas a distinto nivel – Trabajos en altura o en profundidad con desnivel superior a 2 m

Se contabilizan las horas-persona empleadas en trabajos que se realicen a una altura superior a 2 metros incluyendo tanto los trabajos en los que se pueda caer desde altura como los que se pueda caer en profundidad. La altura se mide desde la superficie en la que está situado el trabajador hasta el nivel inferior donde quedaría retenido si no se dispusiera de un medio de protección.

2. Contacto eléctrico directo o indirecto – Trabajos eléctricos, próximos a líneas eléctricas o con maquinaria eléctrica en condiciones húmedas

2a. Contacto eléctrico directo o indirecto – Trabajos en tensión en líneas eléctricas aéreas o algún otro elemento en tensión desprotegido (trabajos en la zona de peligro)

Se contabilizan las horas-persona de los trabajadores cualificados que realizan trabajos en tensión debidos a la ejecución de la obra. Los trabajos en tensión son los

que se realizan en la zona de peligro, delimitada por la distancia D_{PEL} a la línea eléctrica aérea o elemento en tensión desprotegido (tabla 5.15 y figura 5.1).

Tabla 5.15. Distancia desde la línea eléctrica aérea o elemento en tensión desprotegido hasta el límite exterior de la zona de peligro (D_{PEL}) y de la zona de proximidad (D_{PROX-1} y D_{PROX-2}) en función de la tensión nominal de la instalación (Real Decreto 614/2001).

Tensión nominal de la instalación (kV)	D_{PEL} (cm)	D_{PROX-1} (cm)	D_{PROX-2} (cm)
≤1	50	70	300
3	62	112	300
6	62	112	300
10	65	115	300
15	66	116	300
20	72	122	300
30	82	132	300
45	98	148	300
66	120	170	300
110	160	210	500
132	180	330	500
220	260	410	500
380	390	540	700

U_n = tensión nominal de la instalación (kV).

D_{PEL} = distancia hasta el límite exterior de la zona de peligro cuando exista riesgo de sobretensión por rayo (cm).

D_{PROX-1} = distancia hasta el límite exterior de la zona de proximidad cuando resulte posible delimitar con precisión la zona de trabajo y controlar que ésta no se sobrepasa durante la realización del mismo (cm).

D_{PROX-2} = distancia hasta el límite exterior de la zona de proximidad cuando no resulte posible delimitar con precisión la zona de trabajo y controlar que ésta no se sobrepasa durante la realización del mismo (cm).

Las distancias para valores de tensión intermedios se calculan por interpolación lineal.

Si no se sabe de forma cierta si se delimitará con precisión la zona de trabajo, se utiliza, del lado seguro, la distancia D_{PROX-2} .

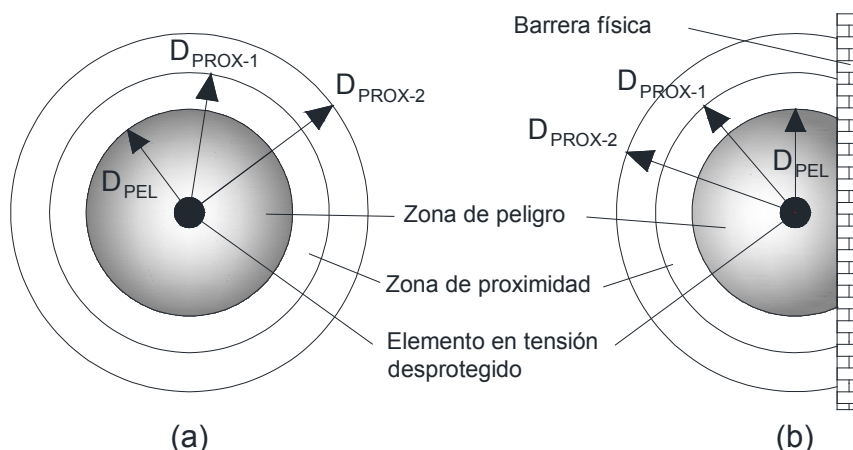


Figura 5.1. Zona de peligro o de trabajos en tensión definida por la distancia de peligro y zona de proximidad definida interiormente por la distancia de peligro y exteriormente por la distancia de proximidad (a) sin barrera física y (b) cuando se interpone un barrera física (Guía técnica para la evaluación y prevención del riesgo eléctrico).

2b. Contacto eléctrico directo o indirecto – Trabajos en la zona de proximidad de líneas eléctricas aéreas o de algún otro elemento en tensión desprotegido

Se contabilizan las horas-persona dedicadas a trabajos en proximidad de líneas eléctricas aéreas u otro elemento en tensión desprotegido. La zona de proximidad está limitada interiormente por la distancia D_{PEL} a la línea eléctrica aérea o elemento en tensión desprotegido y exteriormente por la distancia D_{PROX-1} o D_{PROX-2} (tabla 5.15 y figura 5.1). Un trabajo se considera en proximidad cuando su zona de ejecución invade la zona de proximidad. Si la zona de trabajo se puede limitar con precisión, la zona de proximidad viene definida por la distancia exterior D_{PROX-1} y si la zona de trabajo no se puede delimitar con precisión o no se sabe si se podrá delimitar con precisión, la zona de proximidad está definida por la distancia exterior D_{PROX-2} .

2c. Contacto eléctrico directo o indirecto – Trabajos cerca de líneas eléctricas subterráneas en tensión

Se contabilizan las horas-persona dedicadas a movimientos de tierras u otras actividades susceptibles de alcanzar y dañar las canalizaciones eléctricas subterráneas que se realizan a una distancia igual o inferior a 1 metro de la canalización. La distancia se mide desde el diámetro exterior de la canalización.

2d. Contacto eléctrico directo o indirecto – Trabajos con maquinaria eléctrica en condiciones húmedas

Se contabilizan todas las horas-persona dedicadas a la utilización de las hormigoneras eléctricas móviles y semi-fijas.

3. Quemaduras por incendio y explosión debido a rotura accidental de tubería – Trabajos en proximidad de conducciones de combustibles

Se tienen en cuenta las horas-persona empleadas en realizar movimientos de tierras u otras actividades susceptibles de alcanzar y dañar la canalización de combustible que se realizan a una distancia igual o inferior a 1 metro de la canalización medida desde el diámetro exterior de la canalización.

4. Inhalación de gas – Trabajos cerca de tuberías de gas

Se tienen en cuenta las horas-persona dedicadas a la realización de movimientos de tierras o cualquier otra actividad susceptible de alcanzar y dañar una canalización de gas, que se realizan a una distancia igual o inferior a 1 metro de la canalización. La distancia se mide desde el diámetro exterior de la canalización.

5. Asfixia causada por sepultamiento por desprendimiento de materiales – Movimiento de tierras, excavaciones, pozos, trabajos subterráneos y túneles

Se contabilizan las horas-persona empleadas en la ejecución de movimientos de tierra, excavaciones, pozos, trabajos subterráneos o túneles que alcanzan una profundidad igual o superior a 0,80 metros en terrenos corrientes y 1,30 metros en terrenos consistentes. En caso de duda en cuanto al tipo de terreno, se consideran los trabajos que alcanzan una profundidad igual o superior a 0,80 metros.

6. Proyección de partículas y explosión accidental – Voladuras en excavaciones, pozos, trabajos subterráneos y túneles

Se contabilizan las horas-persona empleadas en operaciones de voladura y manipulación de materias explosivas en la obra.

7. Accidente disbárico o por descompresión – Trabajos en condiciones hiperbáricas

Se contabilizan las horas-persona dedicadas a trabajos que se realizan en condiciones hiperbáricas ya sea en medio subacuático o en cajones o cámaras con aire comprimido.

8. Golpes o atrapamiento por movimiento o desprendimiento de carga – Manejo de cargas mediante medios mecánicos

Se tienen en cuenta las horas-persona destinadas al manejo de cargas mediante medios mecánicos.

9. Golpes en extremidades superiores o inferiores – Manejo manual de cargas

Se contabilizan las horas-persona dedicadas a operaciones de manejo manual de cargas, entendiéndose como tales las que se realizan únicamente con el esfuerzo de la persona que lo maneja, ya sea con o sin dispositivos o aparejos de elevación.

Como resulta complicado conocer el valor real de las horas-persona dedicadas al manejo manual de cargas, se puede utilizar la siguiente aproximación, según el sector:

- En obra civil, un 10% del tiempo total.
- En edificación, un 40% del tiempo total.

Estos porcentajes son sólo un valor orientativo, si se conocen datos más exactos en función del tipo de actividad se recomienda utilizarlos. Por ejemplo, si el recuento de horas para el presente riesgo se realiza por partidas, algunas partidas, como ejecución de tabiques, colocación de bordillos o de panots de acera, tienen un porcentaje alto de manejo manual de cargas, que podría ser de un 60%, pues cada vez que se coloca una pieza se tiene que manejar manualmente. En la aplicación práctica del Capítulo 8 se indican las estimaciones realizadas.

10. Atropello o golpes debidos a maquinaria o vehículos pesados – Trabajos con maquinaria o vehículos pesados

Se contabilizan las horas-persona dedicadas al manejo de maquinaria pesada y vehículos pesados. En la aplicación práctica del Capítulo 8 se indican las estimaciones realizadas.

11. Cortes, heridas y golpes debido a maquinaria no pesada – Trabajo con maquinaria no pesada que corta, perfora o da golpes

Se contabilizan las horas-persona empleadas en la utilización de la maquinaria no pesada siguiente: afiladora angular, bandeja vibrante, cizalla eléctrica, cortadora de disco manual, cortadora de pavimento, equipo de corte con hilo de diamante, equipo de postesado, equipo para anclaje de pernos, máquina para doblar barras de acero, máquina tronzadora de carriles, martillo manual perforador o rompedor neumático, motosierra (sierra de cinta o cadena), pisón (compactador), sierra de disco de mesa y sierra de diamante de mesa.

12. Quemaduras – Soldadura, corte oxiacetilénico y adhesión de lámina asfáltica al soporte mediante soplete

Se contabilizan todas las horas-persona empleadas en la realización de soldaduras, corte oxiacetilénico, adhesión de lámina asfáltica al soporte mediante soplete y otros usos del soplete.

13. Golpes por proyección o caída de elementos sobre trabajadores – Derribo o demolición manual, mecánica o mediante explosivos; perforación de barrenos previa a la voladura de un desmote y posterior saneamiento y reconocimiento del terreno

Se contabilizan las horas-persona empleadas en trabajos de derribo manual, mecánico o mediante explosivos. También se contabilizan las horas de trabajo de perforación de barrenos previos a la voladura de un talud y de saneamiento y reconocimiento del terreno posteriores a la voladura.

14. Intoxicaciones por polvo o tóxicos – Derribos o demoliciones generales o de hospitales, industrias, mataderos o cualquier otro lugar que pueda contener sustancias tóxicas por medios manuales, mecánicos o explosivos

Se contabilizan las horas-persona empleadas en demoliciones manuales, mecánicas o mediante explosivos de edificios, estructuras o infraestructuras en general, por el riesgo de intoxicación por polvo que conllevan. Además, se contabilizan las horas-persona dedicadas a derribos por medios manuales, mecánicos o explosivos de hospitales, industrias, mataderos o cualquier otro lugar que pueda contener sustancias tóxicas o agentes biológicos.

15. Asfixia o intoxicaciones en espacios confinados – Trabajos en espacios confinados

Se contabilizan las horas-persona empleadas en:

- Alcantarillado.
- Arquetas, pozos de registro y galerías de servicio de gas, electricidad, telefonía, etc.
- Soldaduras, oxicorte y otros usos del soplete en espacios confinados.
- Voladuras en espacios confinados.
- Aplicación de pinturas con disolvente en espacios confinados.
- Trabajos de mantenimiento y cambio de la herramienta de corte de la tuneladora sin condiciones hiperbáricas.

16. Ahogo – Trabajos en zonas con riesgo de avenidas

Se contabilizan todas las horas-persona en las que los trabajadores están en zona inundable ya sea en espacio abierto como, por ejemplo, el lecho de un río o en espacio cerrado como, por ejemplo, el alcantarillado.

17. Colisión o atropello debido a tráfico externo a la obra – Trabajo en zonas con tráfico externo a la obra

Se contabilizan todas las horas-persona de las actividades en las que se invade o se puede invadir las zonas con tráfico externo a la obra.

18. Accidente de tráfico – Transporte de elementos a obra

Se contabilizan las horas-persona dedicadas al transporte de elementos desde la fábrica hasta la obra.

19. Riesgo estructural o riesgo macro – Operaciones complejas

El riesgo estructural o riesgo macro es el riesgo de que falle algún elemento auxiliar o la propia estructura durante la construcción. Es debido a errores en el diseño, en la ejecución o en la gestión de la obra y no está causado por falta de medidas de seguridad y salud (no puede evitarse con medidas de prevención). Algunos ejemplos de estructuras y operaciones con riesgo estructural son las siguientes: maniobras en puentes empujados, grúas moviendo grandes cargas, construcción de pilas o presas mediante encofrado trepante, operaciones de postesado, grandes cimbras, etc.

Se contabilizan las horas-persona de los trabajadores que se encuentran en un lugar de trabajo tal que, si se produjera un accidente por riesgo macro (fallo de la estructura o elemento auxiliar), se verían afectados por él.

5.3.2. Valoración de las consecuencias y probabilidades de un accidente para los distintos riesgos

Prácticamente no existen datos publicados sobre la probabilidad de ocurrencia de un accidente en la construcción (Comissió de Seguretat i Higiene de la Construcció de Catalunya, 1993) y resulta muy difícil acceder a los que no están publicados de empresas constructoras o aseguradoras. Por ello, se ha optado por obtener esta probabilidad a partir de valoraciones de expertos en prevención con un largo recorrido profesional.

La valoración de la probabilidad de accidente y consecuencia de cada actividad con riesgo se ha obtenido como la media aritmética de las valoraciones de tres expertos técnicos en prevención de riesgos laborales utilizando las tablas 5.13 y 5.14. Las desviaciones entre las valoraciones de los tres expertos han sido muy acotadas. Los valores resultantes (P: probabilidad de que se produzca el accidente; C: Consecuencia más probable del accidente potencial y PxC: Producto de los valores anteriores, peso) se muestran en la tabla 5.16. En la misma tabla se ha obtenido un “peso estandarizado” (W_i) calculado como el peso de cada riesgo dividido por el máximo peso posible (1000). Estas valoraciones se presentan desglosadas por actividades dentro de un mismo riesgo.

Las valoraciones de la tabla 5.16 se han realizado teniendo en cuenta los métodos de trabajo y gestión de las obras actuales en los países desarrollados y son de aplicación bajo estas condiciones. En otras circunstancias, el experto en prevención de riesgos laborales debe determinar si estas asignaciones son válidas y, en caso negativo, realizar nuevas asignaciones teniendo en cuenta el desarrollo tecnológico de la región y de la empresa y la gestión de las medidas preventivas reales de la obra.

Ninguno de los riesgos considerados ha sido valorado con consecuencias catastróficas ni con una probabilidad de ocurrencia de “prácticamente imposible (no se conoce que haya sucedido)”

Hay que tener en cuenta que una misma actividad puede presentar varios riesgos. Por ejemplo, el movimiento de tierras con maquinaria pesada para formación de terraplén en zona con tráfico externo a la obra puede presentar los siguientes riesgos:

1. Caída de personas a distinto nivel
5. Asfixia causada por sepultamiento por desprendimiento de materiales
10. Atropello y golpes debidos a maquinaria y vehículos pesados
17. Colisión o atropello por tráfico externo a la obra

Tabla 5.16. Valoración de la probabilidad y consecuencias y peso para cada riesgo.

Riesgo – Actividad	Valoración cualitativa		Valoración numérica		Peso	Peso estandarizado
	P	C	P	C	PxC	$W_i = \frac{P \times C}{\max\{P \times C\}}$
1 Caída de personas a distinto nivel – Trabajos en altura o profundidad con desnivel superior a 2 metros						
Cabrestante con brazo móvil (maquinillo)	Remotam. posible	Graves - Muerte	1,0	20,0	20,0	0,020
Encofrado convencional en altura (incluido muros obra civil y edificación)	Rara pero posible - Completam. posible	Muy graves - Muerte	4,5	23,3	105,0	0,105
Encofrado trepante en pilares o presas (necesita grúa)	Rara pero posible	Varias muertes	3,0	50,0	150,0	0,150
Encofrado deslizante (no necesita grúa)	Remotam. posible	Graves - Muerte	1,0	20,0	20,0	0,020
Cimbra (solamente en el montaje y desmontaje)	Rara pero posible	Graves - Muerte	3,0	20,0	60,0	0,060
Cimbra autolanzable	Rara pero posible	Graves - Muerte	3,0	20,0	60,0	0,060
Andamio de caballetes o borriquetas (hasta una altura de 3 m)	Rara pero posible	Graves	3,0	15,0	45,0	0,045
Andamio de elevación por cremallera	Remotam. posible	Graves - Muerte	1,0	20,8	20,8	0,021
Andamio metálico tubular	Rara pero posible - Completam. posible	Graves - Muerte	4,5	21,7	97,5	0,098
Andamio metálico sobre ruedas, torretas, torre de trabajo móvil	Rara pero posible	Graves - Muerte	3,0	20,0	60,0	0,060

	Andamio colgado móvil	Rara pero posible - Completam. posible	Muy graves - Muerte - Varias muertes	4,5	31,7	142,5	0,143
	Plataforma elevadora articulada	Remotam. posible	Graves - Muerte	1,0	20,0	20,0	0,020
	Plataforma de trabajo para el mantenimiento o cambio de herramientas de corte en las tuneladoras	Rara pero posible	Graves	3,0	15,0	45,0	0,045
	Torre fija de trabajo, torreta de hormigonado	Rara pero posible	No graves - Graves	3,0	10,0	30,0	0,030
	Colocación de losetas, ferralla y hormigonado del tablero	Rara pero posible	Graves - Muerte	3,0	20,0	60,0	0,060
	Huecos interiores (principalmente en edificación)	Rara pero posible	Muerte	3,0	25,0	75,0	0,075
	Aberturas exteriores en fachadas	Rara pero posible	Graves - Muerte	3,0	20,0	60,0	0,060
	Trabajos sobre cubiertas	Rara pero posible	Graves - Muerte	3,0	21,7	65,0	0,065
	Zanjas	Remotam. posible	No graves - Graves	1,3	10,0	13,3	0,013
	Taludes (desmonte y terraplén)	Rara pero posible	Graves	3,0	15,0	45,0	0,045
	Pozos	Remotam. posible	Graves - Muerte	1,0	20,0	20,0	0,020
	Interior de cajones marítimos (durante su fabricación y traslado)	Rara pero posible	Graves	3,0	15,0	45,0	0,045
	Demolición elemento a elemento	Completam. posible	Graves - Muerte	6,0	20,0	120,0	0,120
2	Contacto eléctrico directo o indirecto – Trabajos eléctricos, próximos a líneas eléctricas o con maquinaria eléctrica en condiciones húmedas						
	Trabajos en tensión - líneas eléctricas aéreas	Rara pero posible	Graves - Muerte (+)	3,0	22,5	67,5	0,068
	Trabajos en proximidad - líneas eléctricas aéreas	Rara pero posible - Completam. posible	Graves - Muerte	4,5	20,0	90,0	0,090
	Trabajos cerca de líneas subterráneas en tensión	Rara pero posible - Completam. posible	Graves - Muerte	4,5	20,0	90,0	0,090
	Hormigonera eléctrica	Rara pero posible	Graves	3,0	15,0	45,0	0,045
3	Quemaduras por incendio o explosión debido a rotura de tubería – Trabajos cerca de tuberías de combustible						
		Rara pero posible	Graves - Muerte	3,0	20,0	60,0	0,060
4	Inhalación de gas – Trabajos cerca de tuberías de gas						
		Rara pero posible	Graves - Muerte	3,0	20,0	60,0	0,060
5	Asfixia causada por sepultamiento por desprendimiento de materiales – Movimiento de tierras, excavaciones, pozos, trabajos subterráneos, túneles						
	Movimiento de tierras y excavaciones a cielo abierto	Rara pero posible	Graves - Muerte	3,0	20,0	60,0	0,060
	Pozos con revestimiento y encofrado simultáneo (obra pública)	Remotam. posible	Graves - Muerte	1,0	20,0	20,0	0,020

	Pozos sin revestir (minas)	Rara pero posible	Graves - Muerte	3,0	20,0	60,0	0,060
	Trabajos subterráneos y túneles por el método tradicional, explosivos, rozadora, perforación con tuneladora <u>sin</u> condiciones hiperbáricas en las operaciones de cambio o mantenimiento de las herramientas de corte	Rara pero posible	Graves - Muerte	3,0	20,0	60,0	0,060
6	Proyección de partículas y explosión accidental – Voladuras en excavaciones, pozos, trabajos subterráneos, túneles						
	Proyección de partículas sobre trabajadores	Rara pero posible	Graves	3,0	15,0	45,0	0,045
	Explosión accidental	Remotam. posible	Muerte	1,0	25,0	25,0	0,025
7	Accidente disbárico o por descompresión – Trabajos en condiciones hiperbáricas						
	Trabajos de mantenimiento o cambio de la herramienta de corte en tuneladoras, buzos en obras marítimas	Remotam. posibles	Graves	1,0	15,0	15,0	0,015
8	Golpes o atrapamiento por movimiento o desprendimiento de cargas – Manejo de cargas mediante medios mecánicos						
	Grúas y toros	Rara pero posible	Graves - Muerte	3,0	21,7	65,0	0,065
	Cabrestante con brazo móvil (maquinillo)	Rara pero posible	Graves	3,0	15,0	45,0	0,045
	Colocación de cajones marítimos	Rara pero posible	Graves	3,0	15,0	45,0	0,045
	Resto de medios mecánicos para manejo de cargas	Remotam. posible	Graves - Muerte	1,0	20,0	20,0	0,020
9	Golpes en extremidades superiores o inferiores – Manejo manual de cargas						
	Materiales y elementos auxiliares	Completam. posible	Leves - Graves	6,0	7,0	42,0	0,042
	Vigas	Completam. posible	No graves - Graves	6,0	10,0	60,0	0,060
	Montaje de armadura	Rara pero posible	Leves - Graves	3,0	7,0	21,0	0,021
10	Atropello y golpes debidos a maquinaria o vehículos pesados – Trabajos con maquinaria o vehículos pesados						
		Rara pero posible	Graves - Muerte	3,0	22,5	67,5	0,068
11	Cortes, heridas y golpes debido a maquinaria no pesada – Trabajos con maquinaria no pesada que corta, perfora o da golpes						
	Afiladora angular	Completam. posible	No graves - Graves	6,0	10,0	60,0	0,060
	Bandeja vibrante	Rara pero posible	No graves	3,0	5,0	15,0	0,015
	Cizalla eléctrica	Rara pero posible	Graves	3,0	15,0	45,0	0,045
	Cortadora de disco manual	Completam. posible	No graves - Graves	6,0	11,7	70,0	0,070
	Cortadora de pavimento	Completam. posible	No graves - Graves	6,0	10,0	60,0	0,060
	Equipo de corte con hilo de diamante	Rara pero posible	Graves	3,0	15,0	45,0	0,045
	Equipo de postesado	Rara pero posible	Graves	3,0	15,0	45,0	0,045

	Equipo para anclaje de pernos	Rara pero posible	Graves	3,0	15,0	45,0	0,045
	Máquina para doblar barras de acero	Completam. posible	Graves	6,0	15,0	90,0	0,090
	Máquina tronzadora de carriles	Rara pero posible	Graves	3,0	15,0	45,0	0,045
	Martillo manual perforador o rompedor neumático	Completam. posible	No graves - Graves	6,0	10,0	60,0	0,060
	Motosierra – sierra de cinta o cadena	Completam. posible	No graves - Graves	6,0	10,0	60,0	0,060
	Pisón (compactador)	Rara pero posible	No graves	3,0	5,0	15,0	0,015
	Sierra de disco de mesa	Rara pero posible - Completam. posible	Graves	4,5	15,0	67,5	0,068
	Sierra de diamante de mesa	Rara pero posible - Completam. posible	Graves	4,5	15,0	67,5	0,068
12	Quemaduras – Soldadura, corte oxiacetilénico y adhesión de lámina asfáltica al soporte mediante soplete	Remotam. posible	Leves - Graves	1,0	7,0	7,0	0,007
13	Golpes, proyección o caída de elementos sobre trabajadores – Derribos o demoliciones y trabajos previos o posteriores a voladura de un desmonte						
	Derribo manual, desescombro y evacuación (caída de elementos sobre trabajadores)	Completam. posible	Graves - Muerte	6,0	20,0	120,0	0,120
	Derribo mecánico, desescombro y evacuación (golpes y heridas por elementos)	Completam. posible	Leves - Graves	6,0	7,0	42,0	0,042
	Derribo mediante técnicas especiales (explosivos), desescombro y evacuación (proyección de partículas sobre trabajadores)	Completam. posible	Leves - Graves	6,0	7,0	42,0	0,042
	Perforación de barrenos previa a la voladura de un desmonte y posterior saneamiento y reconocimiento del terreno (desprendimiento de los materiales superiores)	Completam. posible	Graves - Muerte	6,0	20,0	120,0	0,120
14	Intoxicaciones por polvo o tóxicos – Derribos o demoliciones por medios manuales, mecánicos o explosivos						
	Trabajos de derribo o demolición generales	Rara pero posible	No graves	3,0	5,0	15,0	0,015
	Trabajos de derribo o demolición de hospitales, industrias o mataderos o cualquier otro lugar que pueda contener sustancias tóxicas o agentes biológicos	Rara pero posible	Graves	3,0	15,0	45,0	0,045
15	Asfixia o intoxicaciones en espacios confinados – Trabajos en espacios confinados						
	Soldaduras, oxiacorte u otro uso de soplete en espacios confinados	Rara pero posible	Graves	3,0	15,0	45,0	0,045
	Trabajos en alcantarillado (asfixia)	Remotam. posible - Rara pero posible	Graves - Muerte	2,0	20,0	40,0	0,040

	Trabajos en alcantarillado (intoxicaciones por inhalación o ingestión – infecciones)	Rara pero posible	Leves - Graves	3,0	7,0	21,0	0,021
	Trabajos en arquetas, pozos de registro y galerías de gas, electricidad, telefonía, etc.	Rara pero posible - Completam. posible	No graves - Graves - Muerte	4,5	15,0	67,5	0,068
	Voladura en espacio confinado	Rara pero posible	Graves - Muerte	3,0	20,0	60,0	0,060
	Trabajos de mantenimiento y cambio de la herramienta de corte de la tuneladora sin condiciones hiperbáricas	Nunca ha sucedido pero concebible	Graves - Muerte	0,5	20,0	10,0	0,010
	Aplicación de pinturas con disolvente en espacios confinados	Rara pero posible	Leves - Graves	3,0	7,0	21,0	0,021
16	Ahogo – Trabajos en zonas con riesgo de avenidas¹						
	Trabajos en colectores de aguas residuales, en lechos de ríos, torrentes, etc.	Rara pero posible	Graves - Muerte	3,0	20,0	60,0	0,060
17	Colisión o atropello por tráfico externo a la obra – Trabajos en zonas con tráfico externo a la obra						
		Rara pero posible	Graves - Muerte	2,7	21,7	57,8	0,058
18	Accidente de tráfico – Transporte de elementos y materiales a obra						
	Transporte especial (ej. elementos prefabricados)	Rara pero posible - Completam. posible	Graves - Muerte	4,5	20,0	90,0	0,090
	Hormigón	Rara pero posible - Completam. posible	Leves - No graves - Graves	4,0	10,0	40,0	0,040
	Transporte general, no especial (ej. acero estructural, escombros)	Rara pero posible	No graves - Graves	3,0	10,0	30,0	0,030
19	Colapso de un elemento auxiliar o de la estructura – Operaciones o estructuras complejas²						
		Remotam. posible	Varias Muertes	1,0	50,0	50,0	0,050

¹ La valoración de la probabilidad de ocurrencia del accidente por ahogo se ha realizado a partir de los accidentes producidos en Cataluña y, por lo tanto, solamente es válida en este territorio. Para poder aplicarse en otros territorios debe realizarse una valoración de acuerdo con sus condiciones hidrográficas.

² La valoración de la probabilidad depende del tipo de obra o actividad. El responsable de seguridad y salud debe valorar la probabilidad de accidente estructural utilizando la tabla 5.13. La probabilidad indicada en la tabla es solamente orientativa.

Capítulo 6

Impacto ambiental

“El hombre no ha tejido la red de la vida: es sólo una hebra de ella. Todo lo que haga a la red se lo hace a sí mismo.”

Carta del Gran Jefe Seattle a Franklin Pierce (1855)

6.1. INTRODUCCIÓN

Cada vez somos más conscientes de la limitación de los recursos naturales, del frágil equilibrio natural de nuestro entorno y del impacto que pueden ejercer las acciones humanas sobre el mismo. También somos más conscientes de que la salud humana, la calidad de vida, nuestro futuro y supervivencia dependen del entorno en el que vivimos. Por todo ello, hay un interés creciente en la preservación de los recursos naturales y de la defensa del medioambiente. Prueba de ello es la numerosa legislación existente, tanto a nivel europeo como estatal.

Una construcción medioambientalmente más sostenible mejora la eficiencia y los beneficios económicos debido al uso eficiente de recursos, ahorro energético, aumento del reciclaje y disminución de costes de vertido, reducción en los costes de transporte por la opción de proveedores locales, etc. (ICE *et al.*, 2002). Por lo tanto, es totalmente necesario incluir el aspecto medioambiental dentro de la metodología para la evaluación y seguimiento de las obras.

En el presente capítulo se define una nueva metodología que permite comparar el impacto ambiental de distintos procedimientos constructivos entre sí y el impacto ambiental de la obra construida frente al de la obra planificada. El capítulo se estructura de la siguiente forma:

- Primeramente, se incluye un breve estado del conocimiento, que consta de legislación ambiental y algunas publicaciones sobre el estado actual de la evaluación de impacto ambiental de las obras.
- A continuación, se enmarcan y definen los criterios y subcriterios adoptados en la nueva metodología, así como las fases en las que se estudian.
- Seguidamente, se explica y justifica la nueva metodología.
- Finalmente, se define un indicador para cada subcriterio.

El presente capítulo se complementa con el Anexo B de impacto ambiental, donde se comenta con más detalle cada criterio y subcriterio y se justifican los indicadores definidos, haciendo referencia a legislación europea y española relevante y a publicaciones científicas y técnicas.

6.2. ESTADO DEL CONOCIMIENTO

En este apartado se comentan los siguientes aspectos más generales referentes al impacto medioambiental de las obras en base a la legislación española y europea analizada: responsabilidad medioambiental, acceso a la información y participación pública, y evaluación de impacto ambiental y evaluación ambiental estratégica. Seguidamente, se comenta el estado de la evaluación de impacto ambiental de las obras de construcción según algunas publicaciones. Las publicaciones que hacen referencia a criterios, subcriterios e indicadores se citan en el Anexo B de impacto ambiental, dentro de su correspondiente criterio o subcriterio.

6.2.1. Responsabilidad medioambiental

El artículo 45 de la Constitución Española reconoce “el derecho a disfrutar de un medioambiente adecuado para el desarrollo de la persona, así como el deber de conservarlo”. Establece que quienes incumplan la obligación de utilizar racionalmente los recursos naturales estarán obligados a reparar el daño causado con independencia de las sanciones administrativas o penales que también correspondan. Al poner énfasis en la restauración total de los recursos naturales se prima el valor medioambiental, el cual no se entiende satisfecho con una mera indemnización dineraria.

La Ley 26/2007 incorpora la “responsabilidad ambiental de carácter objetivo e ilimitado basado en los principios de prevención y de que «quien contamina paga»”. Dicha ley incluye en la definición de daño:

- Los causados a las especies silvestres y los hábitats.
- A las aguas superficiales o subterráneas, tanto en el estado ecológico, químico y cuantitativo.
- A la ribera del mar y de las rías, sobre su integridad física y adecuada conservación.

- Al suelo, debido al depósito, vertido o introducción de sustancias preparadas, etc.
- Al cambio adverso en un recurso natural o un servicio de recursos naturales.

Se incluyen los daños ocasionados por elementos transportados por el aire. En todos los casos se consideran los daños causados directa o indirectamente.

Entre otras, se considera como infracción muy grave, no adoptar las medidas preventivas cuando ello tenga como resultado el daño que se pretendía evitar y grave no adoptar las medidas preventivas cuando no sea constitutivo de infracción muy grave.

El Real Decreto 2090/2008 establece que el “daño se medirá en unidades biofísicas del recurso afectado relativas a la superficie, la masa, el volumen o el tamaño de la población, entre otras”.

6.2.2. Acceso a la información y participación pública

Los ciudadanos tienen derecho a exigir a los poderes públicos que adopten las medidas necesarias para garantizar la adecuada protección del medioambiente, para disfrutar del derecho a vivir en un medioambiente sano (Ley 27/2006).

España ratifica el Convenio de la Comisión Económica para Europa de Naciones Unidas sobre acceso a la información, la participación del público en la toma de decisiones y el acceso a la justicia en materia de medioambiente (UNECE, 1998) en el 2004. Conocido como Convenio de Aarhus, parte del siguiente postulado: para que los ciudadanos puedan disfrutar del derecho a un medioambiente saludable y cumplir el deber de respetarlo y protegerlo, deben tener acceso a la información medioambiental relevante, deben estar legitimados para participar en los procesos de toma de decisiones de carácter ambiental y deben tener acceso a la justicia cuando tales derechos les sean negados. En la Ley 27/2006 quedan recogidos estos derechos.

6.2.3. Evaluación de Impacto Ambiental y Evaluación Ambiental Estratégica

El Real Decreto 1131/1988 y el Real Decreto Legislativo 1/2008 tienen como objeto asegurar la integración de los aspectos ambientales en el proyecto para tenerlos en cuenta en el procedimiento de autorización o aprobación mediante la evaluación de impacto ambiental. La Ley 9/2006 pretende integrar los aspectos medioambientales en fases anteriores a la de proyecto, en la toma de decisiones de políticas, planes y programas públicos introduciendo la evaluación ambiental estratégica.

La evaluación de impacto ambiental de proyectos se considera el instrumento más adecuado para la preservación de los recursos naturales y la defensa del medioambiente (Real Decreto Legislativo 1/2008). Se define como “el conjunto de estudios y análisis técnicos que permiten estimar los efectos que la ejecución de un determinado proyecto puede causar sobre el medioambiente” y debe identificar,

describir y evaluar los efectos directos e indirectos de un proyecto sobre los siguientes factores:

- a) El ser humano, la fauna y la flora.
- b) El suelo, el agua, el aire, el clima y el paisaje.
- c) Los bienes materiales y el patrimonio cultural.
- d) La interacción entre los factores mencionados anteriormente.

“La valoración de estos efectos, cuantitativa, si fuese posible, o cualitativa, expresará los indicadores o parámetros utilizados, empleándose siempre que sea posible normas o estudios técnicos de general aceptación, que establezcan valores límite o guía, según los diferentes tipos de impacto” (Real Decreto 1131/1988).

En el Real Decreto Legislativo 1/2008 se definen los proyectos que deberán someterse a un estudio de impacto ambiental, entre los que se incluyen la industria extractiva, energética, siderúrgica y del mineral, la producción y elaboración de metales, la industria química y petroquímica, los proyectos de infraestructuras, de ingeniería hidráulica y de gestión del agua y los proyectos de tratamiento y gestión de residuos. Como se puede ver, todos ellos están relacionados directa o indirectamente con la construcción. En el Anexo III se indican los criterios por los que un tipo de proyectos, definidos en el Anexo II, deben someterse a una evaluación de impacto ambiental:

1. Las características de los proyectos:
 - El tamaño.
 - La acumulación con otros proyectos.
 - La utilización de recursos naturales.
 - La generación de residuos.
 - La contaminación y otros inconvenientes.
 - El riesgo de accidentes, considerando en particular las sustancias y las tecnologías utilizadas.
2. La ubicación de los proyectos: la sensibilidad medioambiental de las áreas geográficas que puedan verse afectadas por los proyectos teniendo en cuenta el uso existente del suelo, la relativa abundancia, calidad y capacidad regenerativa de los recursos naturales del área, con especial atención a las áreas siguientes:
 - Humedales.
 - Zonas costeras.
 - Áreas de montaña y bosque.
 - Reservas naturales y parques.
 - Áreas clasificadas o protegidas.
 - Áreas en las que se ha rebasado ya los objetivos de calidad medioambiental establecidos en la legislación comunitaria.
 - Paisajes con significación histórica, cultural y/o arqueológica.
3. Las características del potencial impacto:
 - Su extensión: área geográfica y tamaño de la población afectada.
 - Su carácter transfronterizo.
 - La magnitud y complejidad del impacto.
 - La probabilidad del impacto.
 - La duración, frecuencia y reversibilidad del impacto.

Estos criterios han servido de referencia a la hora de definir los criterios para la nueva metodología presentada en la tesis.

La evaluación de impacto ambiental de proyectos finaliza con la emisión de la declaración de impacto ambiental por el órgano ambiental, en la que se determinan las condiciones de obligado cumplimiento para la realización de un proyecto, con el objetivo de proteger el medioambiente y los recursos naturales.

6.2.4. Evaluación ambiental en las obras de construcción

Existe una falta de información sobre la sostenibilidad relacionada con la construcción, aunque ésta sea una gran consumidora de energía, recursos materiales y agua y es responsable de una parte significativa de contaminación por sustancias dañinas y de residuos (Bakhoum y Brown, 2012).

Algunas publicaciones y metodologías analizan el impacto ambiental de la obras, aunque muchas de ellas están diseñadas principalmente para su aplicación en edificación como, por ejemplo, la presentada en Gangoells *et al.* (2009 y 2011). En Dickie y Howard (2000) se establecen criterios medioambientales, además de algunos económicos y sociales, y se asignan pesos. Reconocen que la asignación de pesos es inevitablemente subjetiva y cambiante con el tiempo, con lo que propone ir renovándolos de forma regular y planeada. En Spencer *et al.* (2012) se define un índice de sostenibilidad para puentes. Los resultados de aplicar la herramienta permiten identificar los aspectos de diseño que hay que mejorar y la comparación entre alternativas. Se trata de un método muy sencillo de aplicar y con los resultados presentados de forma gráfica. Sin embargo, no recoge algunos aspectos ambientales y sociales que se consideran importantes en la tesis.

Un estudio en las bases de datos Civil Engineering Database (CEDB) de la American Society of Civil Engineers (ASCE) y en Ei Compendex mostró que solamente un 2% de los artículos relacionados con la gestión ambiental en la construcción presentan métodos cuantitativos de gestión ambiental (Chen *et al.*, 2005). La cuantificación de los proyectos de ingeniería en términos de sostenibilidad es un nuevo reto para la ingeniería civil (Spencer *et al.*, 2012). Uno de los objetivos de la nueva metodología definida en la tesis es abordar este reto.

6.3. NUEVA METODOLOGÍA

6.3.1. Criterios y fases

La ejecución de una obra tiene un impacto medioambiental debido principalmente a tres aspectos:

- El input o entrada, que es la aportación de materiales y energía necesarios para su realización.

- El output o la salida, que es la generación de residuos y producción de contaminación.
- La interacción con el entorno local o regional de la obra.

La figura 6.1 ilustra estos aspectos.

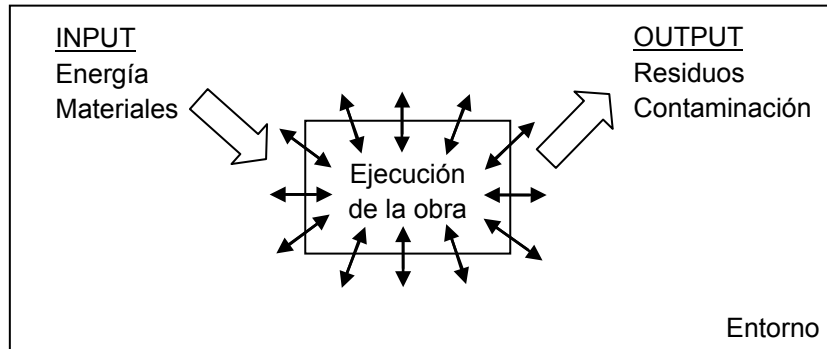


Figura 6.1. Principales aspectos que generan el impacto medioambiental de una obra.

La capacidad de la tierra es finita desde el punto de vista del consumo de recursos así como de la asimilación de vertidos, por ello hay que considerarlos en la metodología. El grado de sensibilidad al impacto medioambiental de la flora y fauna que rodea la obra difiere de un lugar a otro (Gangoellis *et al.*, 2011), por este motivo hay que considerar el entorno en el que se ejecuta la obra.

Teniendo en cuenta los anteriores factores y a partir del análisis de la legislación europea y española, artículos científicos y bibliografía referente a impacto ambiental relacionado directa o indirectamente con las obras, se han definido, como se muestra en la figura 6.2, tres criterios y doce subcriterios.

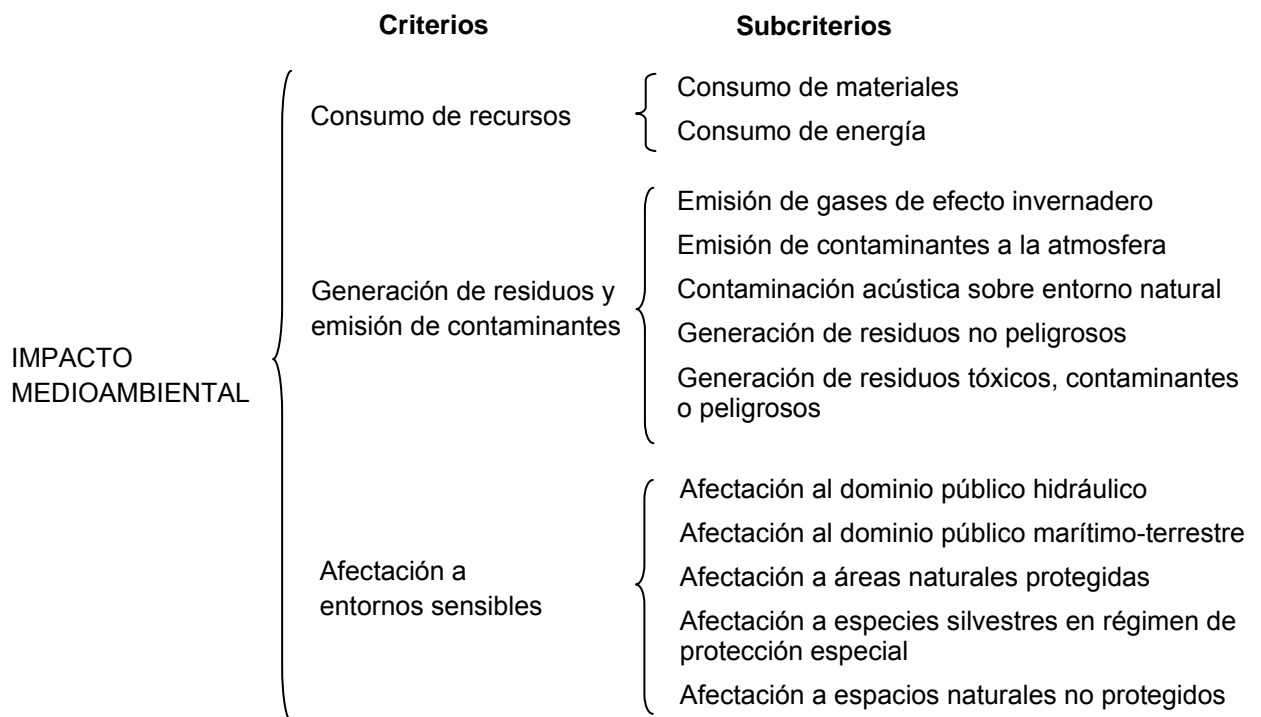


Figura 6.2. Criterios y subcriterios de impacto ambiental definidos en la metodología.

La figura 6.2 incluye los temas medioambientales clave para una construcción sostenible considerados en CIRIA (2001): evitar la contaminación, proteger y mejorar la biodiversidad, mejorar la eficiencia energética y el uso eficiente de recursos. También incluye todos los aspectos medioambientales y de cambio climático considerados en Spencer *et al.* (2012): pérdida o alteraciones de hábitat, generación de ruido, huella de carbono y algunos de los considerados como sociales en Spencer *et al.* (2012): consumo de recursos naturales y uso de materiales reciclados.

El subcriterio contaminación acústica hace referencia únicamente al impacto sobre el medio natural, ya que el impacto que la contaminación acústica tiene sobre las personas receptoras queda recogido en otros subcriterios más específicos dentro de impacto social.

Los anteriores criterios y subcriterios se analizan para distintas fases incluyendo, además de la ejecución de la obra, las fases previas a la misma, ya que en todas ellas se genera un impacto medioambiental atribuible a la obra. Las fases consideradas son las siguientes:

- Extracción de la materia prima necesaria para la fabricación de los materiales de construcción.
- Transporte de la materia prima desde el punto de extracción hasta el lugar de manufacturación.
- Fabricación de los materiales de construcción.
- Transporte de los materiales de construcción desde fábrica a obra.
- Ejecución de la obra.
- Fabricación y transporte del combustible y energía empleados en todas las fases anteriores.

La figura 6.3 ilustra estas fases:

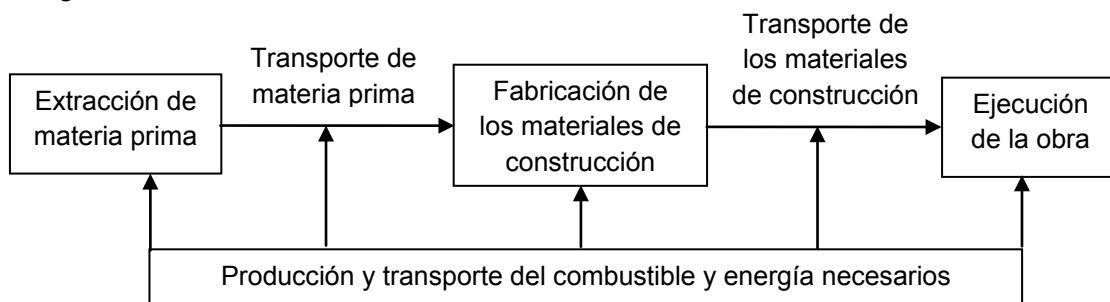


Figura 6.3. Fases analizadas en la nueva metodología.

Idealmente, los indicadores deberían considerar información de todas las fases que sean relevantes para la comparación de alternativas o para la comparación de la obra planificada con la obra ejecutada. En la práctica, no siempre existen todos los datos necesarios para ello o, cuando existen, no siempre se puede tener acceso a ellos o el coste por obtenerlos supera los beneficios obtenidos de utilizarlos.

6.3.2. Índice de Impacto Ambiental (IIA)

Utilizando la metodología justificada en los Capítulos 3 y 4, se define el Índice de Impacto Ambiental (IIA_i) de la alternativa i , que es una medida del impacto ambiental causado por la ejecución de una obra y depende del consumo de recursos, la emisión de contaminantes y generación de residuos y la afección a entornos sensibles. El IIA_i de una obra es la suma ponderada del impacto ambiental de los distintos subcriterios de impacto ambiental ($Imp.ambiental_{ij}$), como se puede ver en la ecuación 6.1. El impacto ambiental de la alternativa i y el subcriterio j (ecuaciones 6.2 y 6.3) se obtiene de aplicar la ecuación 4.3 o 4.4 a los indicadores de impacto ambiental.

$$IIA_i = \sum_j w_j \cdot Imp.ambiental_{ij} \quad (6.1)$$

$$Imp.ambiental_{ij} = \frac{I_{ij}}{\max\{I_{ij}\}_{j=ct.}} \quad (6.2)$$

$$Imp.ambiental_{ij} = \frac{I_{ij}}{I_{ref}} \quad (6.3)$$

Siendo:

w_j el peso o importancia relativa asignado al subcriterio de impacto ambiental j

La ecuación 6.2 se utiliza cuando se toma como referencia la alternativa más desfavorable, es decir, la que tiene la máxima respuesta al indicador y la ecuación 6.3 se utiliza cuando se toma como referencia la misma alternativa para el cálculo del impacto en todas las categorías y subcriterios.

Se pueden utilizar los pesos de las tablas 4.1, 4.2 y 4.3 o se pueden acabar de ajustar de acuerdo a las preferencias del decisor y al entorno de la obra.

6.3.3. Indicadores

En la tabla 6.1 se muestran los indicadores que se han definido para cada subcriterio de la nueva metodología y se indican sus unidades de medida. Todos los indicadores definidos son cuantitativos, es decir, se pueden medir, y directos, ya que miden la consecuencia inmediata de la acción. Es posible que no se puedan conseguir datos de todas las fases para todos los indicadores. Aun así, se dejan planteadas las distintas fases para los casos en que sí sea posible obtener los datos y pensando en el futuro, en el que cada vez están disponibles un mayor número de datos.

Para poder comparar las alternativas, los indicadores correspondientes al mismo subcriterio tienen que calcularse con los datos correspondientes a la misma fase o fases para todas las alternativas. Por ejemplo, si se cuenta el consumo de energía en la fabricación y transporte de materiales y en la ejecución de la obra, debe ser así para todas las alternativas. Por ello, únicamente se podrán utilizar las fases del indicador cuyos datos se conozcan para todas o casi todas las alternativas. En caso de que se conozcan los datos de prácticamente todas las alternativas excepto de unas pocas, para las alternativas cuyos datos se desconocen, se utilizan los datos de la alternativa más desfavorable, como se explica en el Capítulo 4.

Como se ha comentado anteriormente, en el Anexo B de impacto ambiental se analiza la legislación europea y española relacionada con cada criterio y subcriterio que ha sido utilizada como referencia para la definición de los indicadores de la metodología, se explica y justifica cada indicador con más detalle y se comparan los nuevos indicadores con los indicadores encontrados en la bibliografía.

Tabla 6.1. Definición de los indicadores medioambientales de la nueva metodología y sus unidades de medida.

Indicador
Se definen los indicadores $I_{i,j}$ para $i = 1 \div 3$ y $j = 1 \div 5$, donde i es el número del criterio y j es el número del subcriterio.
1. CONSUMO DE RECURSOS
1.1. Consumo de materiales
$I_{1.1} = \sum_i \alpha P_i, \quad \text{en t}$ <p>$I_{1.1}$ = Indicador del subcriterio 1.1. Consumo de materiales.</p> <p>i = Material de construcción o material de los elementos auxiliares. Los materiales con $P_i < 1t$ pueden omitirse.</p> $\alpha = \begin{cases} 1 & \text{para materiales de construcción nuevos y agua limpia} \\ 0 & \text{para materiales de construcción reciclados o reutilizados, para madera con certificación FSC y para aguas de lluvia y aguas grises reutilizadas en obra} \\ \frac{n}{n_T} & \text{para elementos auxiliares reutilizables} \\ & n = \text{número de utilizaciones en obra} \\ & n_T = \text{número de utilizaciones posibles durante toda la vida útil del elemento auxiliar} \end{cases}$ <p>P_i = Peso del material de construcción i o del elemento auxiliar i utilizado en obra (t).</p> <p>Las tierras del movimiento de tierras no se consideran en el consumo de materiales a efectos del presente indicador.</p>
1.2. Consumo de energía
$I_{1.2} = \sum_i E_{mat_i} + \sum_j E_{trans_j} + \sum_k E_{eje_k}, \quad \text{en GJ}$ <p>$I_{1.2}$ = Indicador del subcriterio 1.2. Consumo de energía.</p> <p>i = Material de construcción. Los materiales con $E_{mat_i} < 10GJ$ pueden omitirse.</p> <p>j = Material de construcción que se transporta de fábrica a obra. Los materiales de construcción que se transportan una distancia de recorrido total < 650 km (incluyendo todos los viajes de ida y vuelta) o con un consumo total de gasoil < 260 litros pueden omitirse. Como se justifica en el Anexo B, estos valores de distancia y consumo de combustible son equivalentes a 10 GJ, aproximadamente.</p> <p>k = Maquinaria o equipo utilizado en obra. La maquinaria o equipos con $E_{eje_k} < 10GJ$ pueden omitirse.</p> <p>E_{mat_i} = Energía empleada en la fabricación del material i (GJ).</p>

incluye { Extracción y transporte de la materia prima y su manufactura Si el material es nuevo
 Extracción y transporte del material usado y su tratamiento Si el material es reciclado o reutilizado

Preferentemente las empresas suministradoras de material proporcionarán este dato. En caso contrario se pueden tomar los datos de consumo de la tabla B.1.

E_{trans_j} = Energía empleada en el transporte del material j (GJ).

Preferentemente, las empresas suministradoras del material proporcionarán este dato. En caso contrario debe averiguarse la cantidad y tipo de combustible consumido (a partir de la distancia entre fábrica y obra, número de viajes de ida y vuelta necesarios y consumo o modelo de vehículo) y transformarla en energía utilizando el valor del poder calorífico superior de la tabla B.2. A falta de datos más precisos, pueden tomarse como referencia los siguientes consumos:

- Camiones de 30-40 t: 30-40 l/100km
- Camiones de 18 t: 30 l/100km
- Camiones de 10 t: 20 l/100km

E_{ejec_k} = Energía consumida en la maquinaria, equipo o instalación k (GJ)

Del proyecto constructivo se pueden obtener las horas de trabajo de la maquinaria, equipos, vehículos e instalaciones. En caso de conocer el consumo de los modelos de maquinaria y equipos utilizados en la obra, se utilizan estos datos. Si el consumo es en cantidad y tipo de combustible, se puede utilizar el factor calorífico superior de la tabla B.2 para transformarlo a unidades de energía. En caso de que no se conozca el consumo de los modelos de maquinaria y equipos utilizados en obra, se pueden utilizar los datos de consumos de la tabla B.3. En caso de la maquinaria no esté en la tabla pero se conozca su potencia, se pueden utilizar los siguientes valores de consumo orientativos por hora y por kW (SEOPAN, 2005):

- Gasóleo: 0,15 - 0,20 litros.
- Gasolina: 0,30 - 0,40 litros.
- Electricidad: 0,6 - 0,7 kWh.

2. GENERACIÓN DE RESIDUOS Y EMISIÓN DE CONTAMINANTES

2.1. Emisión de gases de efecto invernadero

$$I_{2.1} = \sum_i Gmat_i + \sum_j Gtrans_j + \sum_k Gejec_k, \text{ en kgCO}_2\text{e}$$

$I_{2.1}$ = Indicador del subcriterio 2.1. Emisión de gases de efecto invernadero.

i = Material de construcción. Los materiales con $Gmat_i < 1t$ pueden omitirse.

j = Material de construcción que se transporta de fábrica a obra. Los materiales que se transportan una distancia de recorrido total < 770 km (incluyendo todos los viajes de ida y vuelta) o con un consumo total de gasoil < 308 litros pueden omitirse. Como se justifica en el Anexo B, estos valores de distancia y consumo de combustible son equivalentes a la emisión de 1t de CO_2e , aproximadamente.

k = Maquinaria o equipo utilizado en obra. La maquinaria o equipos con $Gejec_k < 1t$ pueden omitirse.

$Gmat_i$ = Emisiones directas de gases de efecto invernadero debidas a la fabricación del material i , incluyendo: extracción y transporte de la materia prima y su

manufactura (kgCO₂e).

Preferentemente las empresas suministradoras de material proporcionarán este dato. En caso contrario se pueden tomar los datos de emisiones de la tabla B.1.

G_{trans_j} = Emisiones directas e indirectas de gases de efecto invernadero debidas al transporte del material j (kgCO₂e).

Preferentemente las empresas suministradoras del material proporcionarán este dato. En caso contrario debe averiguarse la cantidad y tipo de combustible consumido (a partir de la distancia entre fábrica y obra, número de viajes de ida y vuelta necesarios y consumo o modelo de vehículo) y transformarla en emisiones utilizando los factores de la tabla B.4. Si lo que se conoce es el tipo de combustible, clase de vehículo, peso transportado y distancia recorrida pueden utilizarse las tablas B.5-B.8. Si no se conoce el peso transportado pero sí la distancia recorrida, tipo de vehículo y combustible, pueden utilizarse las tablas B.9 y B.10.

G_{jec_k} = Emisiones directas e indirectas de gases de efecto invernadero debidas a la utilización de la maquinaria, equipo o instalación k (kgCO₂e).

Las emisiones directas de CO₂ producidas por maquinaria, equipos o vehículos de pasajeros que funcionen con combustible se pueden calcular a partir de los datos de emisiones del modelo de maquinaria, equipo o vehículo específico multiplicado por las horas, kilómetros, etc. de funcionamiento obtenidos de proyecto. Si se conoce la cantidad y tipo de combustible consumido, las emisiones directas e indirectas se pueden calcular a partir de los valores indicados en la tabla B.4. Si la maquinaria, equipos, vehículos o instalaciones funcionan con electricidad y se conoce su consumo, las emisiones directas e indirectas pueden obtenerse a partir de los factores mostrados en la tabla B.11. Si no se conocen las emisiones específicas del modelo, en caso de consumo de combustible, o no se conoce el consumo eléctrico, en caso de maquinaria o equipos que funcionen con energía eléctrica, pueden utilizarse las emisiones totales mostradas en la tabla B.3.

En el caso de transporte de pasajeros en obra, si no se conoce el consumo de combustible pero sí el tipo de combustible utilizado, la distancia recorrida y el tamaño del vehículo, se puede realizar una estimación a partir de la tabla B.12. Si no se conoce el tipo de combustible utilizado pero sí el tamaño del vehículo y los kilómetros recorridos, pueden utilizarse los factores de la tabla B.13.

Nota: Se entiende por emisiones directas las generadas en el punto de uso del combustible o, en el caso de electricidad, en el punto de generación de la electricidad. Se definen como emisiones indirectas las emisiones emitidas previamente al consumo del combustible o, en caso de la electricidad, previo a la generación de electricidad. Las emisiones indirectas incluyen la extracción y transporte de los combustibles primarios así como su refinado, purificación o conversión en combustibles de uso directo, almacenaje y distribución.

2.2. Emisión de contaminantes a la atmosfera

$$I_{2.2} = \sum_i C_{mat_i} + \sum_j C_{trans_j} + \sum_k C_{jec_k}, \text{ en kg}$$

$I_{2.2}$ = Indicador del subcriterio 2.2. Emisión de contaminantes a la atmosfera

i = Material de construcción.

j = Material de construcción que se transporta de fábrica a obra.

k = Maquinaria, equipo o instalación utilizado en la ejecución de la obra.

$P(X)_i$ = Peso del contaminante X emitido en la fabricación del material i .

$$Cmat_i = P(SO_2)_i + P(NO_x)_i + P(PM_{10})_i + P(COV)_i$$

Emisión de contaminantes a la atmosfera en la fabricación del material i (kg). Las empresas suministradoras de material deberían proporcionar este dato. Sería interesante obtener como mínimo las emisiones de la fabricación de los principales materiales utilizados en obra (hormigón, acero y aglomerado asfáltico).

$P(X)_j$ = Peso del contaminante X emitido en el transporte del material j .

$$Ctrans_j = Cpes_j + Clig_j$$

Emisión de contaminantes a la atmosfera en el transporte del material j (kg).

$Cpes_j$ Emisión de contaminantes a la atmosfera en el transporte del material j mediante vehículos pesados (kg).

$$Cpes_j = \begin{cases} P(CO)_j + P(HCT)_j + P(NO_x)_j + P(PM)_j & \text{gasoil} \\ P(CO)_j + P(HCNM)_j + P(NO_x)_j + P(PM)_j & \text{gasolina} \end{cases}$$

$Clig_j$ Emisión de contaminantes a la atmosfera en el transporte del material j mediante vehículos ligeros (kg).

$$Clig_j = \begin{cases} P(CO)_j + P(HCT + NO_x)_j + P(PM)_j & \text{gasoil} \\ P(CO)_j + P(HCT)_j + P(NO_x)_j + P(PM)_j & \text{gasolina} \end{cases}$$

Preferentemente las empresas suministradoras del material proporcionarán estos datos. En caso contrario, para vehículos pesados, debe averiguarse la cantidad y tipo de combustible consumido y transformarla en emisiones utilizando los factores de la tabla B.16. Para vehículos ligeros, debe averiguarse el tipo de vehículo, tipo de combustible y distancia recorrida y transformarlo a emisiones utilizando la tabla B.14.

$Gejec_k$ = Emisión de contaminantes a la atmosfera debidas a la utilización de la maquinaria, equipo o instalación k .

Actualmente no se dispone de suficientes datos para tenerlo en cuenta pero se deja planteado para un futuro.

2.3. Contaminación acústica sobre entorno natural

$$I_{2.3} = \sum_i L_{WAi} \cdot tdía_i + 1,2 \sum_i L_{WAi} \cdot tnoche_i, \text{ en dB} \cdot \text{h}$$

$I_{2.3}$ = Indicador del subcriterio 2.3. Contaminación acústica sobre entorno natural.

i = Maquinaria de uso al aire libre definida en el Anexo I del Real Decreto 212/2002 que se utiliza en la obra.

L_{WAi} = Nivel de potencia acústica de la maquinaria i . En caso de no conocerse los niveles de potencia acústica de la mayoría de las máquinas, se utilizan, en su lugar, los niveles de ruido a 15 metros mostrados en la tabla B.18 (dB).

$tdía_i$ = Tiempo de funcionamiento de la máquina i durante el periodo de día (de 7:00 a 23:00) (h).

$tnoche_i$ = Tiempo de funcionamiento de la máquina i durante el período de noche (de 23:00 a 7:00) (h).

El presente indicador no es de aplicación dónde la contaminación acústica preocupa únicamente por su impacto sobre las personas, como es el caso de entornos totalmente urbanos.

2.4. Generación de residuos no peligrosos

$$I_{2.4} = \sum_i Pmat_i + \sum_i Pejec_i, \text{ en t}$$

$I_{2.4}$ = Indicador del subcriterio 2.4. Generación de residuos no peligrosos.

i = Residuo no peligroso, incluyendo las aguas residuales, que no va a ser reciclado ni reutilizado. Los residuos con $Pmat_i$ o $Pejec_i < 1t$ pueden omitirse.

$Pmat_i$ = Peso del residuo no peligroso i generado en la fabricación de los materiales de construcción (t).

$Pejec_i$ = Peso del residuo no peligroso i generado en la ejecución de la obra a obtener del estudio de gestión de residuos (t).

2.5. Generación de residuos tóxicos, contaminantes o peligrosos

$$I_{2.5} = \sum_i Ppmat_i + \sum_i Ppejec_i, \text{ en kg}$$

$I_{2.5}$ = Indicador del subcriterio 2.5. Generación de residuos tóxicos, contaminantes o peligrosos.

i = Residuo tóxico, contaminante o peligroso.

$Ppmat_i$ = Peso del residuo tóxico, contaminante o peligroso i generado en la fabricación de materiales (kg).

$Ppejec_i$ = Peso del residuo tóxico, contaminante o peligroso i generado en la ejecución de la obra sin incluir los aceites industriales usados que se regenerarán con total certeza (kg).

Los datos se pueden obtener del inventario de residuos peligrosos. El coste del consumo de aceites industriales se puede estimar como los siguientes porcentajes de coste de combustible (SEOPAN, 2005):

- Máquinas con motor de gasóleo: 20%
- Máquinas con motor de gasolina: 10%
- Máquinas accionadas por energía eléctrica: 5%

3. AFECTACIÓN A ENTORNOS SENSIBLES**3.1. Afectación al dominio público hidráulico**

$$I_{3.1} = \sum_i Shid_i \cdot t_i + Shid \cdot tvida, \text{ en m}^2 \cdot \text{días}$$

$I_{3.1}$ = Indicador del subcriterio 3.1. Afectación al dominio público hidráulico.

i = Fase de la obra con una superficie de ocupación notablemente distinta.

$Shid_i$ = Superficie en planta del dominio público hidráulico y zona de policía afectada por la ejecución de la obra en la fase i (m^2).

t_i = Tiempo que dura la fase i (días).

$Shid$ = Superficie en planta del dominio público hidráulico y zona de policía ocupada por la obra terminada (m^2).

$tvida$ = Tiempo de vida útil de la obra (días).

Notas:

- El dominio público hidráulico incluye las aguas continentales, las aguas de corrientes naturales continuas o discontinuas, los lagos, las lagunas, los embalses superficiales en cauces públicos, los acuíferos subterráneos y las aguas procedentes de la desalación de mar.
- La zona de policía son cien metros de anchura medidos horizontalmente a partir del cauce.

- En el caso de que todas las alternativas tengan la misma *Shid* y el mismo *tvida* no es necesario considerar esta parte del indicador.

3.2. Afectación al dominio público marítimo-terrestre

$$I_{3.2} = \sum_i Smar_i \cdot t_i + Smar \cdot tvida, \text{ en m}^2 \cdot \text{días}$$

$I_{3.2}$ = Indicador del subcriterio 3.2. Afectación al dominio público marítimo-terrestre.

i = Fase de la obra con una superficie de ocupación notablemente distinta.

$Smar_i$ = Superficie en planta del dominio público marítimo-terrestre y zona de protección afectada por la ejecución de la obra en la fase i (m^2).

t_i = Tiempo que dura la fase i (días).

$Smar$ = Superficie en planta del dominio público marítimo-terrestre y zona de protección ocupada por la obra terminada (m^2).

$tvida$ = Tiempo de vida útil de la obra (días).

Notas:

- El dominio público marítimo-terrestre incluye, entre otros: la ribera del mar y de las rías, el mar territorial y sus islotes, las aguas interiores y sus islotes y los recursos naturales de la plataforma continental.
- La zona de protección es una zona de cien metros medidos tierra adentro desde el límite interior de la ribera del mar.
- En el caso de que todas las alternativas tengan la misma $Smar$ y el mismo $tvida$ no es necesario considerar esta parte del indicador.

3.3. Afectación a espacios naturales protegidos

$$I_{3.3} = \sum_i Sprot_i \cdot t_i + Sprot \cdot tvida, \text{ en m}^2 \cdot \text{días}$$

$I_{3.3}$ = Indicador del subcriterio 3.3. Afectación a espacios naturales protegidos.

i = Fase de la obra con una superficie de ocupación notablemente distinta.

$Sprot_i$ = Superficie en planta de espacios naturales protegidos, Red Ecológica Natura 2000 y otras áreas protegidas por instrumentos internacionales afectada por la ejecución de la obra en la fase i (m^2).

t_i = Tiempo que dura la fase i (días).

$Sprot$ = Superficie en planta de espacios naturales protegidos, Red Ecológica Natura 2000 y otras áreas protegidas por instrumentos internacionales ocupada por la obra terminada (m^2).

$tvida$ = Tiempo de vida útil de la obra (días).

En el caso de que todas las alternativas tengan la misma $Sprot$ y el mismo $tvida$ no es necesario considerar esta parte del indicador.

3.4. Afectación a especies silvestres en régimen de protección especial

$$I_{3.4} = \sum_i (Nprot + 2 \cdot Nvul + 3 \cdot Npel)_{ejec\ i} \cdot tejec_i + (Nprot + 2 \cdot Nvul + 3 \cdot Npel)_{vida} \cdot tvida$$

$$I_{3.4} = (Nprot + 2 \cdot Nvul + 3 \cdot Npel)_{ejec+vida} \cdot (tejec + tvida), \text{ en días}$$

$I_{3.4}$ = Indicador del subcriterio 3.4. Afectación a especies silvestres en régimen de protección especial.

i = Fase de la obra con una afectación a las especies silvestres en régimen de protección especial distinta a las otras fases .

$Nprot$ = Número de especies silvestres en régimen de protección especial.

N_{vul} = Número de especies vulnerables.

N_{pel} = Número de especies en peligro de extinción.

$()_{ejeci}$ = Especies que se pueden ver afectadas durante la ejecución de la obra en la fase i .

$()_{vida}$ = Especies que se pueden ver afectadas una vez la obra está terminada, durante la vida útil de la misma.

$()_{ejec+vida}$ = Especies que se pueden ver afectadas durante la ejecución y la vida útil de la obra.

t_{ejec} = Tiempo que dura la ejecución de la obra (días).

t_{vida} = Tiempo de vida útil de la obra (días).

Notas:

- La segunda fórmula se aplicará únicamente si el número y clase de especies afectadas por la obra en su ejecución y en su vida útil son los mismos.
- En el caso de que todas las alternativas tengan la misma $(N_{prot} + 2 \cdot N_{vul} + 3 \cdot N_{pel})_{vida}$ y el mismo t_{vida} no es necesario considerar esta parte del indicador.

3.5. Afectación a espacios naturales no protegidos

$$I_{3.5} = \sum_i S_{nat_i} \cdot t_i + S_{nat} \cdot t_{vida}, \text{ en m}^2 \cdot \text{días}$$

$I_{3.5}$ = Indicador del subcriterio 3.5. Afectación a espacios naturales no protegidos.

i = Fase de la obra con una superficie de ocupación notablemente distinta.

S_{prot_i} = Superficie en planta de espacios naturales no protegidos afectada por la ejecución de la obra en la fase i (m^2).

t_i = Tiempo que dura la fase i (días).

S_{mar} = Superficie en planta de espacios naturales no protegidos ocupada por la obra terminada (m^2).

t_{vida} = Tiempo de vida útil de la obra (días).

En el caso de que todas las alternativas tengan la misma S_{nat} y el mismo t_{vida} no es necesario considerar esta parte del indicador.

Capítulo 7

Impacto social

7.1. INTRODUCCIÓN

Construir una obra en medio de una ciudad en funcionamiento supone un esfuerzo a sumar a la complejidad técnica de la actuación, sobre todo para los técnicos acostumbrados a trabajar en zonas deshabitadas o parcialmente habitadas. Se tiene que garantizar el funcionamiento de las infraestructuras existentes, convivir con los ciudadanos y sus actividades en la zona afectada por las obras, garantizar la fluidez del tráfico en la ciudad, compartir espacio con el resto de servicios además de respetar el medioambiente; todo ello con el objetivo de minimizar las molestias que las obras producen inevitablemente a los ciudadanos y a su territorio (Domènech, 2009).

En obras periurbanas o rurales, algún aspecto del impacto social se puede ver como parte del impacto ambiental; sin embargo, en obras urbanas, el impacto social tiene suficiente entidad como para diferenciarse.

En el presente capítulo se define una nueva metodología que permite comparar el impacto social de distintos procedimientos constructivos entre sí y el impacto social de la obra construida frente al de la obra planificada. El capítulo se estructura de la siguiente forma:

- Primeramente, se incluye un breve estado del conocimiento, que consta de las pocas publicaciones que hacen referencia al impacto social de las obras.
- A continuación, se definen los criterios y subcriterios adoptados en la nueva metodología.
- Seguidamente, se explica y justifica la nueva metodología.
- Finalmente, se define uno o varios indicadores para cada subcriterio.

El capítulo se complementa con el Anexo C, de impacto social, donde se comenta con más detalle cada criterio y subcriterio y se justifican los indicadores definidos haciendo referencia a la legislación española, autonómica y local relevante y a algún manual de obras en ciudad.

7.2. ESTADO DEL CONOCIMIENTO

El impacto social de la ejecución de las obras públicas es el impacto menos estudiado hasta el momento y el más difícil de evaluar y cuantificar. La dificultad de evaluación se debe a que, en una zona urbana, se realizan simultáneamente muchísimas actividades en los mismos espacios e intervienen multitud de personas con intereses distintos (las residentes, las que trabajan, las que están de paso con distintos medios de transporte, las que van a comprar, a buscar algún servicio o a disfrutar de su tiempo de ocio, etc.), es decir, depende de múltiples factores.

Aunque los impactos sociales negativos pueden tener un efecto devastador en los proyectos, pues muchos proyectos de gran envergadura no se han llevado a cabo debido a los impactos adversos reales o percibidos de la construcción (Yamanaka, 1983), no se ha encontrado bibliografía que trate a fondo el impacto social de las obras y menos aún que lo evalúe de forma cualitativa o cuantitativa. En alguna publicación antigua (Yamanaka, 1983) ya se hacía referencia al impacto social de las obras, pero desde entonces no se ha avanzado mucho en su estudio. A continuación se comentan algunas de las pocas referencias encontradas.

7.2.1. Publicaciones científicas y técnicas

En Yamanaka (1983) se comenta que en los proyectos de gran magnitud es inevitable un cierto grado de impacto y alteración, pero que, mediante una planificación adecuada, coordinación y comunicación, se pueden minimizar los efectos y hacerlos más comprensibles. En el artículo se explica la experiencia obtenida en el proyecto de rehabilitación de una gran autopista urbana cerca de Chicago (Edens expressway) y se comentan algunos de los impactos sociales producidos: falta de plazas de estacionamiento, afección al tráfico, ruido diurno y nocturno, polvo, humos, afección al desarrollo de eventos sociales, etc. y algunas soluciones adoptadas como minimizar los desvíos de tráfico, mejoras en los modos de transporte alternativos, etc. Sin embargo, no se entra en la cuantificación de estos impactos. Se comenta que se tiene que mantener un alto grado de concienciación social para que el proyecto se desarrolle de forma fluida, sin mayores problemas o paradas.

El trabajo de CIRIA (2001) identificó un gran número de indicadores medioambientales y económicos pero reveló que el conocimiento de los problemas sociales en la construcción estaba mucho menos desarrollado. Sin embargo, se comenta que hay una creciente creencia de que la responsabilidad social es un requerimiento esencial del negocio.

En la misma publicación se reconoce la importancia de trabajar con las comunidades locales para eliminar o minimizar los impactos negativos de las obras, lo que puede mejorar la reputación de todos los involucrados en el proyecto, con los beneficios que conlleva. Dentro de las comunidades locales, considera los tres grupos principales siguientes:

- Vecinos: residentes, vendedores minoristas, escuelas, negocios y sus empleados.

- Grupos de interés local: ONGs, asociaciones de residentes y cámaras de comercio.
- Comunidad más amplia: conductores que se mueven por el área y ONGs estatales.

Y se definen los siguientes indicadores sociales que examinan las actuaciones de una empresa respecto a sus relaciones con las personas y comunidades:

- Número de proyectos que implementan un plan para el diálogo con las partes implicadas.
- Número de informes de responsabilidad social o medioambiental publicados por la empresa constructora que han sido auditados de forma independiente.

Según ICE *et al.* (2002), el elemento social de la sostenibilidad en la construcción es a menudo el más difícil de obtener.

En Gangolells *et al.* (2011) se comenta que los proyectos de construcción pueden causar problemas a las personas que viven cerca de la obra y que éstos varían según la zona: urbana, periurbana o rural. La ocupación de espacios públicos por instalaciones provisionales de obra y zonas de almacenamiento puede hacer disminuir el número de plazas de aparcamiento en la calle o producir restricciones de tráfico. Estas ocupaciones del espacio y la suciedad de la obra también pueden producir molestias a los peatones. El incremento de tráfico externo debido a la obra puede afectar a los vecinos. Además de causar efectos en la salud de los trabajadores y los vecinos, el polvo generado puede afectar a los edificios circundantes con una mayor necesidad de limpieza o incluso puede interferir en algunas actividades de empresas. El ruido y las vibraciones pueden ser perjudiciales para las personas que viven cerca de las obras. Este impacto es más significativo si la obra se sitúa en áreas de confort acústico que si ésta está en una zona más ruidosa, por ejemplo, en un área industrial. Los vecinos también pueden verse afectados por las vistas poco placenteras de las obras, especialmente en áreas urbanas con monumentos históricos o artísticos o áreas que, debido a su singularidad natural o arqueológica, gozan de una protección especial. Los accidentes y situaciones potenciales de emergencia (fuegos en áreas de almacenaje de combustibles y materiales inflamables, rotura de tuberías subterráneas, rotura de recipientes con materiales peligrosos, etc.) pueden despertar la preocupación de los vecinos más cercanos. La evaluación del impacto debería reflejar mayor importancia si el proyecto se sitúa en un área densamente poblada, cerca de servicios comunitarios básicos (bomberos, hospitales, aeropuertos, plantas generadoras de electricidad, etc.).

En la cuantificación de los principios de sostenibilidad para proyectos de puentes realizada por Spencer *et al.* (2012) se incluye la sostenibilidad social, que solamente consta de dos criterios: la estética del puente terminado y los retrasos de los usuarios debido a la afección al transporte público causada por la ejecución de la obra.

En Valdes-Vasquez y Klotz (2013) se analiza conceptualmente la sostenibilidad social durante la planificación y diseño de los proyectos de construcción siendo uno de los aspectos la minimización de las molestias causadas por los procesos constructivos. El desarrollo de una métrica de la sostenibilidad social se deja como futuras líneas de investigación.

En resumen, desde las primeras publicaciones en que se comenzaba a nombrar la sostenibilidad social (Yamanaka, 1983), hasta las últimas publicaciones encontradas (Valdes-Vasquez y Klotz, 2013) se ha avanzado poco en el estudio del impacto social de las obras y menos aún en su cuantificación.

7.2.2. Legislación y manuales técnicos municipales

Algunas ciudades no solamente reconocen la importancia del impacto social sino que realizan una serie de medidas para minimizarlo así como de comunicación y transparencia. De esta forma, el ciudadano está en todo momento informado y puede tomar las mejores decisiones respecto a sus actividades que pueden verse afectadas por la obra. Ejemplos de ello son las obras del metro de Ámsterdam (van Wijck, 2012) y del metro de Toronto (<http://www.ttc.ca/Spadina/index.jsp>).

En el Decreto de la Alcaldía, Manual básico para la elaboración de la Memoria Ambiental (Ajuntament de Barcelona, 2009b) se ordena la obligatoriedad de la realización de una Memoria Ambiental en fase de proyecto y de un Plan de Ambientalización en fase de ejecución a todos los proyectos de obras del Ayuntamiento de Barcelona, organismos autónomos, entidades públicas empresariales locales y otras entidades vinculadas dependientes del Ayuntamiento de Barcelona, siempre que el presupuesto estimado para la obra sea igual o superior a 450.000€ y no estén sujetos a la Evaluación de Impacto Ambiental según la legislación vigente. En el decreto se comentan algunos aspectos sociales a tratar en la Memoria Ambiental como la alteración del bienestar de los vecinos, peatones (evaluación de barreras arquitectónicas, evaluación del tráfico y accesibilidad de peatones y vehículos), la actividad económica y de las empresas, la existencia de patrimonio cultural en la zona, etc.

Además, en el Manual de qualitat de les obres (Ajuntament de Barcelona, 1999), actualmente vigente, y en el borrador del Manual de qualitat de les obres a la ciutat de Barcelona (Ajuntament de Barcelona, 2013), que se aprobará en breve, se indican criterios a seguir en la ejecución y supervisión de las obras que se realizan en el espacio público de la ciudad de Barcelona con el objetivo de mejorar la calidad de las obras y su convivencia con la vida cotidiana en la ciudad.

7.3. NUEVA METODOLOGÍA

7.3.1. Criterios

La obra afecta a las distintas actividades que se desarrollan en el entorno de la obra y a las personas que las realizan:

- Al sector residencial: las personas que viven en la zona de la obra.
- Al sector productivo, incluyendo primario, secundario y terciario. La obra puede impedir total o parcialmente la ejecución de algunos trabajos con

requerimientos especiales, por ejemplo, trabajos de precisión o en los que no pueda entrar polvo. La obra también afecta especialmente a los negocios de servicio al público, en los que se puede ver afectado el acceso de los clientes, de los cuales depende el negocio.

- Al sector transportes: las personas que se tienen que desplazar por la zona.

En base a numerosas entrevistas a expertos en la afectación de las obras a la ciudad, a legislación española, autonómica y municipal, y a las escasas publicaciones científicas y técnicas existentes como el Manual de qualitat de les obres (Ajuntament de Barcelona, 1999) y el borrador del Manual de qualitat de les obres a la ciutat de Barcelona (Ajuntament de Barcelona, 2013), se han definido los criterios y subcriterios del impacto social de las obras (figura 7.1) de la presente metodología. Los elementos dentro de cada subcriterio se listan siguiendo el orden alfabético, a excepción de los centros de alta sensibilidad que se presentan ordenados por centros de tipo similar.

Hay que diferenciar el procedimiento constructivo según se esté en ambiente urbano o rural. Algunos factores que en un ambiente rural son casi inexistentes: peatones que circulan por la zona, comercios, servicios afectados, etc. en un ambiente urbano pueden ser determinantes a la hora de decidir el procedimiento constructivo. Los factores sociales pueden llegar a invalidar un procedimiento constructivo en un entorno urbano. Actualmente, se crean comisiones y asociaciones de vecinos para hacer los procesos más participativos en estos entornos.

En la metodología se ha tratado de identificar y agrupar el máximo número de impactos sociales, aún así podría ser que, al aplicar la metodología a casos reales, surgiera algún impacto no recogido. La metodología puede adaptarse e incluir alguna situación que haya podido quedar fuera.

Aunque se planteó la inclusión de los siguientes indicadores, se han descartado en la metodología final por los siguientes motivos:

- Coordinación de actuaciones: en el caso que haya que coordinar la obra estudiada con otras obras que se realicen simultáneamente en el mismo emplazamiento se supone que todas las alternativas deberían respetar lo que estipule el ayuntamiento o Administración competente. Como futuras líneas de investigación se podría evaluar la capacidad de coordinación de las distintas alternativas pudiéndose valorar la adecuación mediante una escala numérica o una escala cualitativa.
- Impacto visual del procedimiento constructivo: el mayor impacto visual de la obra se produce debido a la obra terminada y éste es el mismo para todas las alternativas. Por lo tanto, las alternativas únicamente se diferencian en el impacto visual del procedimiento constructivo, que se considera irrelevante y no se incluye en la metodología.

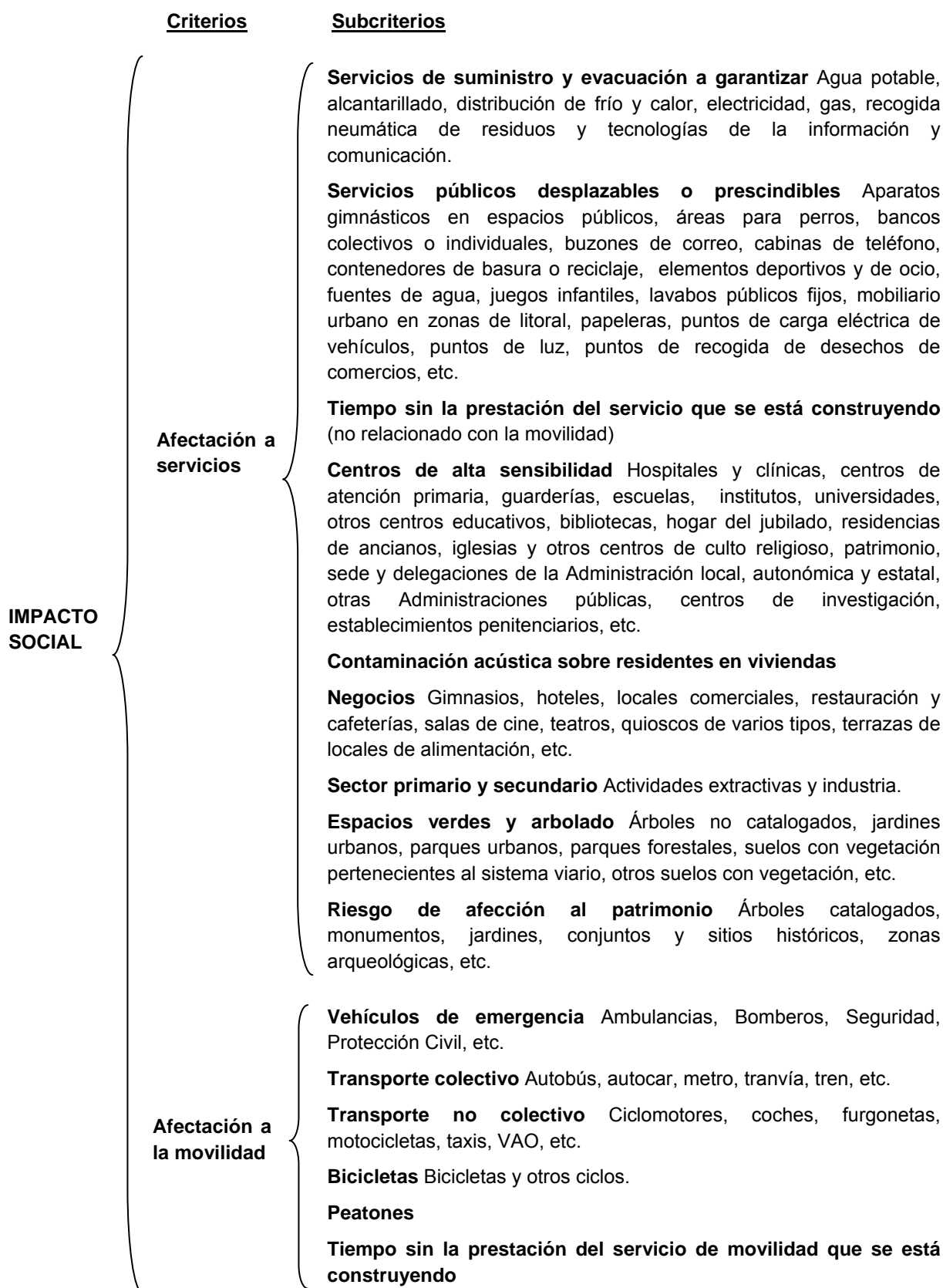


Figura 7.1. Criterios y subcriterios de impacto social definidos en la nueva metodología.

7.3.2. Índice de Impacto Social (IIS)

Utilizando la metodología justificada en los Capítulos 3 y 4, se define el Índice de Impacto Social (IIS_i) de la alternativa i , que es una medida del impacto social causado por la ejecución de una obra y depende de la afeción a los servicios y a la movilidad. El IIS_i de una obra es la suma ponderada del impacto social de los distintos subcriterios de impacto social ($Imp. social_{ij}$), como se puede ver en la ecuación 7.1. El impacto social de un subcriterio (ecuación 7.2 o 7.3) se obtiene de aplicar la ecuación 4.3 o 4.4 a los indicadores de impacto social (I_{ij}).

$$IIS_i = \sum_j w_j \cdot Imp. social_{ij} \quad (7.1)$$

$$Imp. social_{ij} = \frac{I_{ij}}{\max\{I_{ij}\}_{j=ct.}} \quad (7.2)$$

$$Imp. social_{ij} = \frac{I_{ij}}{I_{ref}} \quad (7.3)$$

Siendo:

i la alternativa que se está valorando

j los subcriterios de impacto social

w_j el peso o importancia relativa asignado al subcriterio de impacto social j

La ecuación 7.2 se utiliza cuando se toma como referencia la alternativa más desfavorable en cada subcriterio, es decir, la que tiene la máxima respuesta en el indicador y la ecuación 7.3 se utiliza cuando se toma como referencia la misma alternativa para el cálculo del impacto en todas las categorías y subcriterios.

Se pueden utilizar los pesos de las tablas 4.1, 4.2 y 4.3 o se pueden acabar de ajustar de acuerdo a las preferencias del decisor y al entorno de la obra.

7.3.3. Indicadores

Según un experto entrevistado existe una analogía entre el impacto social y las estructuras. El valor del impacto social, o tensión si se habla de estructuras, se obtiene de la combinación de variables provenientes de dos fuentes:

- El elemento que produce el impacto: la obra, en el caso de impacto social, o las leyes de esfuerzos, en el caso de las estructuras.
- El elemento que resiste el impacto: la sensibilidad de las personas y actividades del entorno, en el caso de impacto social, y la resistencia de la sección (materiales, características mecánicas, etc.), en el caso de las estructuras.

Los indicadores de impacto social deben incluir variables de las dos fuentes anteriores.

Teniendo en cuenta lo anterior y analizando el impacto social de los subcriterios mostrados en la figura 7.1, se llega a la conclusión de que el impacto social de la mayoría de subcriterios depende de los siguientes factores:

- Del tiempo que dura la afección: a mayor tiempo de afección, mayor impacto.
- Del número de personas afectadas por el impacto: a mayor número de personas afectadas, mayor impacto.
- Del grado de afección: a mayor grado de afección, mayor impacto.
- De otros factores particulares de cada subcriterio.

Por ello, se considera el siguiente esquema de partida para todos los indicadores de impacto social de la metodología (ecuación 7.4):

$$I = \sum_i \text{tiempo de afección}_i \cdot n^\circ \text{ de personas afectadas}_i \cdot \text{grado de afección}_i \quad (7.4)$$

Siendo:

i los elementos que forman parte de un mismo subcriterio

El grado de afección se define de forma particular para cada indicador, dependiendo del impacto social que se esté midiendo: importancia del servicio afectado, incremento en la distancia de un trayecto, incremento en el coste, etc.

En la tabla 7.1 se listan, para cada subcriterio de la nueva metodología, los elementos que pueden resultar afectados, se muestra el indicador o indicadores definidos y sus unidades de medida. El guión significa que el parámetro definido es adimensional. Los indicadores son mayoritariamente cuantitativos, es decir, que se pueden medir, y directos, ya que miden la consecuencia inmediata de la acción.

En alguna de las fórmulas que definen los indicadores se muestra un dato entre paréntesis, lo que significa que es posible que no se conozca ese dato. En ese caso, el indicador queda definido sin el dato entre paréntesis. A la derecha de la fórmula se muestran las unidades de medida del indicador. Las unidades entre paréntesis corresponden al dato entre paréntesis. Si el indicador se define sin el dato entre paréntesis, sus correspondientes unidades también serán sin la unidad del dato entre paréntesis. En el momento de realizar la comparación entre las alternativas estudiadas hay que tener en cuenta que los indicadores de las distintas alternativas correspondientes al mismo subcriterio estén calculados de la misma forma y, por tanto, tengan las mismas unidades.

Como se ha mencionado anteriormente, en el Anexo C de impacto social se comenta cada criterio y subcriterio y se explica cada indicador con más detalle haciendo referencia a legislación española, autonómica y local relevante y a algún manual de obras en ciudad.

En la definición de los indicadores para el cálculo del impacto social se han definido unos coeficientes que permiten diferenciar entre distintos grados de impacto. Los coeficientes se han obtenido a partir de las entrevistas a expertos y del análisis de distintos casos o situaciones. Los valores adoptados de los coeficientes no reflejan un valor exacto e inamovible, sino que podrían ser distintos. Estos valores sí que reflejan un ranking u ordenación de los impactos, es decir, a mayor impacto, mayor coeficiente. Los valores permiten calcular de forma estandarizada los indicadores de impacto social de todas las alternativas constructivas y compararlos entre sí, de forma que se puede obtener una ordenación de las alternativas según su impacto social.

Para algunos subcriterios se han definido dos indicadores que miden diferentes aspectos del subcriterio. En estos casos, el impacto del subcriterio se calcula como media ponderada del impacto de los dos indicadores. La ponderación se puede realizar utilizando los pesos de la tabla 4.7, que se pueden acabar de ajustar si se considera necesario, a partir de las consideraciones explicadas en el Anexo C de impacto social.

Tabla 7.1. Definición de los indicadores de impacto social de la nueva metodología y sus unidades de medida.

Indicador
Se definen los indicadores $I_{i,j,k}$ para $i = 1 \div 2$, $j = 1 \div 9$ y $k = 1 \div 2$ donde i es el criterio, j es el subcriterio y k el indicador, en caso de que haya más de un indicador para el mismo subcriterio.
1. AFECTACIÓN A SERVICIOS
1.1. Servicios de suministro y evacuación a garantizar
Agua potable Alcantarillado Distribución de frío y calor Electricidad Gas Recogida neumática de residuos Tecnologías de la información y comunicación (TIC)
$I_{1.1.1} = \sum_i \sum_j t_{ij} \cdot (n_i) \cdot Cimp_i, \text{ en } h \cdot (n^\circ \text{ personas})$ <p>$I_{1.1.1}$ = Indicador 1 del subcriterio 1.1. Servicios de suministro y evacuación a garantizar, cortes previstos.</p> <p>i = Servicio de suministro y evacuación a garantizar que tiene un corte previsto.</p> <p>j = Fase de obra que tiene una afección al servicio i.</p> <p>t_{ij} = Tiempo de corte previsto del servicio i durante la fase de obra j (h).</p> <p>n_i = Número de personas afectadas por el corte del servicio i (núm. personas).</p> <p>$Cimp_i$ = Coeficiente que refleja la importancia que el servicio i tiene para la sociedad y depende de la frecuencia de uso y de la magnitud de los inconvenientes causados. Se utilizan los valores de la tabla C.1 (-).</p>
$I_{1.1.2} = \sum_i \sum_j tfase_{ij} \cdot t_i \cdot (n_i) \cdot Cimp_i, \text{ en } h^2 \cdot (n^\circ \text{ personas})$ <p>$I_{1.1.2}$ = Indicador 2 del subcriterio 1.1. Servicios de suministro y evacuación a garantizar, riesgo de cortes imprevistos.</p> <p>i = Servicio de suministro y evacuación a garantizar que puede sufrir un corte imprevisto debido a la realización de trabajos cercanos.</p> <p>j = Fase de obra que puede tener una afección al servicio i.</p> <p>$tfase_{ij}$ = Tiempo que dura una actividad en la fase de obra j con riesgo de afectar al servicio i (trabajos de excavación, demolición, etc. realizados a una distancia igual o inferior a 2 metros del servicio, incluyendo los trabajos de desvío de servicios) (h).</p> <p>t_i = Tiempo que se tardaría en restaurar el servicio j en caso de resultar afectado. Se pueden tomar los valores orientativos de la tabla C.2 (h).</p>

n_i = Número de personas que se verían afectadas en caso de corte del servicio i (núm. personas).

$Cimp_i$ = Coeficiente que refleja la importancia que el servicio i tiene para la sociedad y depende de la frecuencia de uso y de la magnitud de los inconvenientes causados. Se utilizan los valores de la tabla C.1 (-).

1.2. Servicios públicos desplazables o prescindibles

Aparatos gimnásticos en espacios públicos
 Áreas para perros
 Bancos colectivos o individuales
 Buzones de correo
 Cabinas de teléfono
 Contenedores de basura o reciclaje
 Elementos deportivos y de ocio: canastas, mesas de ping pong, petancas, mesas y bancos de picnic, etc.
 Fuentes de agua
 Juegos infantiles
 Lavabos públicos fijos
 Mobiliario urbano en zonas de litoral
 Papeleras
 Puntos de carga eléctrica de vehículos
 Puntos de luz
 Puntos de recogida de desechos de comercios
 Otros

Se considera un elemento funcional a la unidad más pequeña de los servicios desplazables que ofrece un servicio por sí sola, por ejemplo: un aparato gimnástico, un contenedor, una mesa de picnic con sus dos bancos, un juego infantil, un punto con lavabos, etc. Si estos elementos están situados en un espacio verde, se cuentan, por un lado, los metros cuadrados de espacio verde afectado en el subcriterio 1.6 y el número de elementos afectados en el presente indicador.

$$I_{1.2} = \sum_i \sum_j t_{ij} \cdot n_{ij} \cdot Cimp_i \cdot Cafec_{ij}, \text{ en días} \cdot n^\circ \text{ elementos}$$

$I_{1.2}$ = Indicador del subcriterio 1.2. Servicios públicos desplazables o prescindibles.

i = Elemento funcional que se desplaza o se anula debido a la obra.

j = Fase de obra que puede tener una afección al elemento funcional i .

t_{ij} = Tiempo de afección al elemento funcional i durante la fase de obra j (días).

n_{ij} = Número de elementos tipo i afectados en la fase de obra j .

$Cimp_i$ = Coeficiente que refleja la importancia del elemento funcional i obtenida de la tabla C.3 (-).

$Cafec_{ij}$ = Coeficiente de afección según si el elemento funcional i se desplaza o se anula durante la fase de obra j . Se utilizan los valores de la tabla C.4 (-).

1.3. Tiempo sin la prestación del servicio que se está construyendo (no relacionado con la movilidad)

$$I_{1.3} = t, \text{ en días}$$

$I_{1.3}$ = Indicador del criterio 1.3. Tiempo sin la prestación del servicio que se está construyendo (no relacionado con la movilidad).

t = Tiempo desde el inicio de la obra hasta que ésta puede empezar a utilizarse

(días).

En el presente subcriterio se consideran únicamente las obras que una vez terminadas prestan un servicio no relacionado con la movilidad de las personas o mercancías. El tiempo para las obras de movilidad se considera en el subcriterio 2.6.

Para la definición del presente indicador se ha supuesto que todas las alternativas comparadas construyen una obra que dará servicio al mismo número de personas. De no ser así, el indicador iría multiplicado por el número de personas a las que dará servicio la obra terminada.

1.4. Centros de alta sensibilidad

Hospitales y clínicas
Centros de atención primaria
Guarderías
Escuelas
Institutos
Universidades
Otros centros educativos
Bibliotecas
Hogar del jubilado
Residencias de ancianos
Iglesias y otros centros de culto religioso
Patrimonio visitable
Sede y delegaciones de la Administración local, autonómica y estatal
Otras Administraciones públicas
Centros de investigación
Establecimientos penitenciarios
Otros

El patrimonio se incluye en el presente indicador únicamente a efectos de la afección a las personas que lo visitan. La posible afección física sobre el patrimonio se recoge en el subcriterio 1.9 Riesgo de afección patrimonio.

$$I_{1.4} = \sum_i \sum_j \sum_k t_{ijk} \cdot n_i \cdot C_{infl_{ijk}} \cdot C_{afec_{ijk}}, \text{ en días} \cdot n^{\circ} \text{ personas}$$

$I_{1.4}$ = Indicador del subcriterio 1.4. Centros de alta sensibilidad.

i = Centro de alta sensibilidad afectado por la obra. Únicamente se consideran afectados por la obra los centros situados total o parcialmente en la zona de influencia de la obra (zona de ocupación de la obra más 50 m alrededor de su perímetro exterior).

j = Fase de obra con afección diferenciada al centro de alta sensibilidad i .

k = Actividad del centro de alta sensibilidad i afectado por la fase de obra j .

t_{ijk} = Tiempo de afección a la actividad k del centro i durante la fase de obra j . Si la obra consta de fases con distintas ocupaciones, se contabiliza únicamente el tiempo de las fases en que el centro i está en la zona de influencia de la obra (días).

n_i = Ocupación del centro i afectado por la obra. A falta de datos más precisos, se puede obtener a partir de la densidad de ocupación según el uso de la tabla C.5 y de la superficie útil. La superficie del centro puede obtenerse del catastro (www.sedecatastro.gob.es) a partir de su dirección (núm. de personas).

$C_{infl_{ijk}}$ = Coeficiente de influencia. Tanto por uno de las personas contabilizadas

en la ocupación del centro de alta sensibilidad i que realizan la actividad k y que sufren las molestias de la obra en la fase j (-).

- | | | |
|---|--|--|
| { | Si la obra permite continuar la actividad | $\Rightarrow C_{infl_{kji}}$ = Parte proporcional de la superficie del centro i que queda dentro de la zona de influencia durante la fase de obra j . |
| | Si la obra no permite continuar la actividad k . | $\Rightarrow C_{infl_{kji}}$ = Parte proporcional de las personas de la ocupación n_i que no pueden realizar la actividad k debido a la fase de obra j . |

Las personas que no pueden continuar con su actividad quedan contabilizadas dos veces porque, además de no poder realizar la actividad, sufren las molestias por ruido de las obras.

$Cafec_{ijk}$ = Coeficiente de afección a la actividad k del centro i durante la fase de obra j según si la obra permite continuar o no la actividad k . Se utilizan los valores de la tabla C.6 (-).

En el Anejo C se incluye un ejemplo de afección a un centro de alta sensibilidad y el cálculo de la respuesta del presente indicador.

1.5. Contaminación acústica sobre residentes en viviendas

Para el presente subcriterio se han definido dos indicadores: un primer indicador simplificado y un segundo indicador detallado a aplicar en caso de que exista un reducido número de viviendas y/o interese un indicador más preciso que considere un mayor número de datos.

$$I_{1.5} = n \sum_j \sum_k \sum_l t_{kl} \cdot \alpha_l \cdot L_{WAK}, \text{ en } n^\circ \text{ personas} \cdot \text{dB} \cdot \text{h}$$

$I_{1.5}$ = Indicador simplificado del subcriterio 1.5. Contaminación acústica sobre residentes en viviendas.

k = Maquinaria de uso al aire libre definida en el Anexo I del Real Decreto 212/2002 y que se utiliza en la obra.

l = Periodo del día (día de 7:00 a 23:00 y noche de 23:00 a 7:00).

n = número promedio de residentes afectados por la obra. Únicamente se consideran afectados por la obra los residentes en la zona de influencia de la obra (zona de ocupación de la obra más 50 m alrededor de su perímetro exterior). Puede calcularse como la densidad de población multiplicada por la superficie promedio de la zona de influencia de la obra en las distintas fases de obra (ponderando la superficie por la duración de cada fase) (m^2).

t_{kl} = Tiempo de funcionamiento de la máquina k durante el periodo de día l (h).

α_l = Coeficiente que depende del periodo del día en el que funcione la maquinaria k (-).

$$\alpha_l = \begin{cases} 1 & \text{para el periodo de día (de 7:00 a 23:00)} \\ 1,2 & \text{para el periodo de noche (de 23:00 a 7:00)} \end{cases}$$

L_{WAK} = Nivel de potencia acústica. En caso de no conocerse los niveles de potencia acústica se utilizan, en su lugar, los niveles de ruido a 15 metros mostrados en la tabla B.18 (dB).

En caso de que la obra se realice en zona rural sin ninguna vivienda no se aplica el presente subcriterio.

$$I_{1.5} = \sum_i \sum_j \sum_k \sum_l t_{jkl} \cdot n_i \cdot C_{infl_{ij}} \cdot \alpha_l \cdot L_{WAK}, \text{ en n}^\circ \text{ personas} \cdot \text{dB} \cdot \text{h}$$

$I_{1.5}$ = Indicador detallado del subcriterio 1.5. Contaminación acústica sobre residentes en viviendas.

i = Vivienda con residentes afectados por la obra. Únicamente se consideran afectadas por la obra las viviendas situadas total o parcialmente en la zona de influencia de la obra (zona de ocupación de la obra más 50 m alrededor de su perímetro exterior).

j = Fase de obra con afección diferenciada a la vivienda i .

k = Maquinaria de uso al aire libre definida en el Anexo I del Real Decreto 212/2002 y que se utiliza en la obra.

l = Periodo del día (día de 7:00 a 23:00 y noche de 23:00 a 7:00).

t_{jkl} = Tiempo de funcionamiento de la máquina k durante la fase de obra j y el periodo de día l (h).

n_i = Ocupación de la vivienda i afectada por la obra. A falta de datos más precisos, se puede obtener a partir del valor de 20 m²/persona y la superficie útil. La superficie de la vivienda puede obtenerse del catastro (www.sedecatastro.gob.es) a partir de su dirección (núm. de personas).

$C_{infl_{ij}}$ = Coeficiente de influencia. Tanto por uno de las personas contabilizadas en la ocupación de la vivienda i que sufren las molestias de la obra en la fase j . Es la parte proporcional de la superficie de la vivienda que está en la zona de influencia de la obra (-).

α_l = Coeficiente que depende del periodo del día en el que funcione la maquinaria k (-).

$$\alpha_l = \begin{cases} 1 & \text{para el periodo de día (de 7:00 a 23:00)} \\ 1,2 & \text{para el periodo de noche (de 23:00 a 7:00)} \end{cases}$$

L_{WAK} = Nivel de potencia acústica. En caso de no conocerse los niveles de potencia acústica se utilizan, en su lugar, los niveles de ruido a 15 metros mostrados en la tabla B.18 (dB).

En caso de que la obra se realice en zona rural sin ninguna vivienda no se aplica el presente subcriterio.

1.6. Negocios

$$I_{1.6} = \sum_i \sum_j t_{ij} \cdot C_{ij}, \text{ en días}$$

$I_{1.6}$ = Indicador simplificado del subcriterio 1.6. Negocios.

i = Negocio afectado por la obra. Únicamente se consideran afectados por la obra los negocios situados total o parcialmente en la zona de influencia de la obra (zona de ocupación de la obra más 50 m alrededor de su perímetro exterior).

j = Fase de la obra que tiene una afección diferenciada al negocio i .

t_{ij} = Tiempo de molestias al negocio i durante la fase de obra j . Si la obra consta de fases con distintas ocupaciones, se contabiliza únicamente el tiempo de las fases en las que el negocio i está en la zona de influencia de la obra (días).

C_{ij} = Coeficiente según tipo de negocio i y afección durante la fase de obra j . Se utilizan los valores de la tabla C.11 (-).

Para el presente subcriterio, además del anterior indicador, se han definido dos indicadores más detallados a aplicar en caso de que exista un reducido número de negocios y/o interese un indicador más preciso que considere un mayor número de datos. Los indicadores detallados consideran dos tipos de negocio, los negocios tipo 1 y los negocios tipo 2.

Negocios tipo 1:

- Gimnasios
- Hoteles
- Locales comerciales
- Restauración y cafeterías (sin incluir terrazas)
- Salas de cine
- Teatros
- Otros

$$I_{1.6.1} = \sum_i n_i \sum_j \left(tmol_{ij} \cdot Cinfl_{ij} + \frac{Ccapt_i}{n^{\circ} \text{ total entradas}_i} \sum_k tafec_{ijk} \cdot Cafec_{ijk} \right),$$

en días · nº personas

$I_{1.6.1}$ = Indicador detallado 1 del subcriterio 1.6. Negocios, afección a negocios tipo 1.

i = Negocio afectado por la obra. Únicamente se consideran afectados por la obra los negocios situados total o parcialmente en la zona de influencia de la obra (zona de ocupación de la obra más 50 m alrededor de su perímetro exterior).

j = Fase de la obra que tiene una afección diferenciada al negocio i .

k = Puerta del negocio cuya entrada se ve dificultada o impedida durante un tiempo por la obra.

n_i = Ocupación del negocio i afectado por la obra. A falta de datos más precisos, se puede obtener a partir de la densidad de ocupación según el uso de la tabla C.5 y de la superficie útil. La superficie del negocio puede obtenerse del catastro (www.sedecatastro.gob.es) a partir de su dirección (núm. de personas).

$tmol_{ij}$ = Tiempo de molestias al negocio i durante la fase de obra j . Si la obra consta de fases con distintas ocupaciones, se contabiliza únicamente el tiempo de las fases en las que el negocio i está en la zona de influencia de la obra (días).

$Cinfl_{ij}$ = Coeficiente de influencia. Tanto por uno de las personas contabilizadas en la ocupación del negocio i que sufren las molestias de la obra en la fase j . Es la parte proporcional de la superficie del negocio que está en la zona de influencia de la obra (-).

$Ccapt_i$ = Coeficiente de captación de clientes. Refleja el grado de impacto que las obras tienen en la captación de los clientes del negocio i según cual sea el ámbito en el que el negocio atrae a sus clientes. Se utilizan los valores de la tabla C.8 (-).

$n^{\circ} \text{ total entradas}_i$ = Número total de puertas por las que los clientes pueden acceder al negocio i .

$tafec_{ijk}$ = Tiempo durante el que se dificulta o impide la entrada por la puerta k del negocio i durante la fase de obra j . Incluye los días en los que el negocio i está abierto y se afecta a la entrada k independientemente de si se trabaja o no en la obra. Por ejemplo, se incluiría un sábado en el que no se trabaja en

<p>la obra pero las vallas dificultan el acceso a una tienda (días).</p> <p>$Cafec_{ijk}$ = Coeficiente de afección a la entrada k del negocio i durante la fase de obra j según se dificulte o impida la entrada a los clientes. Se consideran dificultadas todas las entradas que están dentro de la zona de influencia de la obra (zona de ocupación de la obra más 50 m alrededor de su perímetro exterior). Se utilizan los valores de la tabla C.9 (-).</p> <p>En el Anexo C se incluyen varios ejemplos de afección a negocios y el correspondiente cálculo de la respuesta del presente indicador.</p>
<p>Negocios tipo 2:</p> <ul style="list-style-type: none"> Quioscos de bebidas y alimentación Quioscos de flores Quioscos de lotería de la ONCE Quioscos de periódicos Terrazas de locales de alimentación
$I_{1.6.2} = \sum_i \sum_j t_{ij} \cdot Cafec_{ij}, \text{ en días}$ <p>$I_{1.6.2}$ = Indicador detallado 2 del subcriterio 1.6. Negocios, afección a negocios tipo 2.</p> <p>i = Quiosco o terraza de local de alimentación afectado por la obra (dificultad de acceso, desplazamiento o anulación).</p> <p>j = Fase de la obra que tiene una afección diferenciada al quiosco o terraza i.</p> <p>t_{ij} = Tiempo de afección al negocio i en la fase j incluyendo los días en que no se trabaja en la obra pero sí en el quiosco o terraza que está afectado (días).</p> <p>$Cafec_{ij}$ = Coeficiente de afección al quiosco o terraza i durante la fase j según si se dificulta el acceso, se desplaza o se anula temporalmente. Se considera que se dificulta el acceso si el negocio está situado a una distancia ≤ 50m del perímetro exterior de la obra. Se utilizan los valores de la tabla C.10 (-).</p>
<p>1.7. Sector primario y secundario</p>
<ul style="list-style-type: none"> Actividades extractivas Industria
$I_{1.7} = \sum_i \sum_j t_i \cdot (Fact_i) \cdot Cafec_{ij}, \text{ en días} \cdot (\text{€}) \text{ o días} \cdot (\text{m}^2)$ <p>$I_{1.7}$ = Indicador del subcriterio 1.7. Sector primario y secundario.</p> <p>i = Industria o actividad extractiva cuyo acceso se ve dificultado por la obra.</p> <p>t_i = Tiempo que se dificulta el acceso a la industria o actividad extractiva i (días).</p> <p>$Fact_i$ = Facturación de la empresa i (€). En caso de no conocer este dato y de que la afección sea a una industria, se puede utilizar la superficie de la nave industrial en su lugar (m^2).</p> <p>$Cafec_{ij}$ = Coeficiente de afección a la industria o actividad extractiva i durante la fase de obra j según si la obra dificulta los accesos o los corta. Se utilizan los valores de la tabla C.12 (-).</p>
<p>1.8. Espacios verdes y arbolado</p>
<ul style="list-style-type: none"> Árboles catalogados y no catalogados Jardines urbanos Parques urbanos Parques forestales

<p>Suelos con vegetación pertenecientes al sistema viario Otros suelos con vegetación, de titularidad pública o privada, no ocupados por edificación</p> <p>Si el espacio verde o árbol está dentro de un núcleo de población y no goza de ninguna protección, su afección se incluye en el presente subcriterio. Si el espacio natural, no es adyacente a ningún núcleo de población, su afección se incluye dentro de impacto ambiental, espacio natural protegido o no protegido según el caso. Si el espacio verde o el árbol está dentro de un núcleo urbano y, además, tiene un valor patrimonial (por ejemplo, el Parque Güell en Barcelona) o está catalogado, hay que valorar la posibilidad de incluirlo también en el indicador 1.9. Riesgo de afección al patrimonio. Si el espacio verde es adyacente a un núcleo urbano, se valora si la afectación es más un impacto social (la gente va a pasear, relajarse, etc.), con lo que se contabiliza en el presente indicador, o si es más una afección medioambiental (no está muy frecuentado por personas), con lo que la afección se contabiliza en impacto ambiental, espacios naturales protegidos o no protegidos, según el caso.</p>
$I_{1.8} = \sum_i \sum_j t_{ij} \cdot S_{ij}, \text{ en días} \cdot \text{m}^2$ <p>$I_{1.8}$ = Indicador del subcriterio 1.8. Espacios verdes. i = Espacio verde afectado por la obra o árbol cortado. j = Fase de la obra que tiene una afección diferenciada al espacio verde i. t_{ij} = Tiempo de afección al espacio verde i durante la fase j o tiempo desde que se corta un árbol hasta que se planta otro en su lugar. En caso de no plantar otro, tiempo desde que se corta hasta que termina la obra (días). S_{ij} = Superficie del espacio verde i que deja de ser accesible para los ciudadanos debido a la obra durante la fase j o superficie de la copa del árbol cortado. En caso de no conocer la superficie de la copa se utiliza el valor de 25 m² (m²).</p>
<p>1.9. Riesgo de afección al patrimonio</p>
<p>Monumentos Jardines y árboles catalogados Conjuntos y sitios históricos Zonas arqueológicas</p>
$I_{1.9} = \sum_i \sum_j t_{ij} \cdot (p/d)_{ij} \cdot C_{imp_i}, \text{ en días}$ <p>$I_{1.9}$ = Indicador del subcriterio 1.9. Riesgo de afección al patrimonio. i = Patrimonio cercano al ámbito de la obra con riesgo de sufrir una afección no prevista. j = Fase de obra con riesgo de afección al patrimonio (excavación a una distancia horizontal inferior al doble de su profundidad respecto al elemento patrimonial, figura C.6). t_{ij} = Tiempo que dura la fase de obra j con riesgo de afección al patrimonio i (días). $(p/d)_{ij}$ = Relación entre la profundidad de excavación y la menor distancia entre la excavación y elemento patrimonial i con riesgo de afección (-). C_{imp_i} = Coeficiente que refleja la importancia o interés del patrimonio i. Se utilizan los valores de la tabla C.13 (-).</p>

2. AFECTACIÓN A LA MOVILIDAD
2.1. Vehículos de emergencia
Ambulancias Bomberos Seguridad Protección Civil Otros
$I_{2.1} = \sum_i \sum_j t_{ij} \cdot (n_i) \cdot Cafec_{ij}, \text{ en días} \cdot (\text{n}^\circ \text{ salidas necesarias}/365 \text{ días})$ <p>$I_{2.1}$ = Indicador del subcriterio 2.1. Vehículos de emergencia.</p> <p>i = Punto de entrada y salida de vehículos de emergencia afectado por la obra o zona sin accesibilidad o con accesibilidad reducida durante un tiempo debido a la ejecución de la obra.</p> <p>j = Fase de la obra que tiene una afección diferenciada al punto de entrada y salida de vehículos o a la zona i.</p> <p>t_{ji} = Tiempo de afección a la entrada o salida de vehículos de emergencia o a la zona sin accesibilidad o con accesibilidad reducida i durante la fase de obra j (días).</p> <p>n_i = Número promedio de salidas de vehículos de emergencia por unidad de tiempo del punto de entrada y salida i o número promedio de personas que necesitan un vehículo de emergencia en la zona i cuya accesibilidad se ve afectada. Este último dato se puede calcular como la superficie de la zona multiplicada por su densidad de población y por el número de salidas anuales de vehículos de emergencia por cada 100.000 habitantes. En Cataluña se puede tomar como referencia 12.354 salidas anuales de vehículos de emergencia por 100.000 habitantes. Si no se conoce este dato se puede eliminar del indicador. (núm. salidas necesarias/365 días).</p> <p>$Cafec_{ij}$ = Coeficiente de afección a la entrada o salida de vehículos o a la zona i durante la fase de obra j, según si la obra dificulta o impide el paso. Se utilizan los criterios y valores mostrados en la tabla C.15 (-).</p>
2.2. Transporte colectivo
Autobús Autocar Metro Tranvía Tren
$I_{2.2} = \sum_i \sum_j \frac{t_{ij} \cdot (n_i) \cdot \Delta d_{ij} \cdot dobra_{ij} \cdot \Delta \epsilon_{ij}}{\Delta Cap_{ij}},$ <p style="text-align: center;">en días · (nº personas/día) · km = nº personas · km</p> <p>$I_{2.2}$ = Indicador del subcriterio 2.2. Transporte colectivo.</p> <p>i = Parada, estación, carril o vía afectado por la obra.</p> <p>j = Fase de obra que tiene una afección diferenciada a la parada, estación, carril o vía i.</p> <p>t_{ij} = Tiempo de afección a la parada, estación, carril o vía i durante la fase de obra j (días).</p> <p>n_i = En caso de desvío de carriles o vías o desplazamiento de paradas o</p>

estaciones, número de personas que utilizan las paradas, estaciones, carriles o vías i al día. En caso de corte de carriles o vías, número de personas que utilizan los carriles o vías cortados más el número de personas que utilizan los carriles o vías que reciben el incremento de tráfico durante el corte. En caso de anulación de paradas o estaciones, número de personas que utilizan las paradas o estaciones anuladas más el número de personas que utilizan la parada o estación anterior y siguiente a las anuladas. Si no se conoce este dato ni para las paradas o estaciones, ni para los carriles o vías, se puede eliminar del indicador (núm. personas/día).

Δd_{ij} = Incremento de distancia relativo expresado como factor que multiplica la distancia sin obra (en tanto por uno) de la parada, estación, carril o vía i durante la fase de obra j (-).

$$\Delta d_{ij} = \begin{cases} \left(\frac{d_{\text{recorrido con obra}}}{d_{\text{recorrido sin obra}}} \right)_{ij} & \forall i = \text{carril o vía} \\ \left(\frac{d_{\text{máx. entre paradas o estaciones con obra}}}{d_{\text{máx. entre paradas o estaciones sin obra}}} \right)_{ij} & \forall i = \text{parada o estación} \end{cases}$$

- La distancia de recorrido se mide desde el punto que comienza el recorrido alternativo hasta el punto que termina.
- En caso de corte de una vía en un tramo con varias vías, $\Delta d_{ij} = 1$.

$d_{obra_{ij}}$ = Distancia de recorrido durante la fase de obra j , en caso de afección a carril o vía, medido desde el punto que comienza el recorrido alternativo hasta el punto que termina o distancia máxima entre paradas o estaciones durante la fase de obra j , en caso de afección a parada o estación (km).

$\Delta \epsilon_{ij}$ = Incremento de precio del recorrido alternativo equivalente a i expresado como factor que multiplica el precio original (en tanto por uno) durante la fase de obra j . Si no se produce incremento, el factor toma el valor de 1 (-).

ΔCap_{ij} = Incremento relativo de capacidad del carril, vía, parada o estación i y sus adyacentes durante la fase de obra j .

- En caso de desvío de carril o vía o desplazamiento de parada o estación $\Delta Cap_{ij} = 1$.
- En caso de corte de carril o vía o anulación de parada o estación:

$$\Delta Cap_{ij} = \begin{cases} \left(\frac{N^{\circ} \text{ vías con obra}}{N^{\circ} \text{ vías sin obra}} \right)_{ij} & \forall i = \text{carril o vía} \\ \left(\frac{N^{\circ} \text{ paradas con obra}}{N^{\circ} \text{ paradas sin obra}} \right)_{ij} & \forall i = \text{parada o estación} \end{cases}$$

$N^{\circ} \text{ vías con obra}$ = Número de vías o carriles por las que circula el tráfico de los carriles o vías i cortados durante la fase de obra j .

$N^{\circ} \text{ vías sin obra}$ = Número de vías o carriles por las que circula el tráfico de los carriles o vías i cortados durante la fase de obra j más el número de carriles o vías cortados.

$N^{\circ} \text{ paradas con obra}$ = Número de paradas o estaciones utilizadas por las personas que utilizaban las paradas o estaciones i afectadas durante la fase de obra j .

$N^{\circ} \text{ paradas sin obra}$ = Número de paradas o estaciones utilizadas por las personas que utilizaban las paradas o estaciones i afectadas durante la fase de obra j más el número de paradas o estaciones anuladas.

En la tabla C.16 se pueden ver los valores más comunes de incremento relativo de capacidad en caso de afección a paradas o estaciones.

En el Anexo C hay varios ejemplos de aplicación del presente indicador.

2.3. Transporte no colectivo

Ciclomotores
Coches
Furgonetas
Motocicletas
Taxi
VAO
Otros

$$I_{2.3.1} = \sum_i \sum_j \frac{t_{ij} \cdot (IMD_i) \cdot n_i \cdot \Delta d_{ij} \cdot dobra_{ij} \cdot \Delta \epsilon_{ij}}{\Delta Cap_{ij}},$$

en días·(nº veh./día)·pers./veh.·km = pers.·km

o días·(nº veh./día)·pers./veh.·€·km = pers.·€·km

$I_{2.3.1}$ = Indicador 1 del subcriterio 2.3. Transporte no colectivo, afección a carriles.

i = Carril o carriles afectados por la obra.

j = Fase de obra con afección diferenciada al carril j .

t_{ij} = Tiempo de afección al carril i durante la fase de obra j (días).

IMD_i = Intensidad media diaria de la vía i . Si no se conoce este dato se puede eliminar del indicador. (núm. vehículos/día).

n_i = Ocupación media por vehículo en el carril i . A falta de datos más precisos se pueden tomar los valores de la tabla C.17 (núm. personas/vehículo).

Δd_{ij} = Incremento de distancia de recorrido debido a la afección al carril i durante la fase de obra j expresado como factor que multiplica la distancia original (tanto por uno) (-).

$$\Delta d_{ij} = \left(\frac{d_{\text{recorrido con obra}}}{d_{\text{recorrido sin obra}}} \right)_{ij}$$

- La distancia de recorrido se mide desde el punto que comienza el recorrido alternativo hasta el punto que termina.
- En caso de corte de un carril en una calzada con varios carriles en el mismo sentido, $\Delta d_{ij} = 1$.

$dobra_{ij}$ = Distancia de recorrido en el tramo de carril i afectado durante la fase de obra j medido desde el punto que comienza el recorrido alternativo hasta el punto que termina (km).

$\Delta \epsilon_{ij}$ = Incremento de precio del recorrido alternativo al carril o vía i durante la fase de obra j expresado, en general, como factor que multiplica el precio original (tanto por uno). Si no se produce incremento, el factor toma el valor de 1 (-).

$$\Delta \epsilon_{ij} = \left(\frac{\epsilon_{\text{recorrido con obra}}}{\epsilon_{\text{recorrido sin obra}}} \right)_{ij}$$

Si $\exists ij$ de alguna alternativa con $\epsilon_{\text{recorrido sin obra } ij} = 0$ y $\epsilon_{\text{recorrido con obra } ij} \neq 0$, entonces:

$$\Delta\epsilon_{ij} = \begin{cases} \epsilon_{recorrido\ con\ obra\ ij} - \epsilon_{recorrido\ sin\ obra\ ij} \ (\epsilon) \\ \forall ij\ con\ \epsilon_{recorrido\ con\ obra\ ij} - \epsilon_{recorrido\ sin\ obra\ ij} \geq 1 \\ 1, \forall ij\ con\ \epsilon_{recorrido\ con\ obra\ ij} - \epsilon_{recorrido\ sin\ obra\ ij} < 1 \end{cases}$$

ΔCap_{ij} = Incremento de capacidad del carril i y sus adyacentes durante la fase de obra j . Se define como la capacidad en la fase de obra j dividida entre la capacidad en situación previa a la obra. En caso de desvío de carril, $\Delta Cap_{ij} = 1$.

$$\Delta Cap_{ij} = \left(\frac{N^{\circ}\ carriles\ sin\ cortar\ con\ obra}{N^{\circ}\ carriles\ totales\ sin\ obra} \right)_{ij}$$

$N^{\circ}\ carriles\ sin\ cortar\ con\ obra$ = Número de carriles operativos durante la fase de obra j por los que circula el tráfico de los carriles cortados i .

$N^{\circ}\ carriles\ totales\ sin\ obra$ = Número de carriles operativos sin obra (número de carriles cortados i durante la fase de obra j más número de carriles por los que circula el tráfico de los carriles cortados).

En el Anexo C hay varios ejemplos de aplicación del presente indicador.

$$I_{2.3.2} = \sum_i \sum_j \sum_k t_{ijk} \cdot n_{ijk} \cdot \Delta\epsilon_{ijk} \cdot C_{tipo_k} \cdot Cafec_{ijk}$$

en días·nº plazas o días·nº plazas·€/ud. tiempo

$I_{2.3.2}$ = Indicador 2 del subcriterio 2.3. Transporte no colectivo, afección a las plazas de estacionamiento.

i = Zona de estacionamiento afectada por la obra.

j = Fase de obra con afección diferenciada a la zona de estacionamiento i .

k = Tipo de plaza de estacionamiento.

t_{ijk} = Tiempo de afección a las plazas de estacionamiento tipo k de la zona de estacionamiento i durante la fase de obra j (días).

n_{ijk} = Número de plazas del tipo k de la zona de estacionamiento i afectadas durante la fase de obra j (núm. plazas).

$\Delta\epsilon_{ijk}$ = Incremento de precio de la plaza de estacionamiento tipo k de la zona i y la plaza tipo k de la zona de estacionamiento más cercana expresado, en general, como factor que multiplica el precio original (tanto por uno) durante la fase de obra j . Si no se produce incremento, el factor toma el valor de 1 (-).

$$\Delta\epsilon_{ijk} = \left(\frac{\epsilon_{plaza\ estacionamiento\ con\ obra}}{\epsilon_{plaza\ estacionamiento\ sin\ obra}} \right)_{ijk}$$

Si $\exists ijk$ de alguna alternativa con $\epsilon_{plaza\ sin\ obra\ ijk} = 0$ y $\epsilon_{plaza\ con\ obra\ ijk} \neq 0$, entonces:

$$\Delta\epsilon_{ijk} = \begin{cases} \epsilon_{plaza\ con\ obra\ ijk} - \epsilon_{plaza\ sin\ obra\ ijk} \ (\epsilon/ud.\ tiempo) \\ \forall i\ con\ \epsilon_{plaza\ con\ obra\ ijk} - \epsilon_{plaza\ sin\ obra\ ijk} \geq 1 \\ 1, \forall i\ con\ \epsilon_{plaza\ con\ obra\ ijk} - \epsilon_{plaza\ sin\ obra\ ijk} < 1 \end{cases}$$

C_{tipo_k} = Coeficiente según el tipo de plazas afectadas (convencional, taxis, autobuses, carga y descarga o reservadas a personas con movilidad reducida). Se utilizan los valores de la tabla C.18 (-).

$Cafec_{ijk}$ = Coeficiente de afección según si las plazas tipo k de la zona de estacionamiento i se trasladan a otro lugar o se anulan durante la fase de obra j . Se toman los valores de la tabla C.4 (-).

2.4. Bicicletas

Bicicletas
Resto de ciclos

$$I_{2.4.1} = \sum_i \sum_j t_{ij} \cdot (IMD_i) \cdot \Delta d_{ij} \cdot dobra_{ij} \cdot Cpel_{ij}$$

en días · (nº ciclos/día) · km = nº ciclos · km

$I_{2.4.1}$ = Indicador 1 del subcriterio 2.4. Bicicletas, afección a carriles bici.

i = Carril bici afectado por la obra.

j = Fase de obra con afección diferenciada al carril bici i .

t_{ij} = Tiempo de afección al carril bici i durante la fase de obra j (días).

IMD_i = Intensidad media diaria de ciclos en el carril bici i . Si no se conoce este dato se puede eliminar del indicador (núm. ciclos/día).

Δd_{ij} = Incremento de distancia de recorrido debido a la afección al carril bici i durante la fase de obra j expresado como factor que multiplica la distancia original (tanto por uno) (-).

$$\Delta d_{ij} = \left(\frac{d_{recorrido \text{ con obra}}}{d_{recorrido \text{ sin obra}}} \right)_{ij}$$

- La distancia de recorrido se mide desde el punto que comienza el recorrido alternativo hasta el punto que termina.
- En caso de corte de un carril bici en una calle con carriles convencionales sin cortar y sin recorrido alternativo por carril bici, $\Delta dist_{ij} = 1$.

$dobra_{ij}$ = Distancia de recorrido en el tramo del carril bici i afectado durante la fase de obra j medido desde el punto que comienza el recorrido alternativo hasta el punto que termina (km).

$Cpel_{ij}$ = Coeficiente de incremento de peligrosidad de carril i durante la fase de obra j obtenido de la tabla C.19 (-).

$$I_{2.4.2} = \sum_i \sum_j t_{ij} \cdot n_{ij} \cdot Cafec_{ij}, \text{ en días} \cdot \text{nº plazas} \cdot \text{m}$$

$I_{2.4.2}$ = Indicador 2 del subcriterio 2.4. Bicicletas, afección a plazas de estacionamiento.

i = Estacionamiento de bicicleta afectado por la obra.

j = Fase de obra con afección diferenciada al estacionamiento de bicicletas i .

t_{ij} = Tiempo de afección al estacionamiento i durante la fase de obra j (días).

n_{ij} = Número de plazas de estacionamiento de bicicletas del estacionamiento i afectadas durante la fase de obra j (núm. plazas).

d_{ij} = Distancia entre el estacionamiento afectado i durante la fase de obra j y el estacionamiento de bicicletas más cercano (m).

$Cafec_{ij}$ = Coeficiente de afección según si la plaza de estacionamiento i se trasladan a otro lugar o se anula durante la fase de obra j . Se utilizan los

valores de la tabla C.4 (-).

2.5. Peatones

$$I_{2.5} = \sum_i \sum_j \frac{t_{ij} \cdot Cdens_i \cdot a_i \cdot \Delta d_{ij} \cdot d_{ij}}{\Delta a_{ij}}, \text{ en días} \cdot \text{m}^2$$

$I_{2.5}$ = Indicador del subcriterio 2.5. Peatones.

i = Zona peatonal (zona donde los peatones tienen prioridad: aceras, pasos de peatones, calles residenciales con la señal S-28, etc.) inaccesible para los peatones debido a la ocupación de la obra.

j = Fase de obra con afección diferenciada a la zona peatonal i .

t_{ij} = Tiempo de afección a la zona peatonal i durante la fase de obra j (días).

$Cdens_i$ = Coeficiente que representa la densidad de peatones en la zona peatonal i . Se utilizan los valores de la tabla C.20 (-).

a_i = Ancho de la zona peatonal i previo a las obras (m).

Δd_{ij} = Incremento relativo de distancia de recorrido de los peatones debido a la afección a la zona peatonal i durante la fase de obra j expresado como un factor que multiplica la distancia original (tanto por uno) (-).

$$\Delta d_{ij} = \left(\frac{d_{\text{recorrido con obra}}}{d_{\text{recorrido sin obra}}} \right)_{ij}$$

d_{ij} = Distancia de recorrido en la zona peatonal i durante la afección de la obra en la fase j (m).

Δa_{ij} = Incremento relativo de ancho peatonal debido a la afección a la zona peatonal i durante la fase de obra j expresado como un factor que multiplica el ancho peatonal previo a la obra (tanto por uno) (-).

$$\Delta a_{ij} = \left(\frac{a_{\text{con obra}}}{a_{\text{sin obra}}} \right)_{ij}$$

Un indicador simplificado para cuantificar la afección a los peatones es el siguiente:

$$I_{2.5} = \sum_i \sum_j t_{ij} \cdot Cdens_i \cdot S_{ij}, \text{ en días} \cdot \text{m}^2$$

$I_{2.5}$ = Indicador simplificado del subcriterio 2.5. Peatones.

i = Zona peatonal (zona donde los peatones tienen prioridad: aceras, pasos de peatones, calles residenciales con la señal S-28, etc.) inaccesible para los peatones debido a la ocupación de la obra.

j = Fase de obra con afección diferenciada a la zona peatonal i .

t_{ij} = Tiempo de afección a la zona peatonal i durante la fase de obra j (días).

$Cdens_i$ = Coeficiente que representa la densidad de peatones en la zona peatonal i . Se toman los valores de la tabla C.20 (-).

S_{ij} = Superficie de la zona peatonal i inaccesible para los peatones durante la fase de obra j (m²).

En el Anexo C se incluyen ejemplos de aplicación de ambos indicadores.

2.6. Tiempo sin la prestación del servicio de movilidad que se está construyendo

$$I_{2.6} = t, \text{ en días}$$

$I_{2.6}$ = Indicador del criterio 2.6. Tiempo sin la prestación del servicio de movilidad que se está construyendo.

t = Tiempo desde el inicio de la obra hasta que ésta puede empezar a utilizarse (días).

En el presente subcriterio se consideran únicamente las obras que una vez terminadas prestarán un servicio relacionado con la movilidad de las personas o mercancías. El tiempo para el resto de obras se considera en el subcriterio 1.3.

Para la definición del presente indicador se ha supuesto que todas las alternativas constructivas comparadas construyen una obra que dará servicio al mismo número de personas. De no ser así, el indicador va multiplicado por el número de personas a las que dará servicio la obra terminada.

Capítulo 8

Aplicaciones prácticas de la metodología

El objetivo del presente capítulo es mostrar dos ejemplos de aplicaciones prácticas de la metodología a obras en fase de ejecución. Las aplicaciones prácticas realizadas son las siguientes:

- Una aplicación parcial de la metodología a las obras de los proyectos constructivos con finalidad educativa realizados en el Constructionarium 2012 por los estudiantes de Ingeniería civil y medioambiental del Imperial College London.
- Una aplicación de la metodología completa a dos pozos de ventilación y de salida de emergencia de la L.A.V. Madrid-Zaragoza-Barcelona-Frontera francesa, tramo Sants-Sagrera.

8.1. APLICACIÓN A LOS PROYECTOS DEL CONSTRUCTIONARIUM

Se realizó una primera aplicación parcial de la metodología, concretamente de la parte de impacto medioambiental, a las obras del Constructionarium. El Constructionarium es un curso práctico realizado por 19 universidades del Reino Unido para estudiantes de grado de Ingeniería civil y medioambiental llevado a cabo en el National Construction College, Norfolk, Inglaterra. Varios grupos de unos 20 estudiantes cada uno construyen proyectos de ingeniería civil a escala reducida. Los estudiantes realizan gran parte de las actividades de una obra: topografía, construcción de encofrados, montaje de ferralla y son los encargados de acabar de definir el procedimiento constructivo y gestionar su tiempo, el coste, la calidad, la seguridad y salud, las negociaciones con el cliente, etc.

En la figura 8.1 se pueden ver los cuatro proyectos del Constructionarium 2012 a los que se aplicó la metodología.

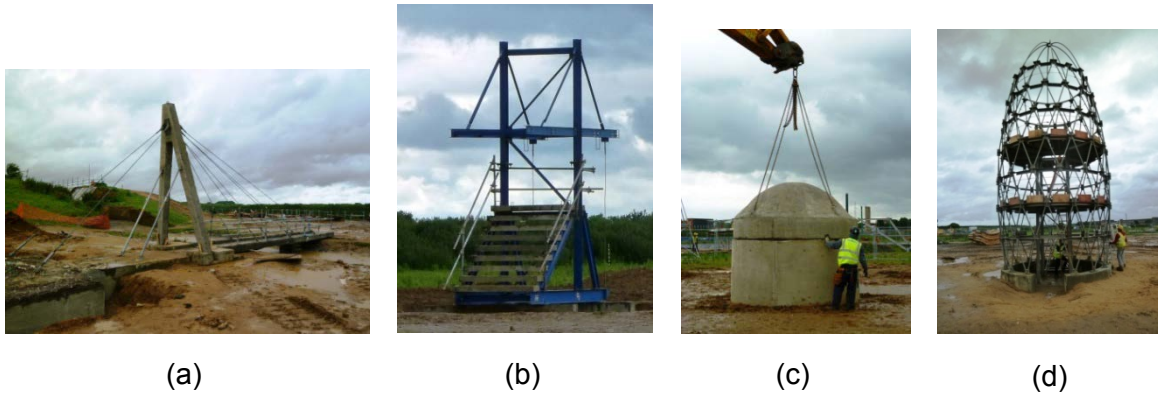


Figura 8.1. Proyectos realizados por los estudiantes de Ingeniería civil y medioambiental del Imperial College London en el Constructionarium 2012 en los que se realizó una aplicación parcial de la metodología: (a) pasarela de Brewery Wharf, (b) estadio de Don Valley, (c) estructura de una planta nuclear y (d) edificio The Gherkin.

Estas obras, aunque a escala reducida, tienen un impacto ambiental real, por lo que puede ser evaluado por la metodología. Además, la corta duración del Constructionarium, de tan solo 6 días, es una ventaja respecto a una obra comercial, ya que permite evaluar la aplicación de la metodología en obras completas de forma muy rápida.

Los objetivos de esta aplicación eran determinar en qué grado de detalle es posible obtener los datos necesarios para el cálculo del impacto ambiental en una obra en plena actividad y evaluar la dificultad de implementación de la metodología, así como introducir las mejoras que se creyeran necesarias.

La aplicación de la metodología en el Constructionarium dio una orientación sobre qué información es posible obtener. Por ejemplo, fue posible obtener la cantidad de gases de efecto invernadero emitidos en la fábrica de cemento y planta de hormigón que suministró el hormigón utilizado en obra y por lo tanto no fue necesario recurrir a valores de la base de datos de la tabla B.1, que son mayoritariamente promedios europeos o mundiales y, por tanto, menos exactos. La misma empresa proveedora de hormigón también facilitó los datos de las emisiones de gases de efecto invernadero en el transporte del hormigón desde fábrica hasta obra y datos de emisión de contaminantes a la atmósfera debido a la producción del cemento en su fábrica.

Gracias a los resultados de esta aplicación se decidió mantener en la metodología todas las fases del ciclo de vida mostradas en la figura 6.3.

La aplicación de la parte medioambiental de la metodología permitió validar el modelo de impacto ambiental, obtener una versión final del mismo y afrontar con seguridad el siguiente paso que es la aplicación de la metodología completa a una obra comercial.

Se ha publicado un artículo (Casanovas-Rubio *et al.*, 2014) sobre la aplicación de la metodología en el Constructionarium y cómo ello permitió que una actividad educativa se aprovechara para llevar a cabo una investigación.

8.2. APLICACIÓN A DOS POZOS DE VENTILACIÓN Y EMERGENCIA DE LA L.A.V.

Se realiza una aplicación práctica de la metodología en dos pozos ventilación y salida de emergencia de la L.A.V. Madrid-Zaragoza-Barcelona-Frontera francesa, en el tramo: túnel de conexión Sants-La Sagrera.

Los dos pozos seleccionados entre todos los del túnel para el cálculo y comparación de impactos son los situados en los cruces de la calle Provenza con Bruc y Provenza con Enric Granados, ya que de esta forma se comparan los impactos de dos procedimientos constructivos distintos en entornos similares.

El pozo de Bruc se construyó mediante el procedimiento constructivo habitualmente utilizado en este tipo de obras: pantallas con hidrofresa (figura 8.2). Tiene un diámetro interior de unos 20 m y las pantallas armadas de 1,20 m de espesor alcanzan una profundidad respecto a la cota del terreno de 43 m. La ocupación de la obra en la ciudad consta de 3 fases diferenciadas, como se puede ver en los planos del Anexo D.



Figura 8.2. Pozo de Bruc-Provenza ejecutado mediante pantallas con hidrofresa.

Con el objetivo de reducir las afecciones en la calle Enric Granados, el Ayuntamiento de Barcelona realizó una serie de peticiones, entre las que se encuentran la reducción del diámetro del pozo, compatible con las superficies necesarias para evacuación y ventilación, y la utilización de un procedimiento constructivo que requiera una menor ocupación en superficie, por lo que se ejecutó el pozo mediante tuneladora vertical (figura 8.3).

Se trata de un pozo vertical de 9 m de diámetro interior que alcanza una profundidad respecto a la cota del terreno de 47 m. El revestimiento del pozo consiste en anillos de hormigón formados por 4 dovelas de 40 cm de espesor. La ejecución de la obra se realizó en 3 fases de ocupación en superficie, como se puede ver en los planos del Anexo D.



Figura 8.3. Pozo de Enric Granados-Provenza ejecutado mediante tuneladora vertical.

8.2.1. Obtención de la información y cálculo de los indicadores

A continuación se calculan las respuestas de los indicadores para los pozos de Bruc y Enric Granados a partir de los datos del proyecto constructivo oficial facilitados por la empresa constructora.

Impacto económico

Como se indica en la tabla 8.1, se ha considerado el presupuesto de ejecución por contrata tras baja (sin IVA) en lugar del presupuesto general líquido (con IVA) porque el porcentaje de IVA ha cambiado varias veces durante las obras y de esta forma se facilita la comparación.

La partida de seguridad y salud del presupuesto de ejecución material incluye otras obras además de la ejecución del pozo de Bruc. Para el presupuesto se ha considerado la parte del presupuesto de seguridad y salud proporcional al pozo de Bruc. Se ha procedido de forma análoga para el pozo de Enric Granados.

El mantenimiento de la obra civil de los dos pozos se considera nulo. Tampoco se han considerado los costes de demolición de los pozos por no conocerse este dato.

Tabla 8.1. Respuestas del indicador de impacto económico.

Presupuesto	Impacto económico (€)	
	Bruc	Enric Granados
Presupuesto de ejecución material sin seguridad y salud	10637955,25	11043571,94
Presupuesto de seguridad y salud proporcional al pozo	182891,89	192410,62
Presupuesto de ejecución material incluyendo seguridad y salud	10820847,14	11235982,56
13% de gastos generales	1406710,13	1460677,73
6% de beneficio industrial	649250,83	674158,95
Presupuesto de ejecución por contrata sin IVA	12876808,10	13370819,25
27,16% de baja	-3497341,08	-3631514,51
Presupuesto de ejecución por contrata tras baja	9379467,02	9739304,74

Riesgos laborales

Tras realizar un recuento de las horas de trabajo en las distintas actividades a partir de las mediciones y justificación de precios del presupuesto, se han obtenido los Índices de Riesgo Laboral que se muestran en la tabla 8.2. Los resultados muestran que la ejecución del pozo de Enric Granados tiene un 30% menos de riesgo laboral que la ejecución del pozo de Bruc.

Tabla 8.2. Índice de Riesgo Laboral de las obras de ejecución de los pozos.

IRL (h)	
Bruc	Enric Granados
10958,62	7604,36

En el cálculo se ha considerado que el camión grúa dedica un 50% del tiempo a desplazarse (riesgo de atropello) y un 50% al manejo de cargas (riesgo de golpes o atrapamiento por la carga). Se ha considerado que la grúa autopropulsada dedica un 90% del tiempo al manejo de cargas y un 10% a desplazamiento. Finalmente, se ha considerado que la pala cargadora, la retroexcavadora, la retroexcavadora-cargadora y la excavadora presentan riesgo de atropello y de golpes o atrapamiento por manejo de cargas mediante medios mecánicos durante todo su tiempo de uso.

Consumo de materiales

A partir de las mediciones del presupuesto y de la justificación de precios se han obtenido los consumos de materiales que se muestran en la tabla 8.3.

Para el cálculo del consumo de materiales en peso se han considerado las densidades que se indican en la IAP-98 (Dirección General de Carreteras, 2000) y IAP-11 (Dirección General de Carreteras, 2011). En algunos casos no ha sido posible transformar las unidades de medida del presupuesto en unidades de peso por falta de datos, pero las cuantías de estos casos son insignificantes respecto al resultado final.

Tabla 8.3. Respuestas del indicador de consumo de materiales.

Consumo de materiales (t)	
Bruc	Enric Granados
47807,09	49433,88

Consumo de energía y emisiones de gases de efecto invernadero

El consumo de energía y emisión de gases de efecto invernadero en la fabricación de los materiales se ha obtenido a partir de las cantidades de materiales consumidas desglosadas por tipo de material y la tabla B.1 y se indican en las tablas 8.10 y 8.11.

Para el cálculo del consumo de energía y emisiones de gases de efecto invernadero en el transporte de materiales se conocen los suministradores de los principales materiales y el lugar de origen (tabla 8.4) y, en algunos casos, la capacidad del camión. Los casos cuya capacidad del camión no se conoce, se ha realizado una estimación.

Tabla 8.4. Suministrador, lugar de origen y capacidad del vehículo utilizado para el transporte de los diferentes materiales de construcción desde fábrica hasta obra para los pozos de Bruc y Enric Granados.

Material	Suministrador	Lugar	Suministro
Acero pasivo	Ferrobérica	Abrebra	Camión 22 t
Encofrado	PERI	Madrid	-
Vigas prefabricadas	PACADAR	Sant Boi de Llobregat	1 viaje por viga
Fibra vidrio pantallas ¹	SIREG	Arcore (Italia)	-
Tramex	RELESA	Murcia	-
Acero laminado S275	Ros Casares	Valencia	Camión 22 t
Hormigón	PROMSA	Sagrera (Barcelona)	Cubas de 8 m ³
Madera	Maderas Pablo Arroyo	Viladecans	-
Prefabricados hormigón (colector)	Tubs 1313	Lleida	-
Aglomerado	Tecnofirmes	Ordal (cerca de Vallirana)	-
Bordillo granito	Standarizados del mármol	Sant Vicenç de Castellet	-
Panot de acera y rigola	Industrial Breinco	Llinars del Vallés	-
Mobiliario urbano	Benito Urban	St Bartomeu del Grau (Barcelona)	-
Material Eléctrico	Electrobaix	Gavá	-
Ventiladores ²	Tecliven (ventiladores de Witt&Sohn)	Pinneberg (Alemania)	2 viajes desde el puerto de Barcelona en camión 22-25 t
Grupo electrógeno	Vesertec (fabricado por F.G. Wilson)	Belfast (Irlanda)	-
Puerta abatible	Acerintel	Sabadell	-
Material ferretería	Torres y Saez	Hospitalet de Llobregat	-
Gasoil	Arqué Elías	Martorell	-

Máquina VSM ¹	Herrenknecht ibérica	Schwanau (Alemania)	-
--------------------------	----------------------	---------------------	---

¹ Únicamente en el pozo de Enric Granados.

² Únicamente en el pozo de Bruc.

A partir del consumo de materiales por tipo de material y la capacidad del camión se ha obtenido el número de viajes necesarios. La distancia entre fábrica y obra se ha obtenido de Google maps. A partir de la distancia entre la fábrica y la obra y el número de viajes se ha obtenido la distancia recorrida total. A partir del consumo de aproximado del vehículo y de la distancia recorrida se obtiene el consumo total de combustible por el transporte del material. Finalmente, a partir del combustible consumido y de los datos de las tablas B.2 y B.4 se obtiene el consumo de energía y emisiones de gases de efecto invernadero (tablas 8.5 y 8.6).

En el cálculo no se ha incluido el transporte del material eléctrico, material de ferretería, ventiladores y grupo electrógeno por no tratarse de elementos de la obra sino de instalaciones. Tampoco se ha considerado el transporte de la maquinaria por falta de información.

Tabla 8.5. Cálculo del consumo de energía y emisiones de gases de efecto invernadero en el transporte de materiales desde fábrica hasta obra para la construcción del pozo de Bruc.

Material	Suministro	Consumo material (ud)	Nº viajes	Distancia fábrica - obra (km)	Distancia total recorrida (km)	Consumo (l/100 km)	Consumo total (l)	Consumo total (GJ)	Emisión gases efecto invernadero (tCO ₂ e)
Acero pasivo	22 t	1751,11 t	80	36	5808	30	1742,40	66,77	5,65
Encofrado	22 t ¹	30,96 t	2	610	2440	30	732,00	28,05	2,37
Vigas prefabricadas	1 viaje por viga (22 t aprox.)	7,00 ud	7	16	224	30	67,20	2,58	0,22
Tramex	22 t ¹	63,21m ²	1	630	1260	30	378,00	14,49	1,23
Acero laminado S275	22 t	819,11 t	38	350	26600	30	7980,00	305,80	25,87
Hormigón	8 m ³	10448,00 m ³	1306	6	15672	30	4701,60	180,17	15,24
Madera	22 t ¹	32,24 t	2	16	64	30	19,20	0,74	0,06
Prefabricados hormigón (colector)	22 t ¹	147,35 t	7	145	2030	30	609,00	23,34	1,97
Aglomerado	22 t ¹	556,72 t	26	36	1872	30	561,60	21,52	1,82
Bordillo granito	10 t ¹	8,13 t	1	50	100	20	20,00	0,77	0,06
Panot de acera y rigola	22 t ¹	31,85 t	2	35	140	30	42,00	1,61	0,14
Mobiliario urbano	10 t ¹	12 ud	1	80	160	20	32,00	1,23	0,10
Puerta abatible	10 t ¹	14,56 m ²	1	25	50	20	10,00	0,38	0,03
Gasoil	12000 l ≈ 10t ¹	16234,00 l	2	32	128	20	25,60	0,98	0,08
TOTAL							16920,60	648,41	54,84

¹ Peso estimado del camión suministrador.

Tabla 8.6. Cálculo del consumo de energía y emisiones de gases de efecto invernadero en el transporte de materiales desde fábrica hasta obra para la construcción del pozo de Enric Granados.

Material	Suministro	Consumo material (ud)	Nº viajes	Distancia fábrica - obra (km)	Distancia total recorrida (km)	Consumo (l/100 km)	Consumo total (l)	Consumo total (GJ)	Emisión gases efecto invernadero (tCO ₂ e)
Acero pasivo	22 t	669,61 t	31	36	2232	30	669,60	25,66	2,17
Encofrado	22 t ¹	0,75 t	-	-	-	-	-	-	-
Tramex	22 t ¹	126,00 m ²	1	630	1260	30	378,00	14,49	1,23
Acero laminado S275	22 t	149,95 t	7	350	4900	30	1470,00	56,33	4,76
Hormigón	8 m ³	5821,89 m ³	728	6	8736	30	2620,80	100,43	8,49
Madera	22 t ¹	40,22 t	2	16	64	30	19,20	0,74	0,06
Prefabricados hormigón (colector)	22 t ¹	71,60 t	4	145	1160	30	348,00	13,34	1,13
Aglomerado	22 t ¹	1026,39 t	47	36	3384	30	1015,20	38,90	3,29
Bordillo granito	22 t ¹	60,38 t	3	50	300	30	90,00	3,45	0,29
Panot de acera y rigola	22 t ¹	90,23 t	4	35	280	30	84,00	3,22	0,27
Mobiliario urbano	22 t ¹	-	-	-	-	-	-	-	-
Puerta abatible	22 t ¹	308,00 m ²	1	25	50	30	15,00	0,57	0,05
Gasoil	12000 l ≈ 10t ¹	63050,00 l	6	32	384	30	115,20	4,41	0,37
TOTAL							6825,00	261,54	22,12

¹ Peso estimado del camión suministrador.

En los cálculos anteriores se han realizado las siguientes hipótesis:

- El peso de encofrado transportado incluye únicamente las partidas que se miden por peso: materiales auxiliares para encofrar y madera de pino para encofrar de 26 mm. Además de estas partidas existen otras partidas de materiales de encofrado que se miden con otras unidades y no se han contabilizado en el peso: encofrado con paneles de melamina (m²), material de cimbrado para varios usos (m³), cimbra (m³), puntal metálico y telescópico (ud).
- Madera: el peso no incluye las partidas de tablón de madera de pino medidas por metro y de sección desconocida por no poderse calcular su volumen ni, por tanto, su peso.
- Se ha contabilizado un viaje por pozo para el transporte de las rejillas con pletina de acero galvanizado.
- Para el transporte de los materiales de Bruc, se considera que el colector visitable tiene un peso de 2 t/m.

- Sólo se considera el consumo de energía y emisión de gases de efecto invernadero en el transporte del gasoil utilizado en los generadores eléctricos y no el gasoil utilizado en la maquinaria porque al ser ésta alquilada, no se conoce desde dónde se suministraba el gasoil.

De la fase de ejecución de la obra se conocen las horas de funcionamiento de la maquinaria y los litros de combustible consumido en los generadores. El consumo de la hidrofresa de Bruc y el consumo de la tuneladora vertical de Enric Granados están incluidos en el combustible consumido por los generadores. A partir de las horas de funcionamiento de la maquinaria y la información disponible en la tabla B.3 se obtienen los consumos de energía y emisiones de gases de efecto invernadero mostrados en las tablas 8.7 y 8.8. A partir de los litros de combustible consumidos por los generadores, la densidad del gasoil (1191 l/t) y su poder calorífico superior (45,64 GJ/T) de la tabla B.2 y de las emisiones del gasoil (3,2413 kgCO₂e/l) de la tabla B.4 se obtienen los consumos y emisiones mostrados en la tabla 8.9.

Tabla 8.7. Consumo de energía y emisión de gases de efecto invernadero debido a la maquinaria utilizada en la ejecución del pozo de Bruc.

Maquinaria	Horas funcionam.	Consumo (MJ/h)	Emisión gases efecto invernadero (kgCO ₂ /h)	Consumo (GJ)	Emisión gases efecto invernadero (tCO ₂)
Bañera 24 t	4264	1296,37	109,65	5527,72	467,55
Dúmpster 16 t	953	985,97	83,40	939,63	79,48
Giratoria 8 t cadenas	880	566,02	47,88	498,10	42,13
Giratoria 16 t neumáticos	951	754,69	63,83	717,71	60,70
Giratoria 22 t cadenas	170	906,85	76,07	154,16	12,93
Miniretrocargadora	1257	304,31	25,74	382,52	32,36
Total				8219,84	695,15

Tabla 8.8. Consumo de energía y emisión de gases de efecto invernadero debido a la maquinaria utilizada en la ejecución del pozo de Enric Granados.

Maquinaria	Horas funcionam.	Consumo (MJ/h)	Emisión gases efecto invernadero (kgCO ₂ /h)	Consumo (GJ)	Emisión gases efecto invernadero (tCO ₂)
Bañera 24 t	536	1296,37	109,65	694,85	58,77
Dúmpster 16 t	1441	985,97	83,40	1420,78	120,18
Giratoria 8 t cadenas	1360	566,02	47,88	769,79	65,12
Giratoria 16 t neumáticos	27	754,69	63,83	20,38	1,72
Giratoria 22 t cadenas	8	906,85	76,07	7,25	0,61

Camión cisterna 12 m ³	22	1105,26	93,49	24,32	2,06
Miniretrocargadora	452	304,31	25,74	137,55	11,63
Total				3074,92	260,09

Tabla 8.9. Consumo de energía y emisión de gases de efecto invernadero debido al consumo de combustible de los generadores eléctricos utilizados en la ejecución del pozo de Bruc y del pozo de Enric Granados.

	Bruc	Enric Granados
Consumo de gasoil (l)	16234	63050
Consumo de energía (GJ)	622,10	2416,12
Emisiones de gases de efecto invernadero (tCO ₂ e)	52,62	204,36

En las tablas 8.10 y 8.11 se muestran los consumos y emisiones en las tres fases de los dos pozos y el total.

Tabla 8.10. Respuestas del indicador consumo de energía.

Fase	Consumo de energía (GJ)	
	Bruc	Enric Granados
Fabricación materiales	88718,93	59034,03
Transporte materiales	648,41	261,54
Ejecución obra	8841,94	5491,04
Total	98209,28	64786,61

Tabla 8.11. Respuestas del indicador emisión de gases de efecto invernadero.

Fase	Emisión de gases de efecto invernadero (tCO₂e)	
	Bruc	Enric Granados
Fabricación materiales	8928,78	8406,44
Transporte materiales	54,84	22,12
Ejecución obra	747,77	464,46
Total	9731,40	8893,02

Emisión de contaminantes a la atmosfera

El indicador de emisión de contaminación atmosférica consta de 2 fases: la contaminación en la fabricación de los materiales de construcción y la contaminación en el transporte de los materiales desde fábrica hasta obra. En las páginas web de las empresas suministradoras de los principales materiales utilizados en obra no se ha encontrado información sobre la contaminación atmosférica emitida en la fabricación de los materiales. A partir del consumo de combustible de los vehículos pesados utilizados en el transporte de materiales y los valores de la tabla B.16 se puede realizar una estimación de la contaminación atmosférica emitida en el transporte de los materiales de construcción (tabla 8.12).

Tabla 8.12. Contaminación atmosférica emitida en el transporte de los materiales de construcción desde fábrica hasta obra.

	Bruc	Enric Granados
Consumo de combustible en transporte (l)	16920,60	6825,00
Valores límite de emisiones ¹ (g/l)	49,29	49,29
Emissiones totales (kg)	834,05	336,42

¹ Suma de valores límite de emisiones de CO, HCT, NO_x y materia particulada de la tabla B.16.

Contaminación acústica en entorno natural

Por tratarse de una obra urbana no se produce contaminación acústica sobre un entorno natural. La contaminación acústica sobre las personas queda recogida en el indicador de contaminación acústica sobre residentes en viviendas, dentro de impacto social.

Generación de residuos no peligrosos

Debido al sistema de calidad y medioambiente implantado y al contrato firmado para la ejecución de las obras, todos los residuos no peligrosos generados son reciclados o valorizados excepto los residuos banales que serían llevados a vertedero. En la tabla 8.13 se detallan los residuos y el tipo de gestión.

Tabla 8.13. Gestión de los distintos tipos de residuos.

Tipo de residuo	Gestión
RCD, runa o restos de hormigón	Valorización
Tierra	Valorización - restauración de canteras
Chatarra	Valorización
Madera	Valorización
Plástico	Valorización
Papel-cartón	Valorización
Restos de poda	Valorización
Tóners	Reciclado
Aparatos eléctricos	Reciclado
Basuras/banales	Por la tipología de obra urbana no se han generado ni gestionado este tipo de residuos
Aguas residuales	Se estima el volumen mediante el consumo de agua e cada pozo, que es de 4397 m ³ en Bruc y de 7133 m ³ en Enric Granados

Es decir, el único residuo que no se valoriza o regenera son las aguas residuales y, por lo tanto, serán el único residuo considerado en el indicador (tabla 8.14).

Tabla 8.14. Respuestas del indicador generación de residuos no peligrosos.

Generación de residuos no peligros (t)	
Bruc	Enric Granados
4397	7133

Generación de residuos tóxicos, contaminantes o peligrosos

Los residuos peligrosos generados son las tierras contaminadas con hidrocarburos y los envases contaminados pero no existe información desglosada por pozos ya que todos los residuos generados en las distintas partes de la obra se reunían en un punto limpio para después gestionarlos conjuntamente.

Además se generaron aceites industriales usados. La cantidad generada no se conoce pero se puede estimar a partir del consumo de combustible como se explica en la definición del presente indicador, tabla 6.1: el coste del consumo de aceites industriales es aproximadamente un 20% del coste de consumo de gasoil. En la tabla 8.15 se calcula el consumo de gasoil de la maquinaria de obra a partir de su consumo en GJ obtenido de las tablas 8.7 y 8.8, del poder calorífico superior del gasoil (45,64 GJ/t) y de la densidad del gasoil (1191 l/t) obtenidos de la tabla B.2. También se calcula el consumo de aceites industriales suponiendo un precio de gasoil de 1,03 €/litro y de 825 €/200 litros de aceite industrial. Como no se conoce el % de aceite industrial usado que se regenera, se supone el caso más desfavorable y se contabiliza todo como generación de residuos peligrosos.

Tabla 8.15. Consumo de aceites industriales usados.

	Bruc	Enric Granados
Consumo de energía de la maquinaria de obra (GJ)	8219,84	3074,92
Consumo de gasoil de la maquinaria de obra (l)	214501,08	80241,67
Consumo de gasoil de los generadores eléctricos (l)	16234,00	63050,00
Consumo de gasoil total (l)	230735,08	143291,67
Coste gasoil (€)	237657,13	147590,42
Coste aceites industriales (€)	47531,43	29518,08
Consumo aceites industriales (l)	11522,77	7155,90

Afección a entornos sensibles

Debido a la ubicación de la obra no se produce afección a ningún entorno sensible, por lo que el presente criterio no se considera en la aplicación de la metodología.

Servicios de suministro y evacuación a garantizar

En ambos pozos se produjo un corte previsto por cada línea eléctrica desviada. En Bruc se produjeron 12 cortes de electricidad de 2 horas cada uno. En Enric Granados

se produjo un corte de electricidad de 2 horas. No se conoce el número de personas afectadas. En las ecuaciones 8.1 y 8.2 se calculan las respuestas del indicador de cortes previstos para los pozos de Bruc y Enric Granados respectivamente.

$$I_B = 12 \cdot 2 h \cdot 5 = 120 h \quad (8.1)$$

$$I_{EG} = 2 h \cdot 5 = 10 h \quad (8.2)$$

En cuanto al riesgo de cortes imprevistos es necesario conocer la duración de los trabajos que pueden afectar a los servicios, que son principalmente los desvíos de los mismos servicios.

En Bruc se desviaron los siguientes servicios:

- Abastecimiento de agua: 1 tubería de 1250 mm de diámetro, 30 días laborables y 1 tubería de 300 mm de diámetro, 20 días laborables.
- Saneamiento: 1 colector T-130, 30 días laborables.
- Baja tensión: 3 líneas, 10 días laborables.
- Media tensión: 12 líneas, 30 días laborables.
- Telefónica: 3 líneas, 45 días laborables.

En Enric Granados se desviaron los siguientes servicios:

- Abastecimiento de agua: 1 tubería, 5 días laborables.
- Saneamiento: 1 colector T-130, 5 días laborables.
- Media tensión: 2 líneas, 5 días laborables.
- Gas: 1 tubería, 5 días laborables.
- Red de fibra óptica: 6 líneas, 8 días laborables.

En las ecuaciones 8.3 y 8.4 se realiza el cálculo de la respuesta del indicador de riesgo de cortes imprevistos a servicios de suministro y evacuación a garantizar en los pozos de Bruc y Enric Granados respectivamente.

$$I_B = 30 \text{ días} \cdot 1 + 20 \text{ días} \cdot 1 + 30 \text{ días} \cdot 3 + 3 \cdot 10 \text{ días} \cdot 5 + 12 \cdot 30 \text{ días} \cdot 5 + 3 \cdot 45 \text{ días} \cdot 1 = 2225 \text{ días} \quad (8.3)$$

$$I_{EG} = 5 \text{ días} \cdot 1 + 5 \text{ días} \cdot 3 + 2 \cdot 5 \text{ días} \cdot 5 + 5 \text{ días} \cdot 2 + 6 \cdot 8 \text{ días} \cdot 1 = 128 \text{ días} \quad (8.4)$$

Servicios públicos desplazables o prescindibles

En Bruc se han desplazado 5 contenedores y se han anulado los siguientes servicios públicos desplazables o prescindibles:

- 4 papeleras
- 1 fuente
- 6 bancos
- 3 contenedores
- 1 buzón

La afección duró toda la obra desde su inicio a fecha 24/11/2009 hasta su fin a fecha 17/05/2011 (539 días).

En Enric Granados solamente se anularon 8 papeleras, dos por cada paso de peatones en el cruce, también durante toda la obra desde su inicio a fecha 13/07/2010 hasta su fin a fecha 16/12/2011 (521 días).

Se utilizan los coeficientes de importancia de la tabla C.3 y los coeficientes de afección de la tabla C.4. En las ecuaciones 8.5 y 8.6 se calcula la respuesta del indicador de afección a servicios públicos desplazables o prescindibles de las obras de los pozos de Bruc y Enric Granados.

$$I_B = 539 \text{ días} \cdot (5 \cdot 2 \cdot 1 + 3 \cdot 2 \cdot 2 + 12 \cdot 1 \cdot 2) \text{ elementos} = 24794 \text{ días} \cdot \text{elementos} \quad (8.5)$$

$$I_{EG} = 521 \text{ días} \cdot 8 \text{ elementos} \cdot 1 \cdot 2 = 8336 \text{ días} \cdot \text{elementos} \quad (8.6)$$

Tiempo sin la prestación del servicio que se está construyendo (no relacionado con la movilidad)

El servicio que se está construyendo sí que está relacionado con la movilidad, con lo que no se aplica el presente subcriterio.

Centros de alta sensibilidad

La ejecución de los pozos de Bruc y Enric Granados no impidió que se realizara ninguna actividad en los centros de alta sensibilidad de su entorno.

La ejecución del pozo de Bruc tuvo tres fases de ocupación diferenciadas, como se puede ver en los planos del Anexo D y como se detalla en la tabla 8.16.

Tabla 8.16. Fases de ocupación en la ejecución del pozo de Bruc.

Fase	Duración	Ocupación	Zona de afección (ocupación de obra + 50 m desde su perímetro)
1	113 días	Medio cruce Bruc - Provenza	Provenza 293-307 y 324-342, Bruc 127-139 y 140-150 y Diagonal 353-359
2	270 días	Todo el cruce Bruc - Provenza, continuando por la calle Bruc hasta medio cruce Bruc - Mallorca	Provenza 293-307 y 324-342, Bruc 117-141 y 124-152, Diagonal 349b-359 y 400-420 y Mallorca 291-309 y 286-308
3	156 días	Todo el cruce Bruc - Provenza continuando unos 30 metros más por la calle Bruc en sentido a la calle Mallorca.	Provenza 293-307 y 324-342, Bruc 123-141 y 136-152 y Diagonal 349b-359 y 400-420

Los centros de alta sensibilidad dentro de la zona de influencia de la obra de Bruc en las distintas fases y su superficie y ocupación se muestran en la tabla 8.17.

Tabla 8.17. Centros de alta sensibilidad dentro de la zona de influencia de la ejecución del pozo de Bruc.

Centro alta sensibilidad	Dirección	Fase afecc.	Uso	Ocup. (m ² /pers.)	Superf. (m ²)	Ocup. (pers.)
Especialidades odontológicas	Provenza 295	1, 2 y 3	Hospitalario, servicios ambulatorios y de diagnóstico	10	223	23
Clínica	Provenza 340	1, 2 y 3	Hospitalario, zonas de hospitalización	15	2386	159
Guardería	Bruc 136	2 y 3	Docente, aulas de escuelas infantiles	10	154	16
Centro médico y servicio de prevención	Diagonal 355	1, 2 y 3	Hospitalario, servicios ambulatorios	10	134,5	14
Centro de recuperación funcional y fisioterapia	Diagonal 408	2 y 3	Hospitalario, servicios ambulatorios	15	482	32
Centro médico	Diagonal 410	2 y 3	Hospitalario, servicios ambulatorios y de diagnóstico	10	113	12

En la ecuación 8.7 se calcula el indicador de afección a centros de alta sensibilidad para la ejecución del pozo de Bruc.

$$I_B = 539 \text{ días} \cdot (14 + 159 + 23) \text{ pers} \cdot 1 \cdot 1 + 426 \text{ días} \cdot (32 + 12 + 16) \text{ pers} \cdot 1 \cdot 1 = 131204 \text{ días} \cdot \text{pers.} \quad (8.7)$$

La ejecución del pozo de Enric Granados tuvo tres fases de ocupación diferenciadas, como se puede ver en los planos del Anexo D y como se detalla en la tabla 8.18.

Tabla 8.18. Fases de ocupación en la ejecución del pozo de Enric Granados.

Fase	Fecha inicio y fin	Ocupación	Zona de afección
1	13/7/10 - 20/12/10 (160 días)	Todo el cruce Enric Granados - Provenza	Provenza 185-205 y 224-242 y Enric Granados 65-85 y 48-66
2	20/12/10 - 20/5/11 (151 días)	Todo el cruce Enric Granados - Provenza, continuando por la calle Provenza hasta medio cruce Provenza-Balmes	Provenza 185-219 y 224-258, Enric Granados 65-85 y 48-66 y Balmes 111-127 y 98-122
3	20/5/11 - 16/12/11 (210 días)	Ídem fase 1	Ídem fase 1

Dentro de la zona de afección de las fases 1 y 3 únicamente se ha detectado un centro de alta sensibilidad: un Instituto de Enseñanza Secundaria. Por su proximidad a la obra, el instituto está dentro de la zona de influencia de la obra durante toda su duración. En la fase 2, la obra tiene una ocupación mayor, por lo que quedan dentro de la zona de influencia de la obra los centros de alta sensibilidad indicados en la tabla

8.19. A partir de la tabla C.5 y el uso de los centros se ha obtenido la ocupación en m²/persona y del catastro online se ha obtenido la superficie construida.

Tabla 8.19. Centros de alta sensibilidad dentro de la zona de influencia en la fase 2 de ejecución del pozo de Enric Granados.

Centro alta sensibilidad	Dirección	Fases afecc.	Uso	Ocupación (m ² /persona)	Superficie (m ²)	Ocupación (personas)
Instituto de Enseñanza Secundaria	Provenza 187	1, 2 y 3	Docente, conjunto del edificio	10	8280	828
Centro médico	Balmes 111	2	Hospitalario, servicios ambulatorios y de diagnóstico	10	726	72
Consultorio médico	Balmes 123	2	Hospitalario, servicios ambulatorios	10	250	25
Diagnóstico por imagen	Balmes 125	2	Hospitalario, servicios de diagnóstico	10	254	25
Fundación para la integración laboral de personas en riesgo de exclusión social	Balmes 112	2	Administrativo, plantas o zonas de oficinas	10	1200	120
Academia de informática	Balmes 114	2	Docente, conjunto del edificio	10	400	40

En la ecuación 8.8 se calcula el indicador de afección a centros de alta sensibilidad para la ejecución del pozo de Enric Granados.

$$I_{EG} = 521 \text{ días} \cdot 828 \text{ pers} \cdot 1 \cdot 1 + 151 \text{ días} \cdot (72 + 25 + 25 + 120 + 40) \text{ pers} \cdot 1 \cdot 1 = 473970 \text{ días} \cdot \text{pers.} \quad (8.8)$$

Contaminación acústica sobre residentes en viviendas

La maquinaria utilizada en la ejecución de los pozos de Bruc y Enric Granados y las horas de funcionamiento son las que se muestran en las tablas 8.7 y 8.8 respectivamente. Todas las horas de funcionamiento de la maquinaria se realizan en periodo de día en ambos pozos.

Como no se conocen los niveles de potencia acústica de la maquinaria utilizada se toman los niveles promedio de ruido a 15 metros de la tabla B.18. El ruido producido por las palas excavadoras giratorias se asimila al ruido producido por la pala trasera, según tamaños. El ruido producido por la miniretrocargadora se asimila al nivel de ruido más bajo de los cargadores frontales o palas traseras. El ruido producido por el camión cisterna se asimila al nivel más bajo producido por el camión. En la tabla 8.20 se muestran los niveles promedio de ruido a 15 metros.

Tabla 8.20. Niveles promedio de ruido a 15 m considerados para la maquinaria utilizada en la ejecución de los pozos.

Maquinaria		Nivel promedio de ruido a 15 m (dB)
Camiones (dumper y volquete)		88,4
Giratoria	8t	72,2
	16t	82,2
	22t	92,2
Camión cisterna		83,6
Minicargadora		72,2

La población afectada en cada fase se calcula como el área de la zona de influencia de la obra multiplicado por la densidad de población de la zona afectada, que en el caso del Ensanche barcelonés es de 35.556 hab/km², según datos del Departamento de Estadística del Ayuntamiento de Barcelona obtenidos de la página web del Ayuntamiento.

Como no se conoce cuánto tiempo trabajan las distintas máquinas en cada fase de ocupación se obtiene un promedio de la zona de influencia de las tres fases ponderado por el tiempo de duración de cada fase, con lo que, a partir de la densidad de ocupación, se obtiene un promedio de residentes afectados en las tres fases de ejecución de cada pozo (tabla 8.21).

Tabla 8.21. Área de la zona de influencia por fases, área promedio de la zona de influencia y número promedio de residentes afectados en la ejecución de cada pozo.

Pozo	Fase	Área de la zona de influencia (m ²)	Duración de la fase (días)	Área promedio ponderada (m ²)	Número promedio de residentes afectados
Bruc	1	18611	113	32381	1151
	2	42079	270		
	3	25570	156		
Enric Granados	1	20473	160	25051	890
	2	36267	151		
	3	20473	210		

Con los anteriores datos es posible calcular la respuesta del indicador para cada pozo (ecuaciones 8.9 y 8.10).

$$I_B = [(4264 + 953) h \cdot 88,4 \text{ dB} + 880 h \cdot 72,2 \text{ dB} + 951 h \cdot 82,2 \text{ dB} + 170 h \cdot 92,2 \text{ dB} + 1257 h \cdot 72,2 \text{ dB}] \cdot 1 \cdot 1151 \text{ pers} = 816,428 \cdot 10^6 h \cdot \text{pers}. \quad (8.9)$$

$$I_{EG} = [(536 + 1441) h \cdot 88,4 \text{ dB} + 1360 h \cdot 72,2 \text{ dB} + 27 h \cdot 82,2 \text{ dB} + 8 h \cdot 92,2 \text{ dB} + 22 h \cdot 83,6 \text{ dB} + 452 h \cdot 72,2 \text{ dB}] \cdot 1 \cdot 890 \text{ pers} = 276,247 \cdot 10^6 h \cdot \text{pers}. \quad (8.10)$$

Negocios

En las tablas 8.22 y 8.23 se listan los negocios que están dentro de la zona de afectación de las obras de los pozos de Bruc y Enric Granados respectivamente, las fases de la afectación y el tipo de afectación de las terrazas o quioscos.

Tabla 8.22. Relación de negocios en la zona de afectación del pozo de Bruc

Dirección	Negocio	Fases afectación	Comentarios
Diagonal 349b	Peluquería	2 y 3	-
Diagonal 351	Venta arquitectura textil, parasoles, piscinas, etc.	2 y 3	-
Diagonal 353	Cocktail bar	1, 2 y 3	-
Diagonal 353	Restaurante, bar, café y copas	1, 2 y 3	-
Diagonal 355	Banco	1, 2 y 3	-
Diagonal 357	Numismática y antigüedades	1, 2 y 3	-
Diagonal 400	Centro auditivo	2 y 3	-
Diagonal 402	Envíos de dinero	2 y 3	-
Diagonal 402	Peluquería	2 y 3	-
Diagonal 404-406	Taller mecánico	2 y 3	-
Diagonal 414	Decoradores cocinas	2 y 3	-
Diagonal 414	Bar cafetería	2 y 3	-
Diagonal 414 (esquina Bruc)	Bar granja	2 y 3	-
Diagonal 416	Venta sofás	2 y 3	-
Diagonal 418	Banco	2 y 3	-
Diagonal 420	Venta parquet	2 y 3	-
Provenza 293	Reparaciones teléfonos inteligentes, tablets, etc.	1, 2 y 3	-
Provenza 297	Servicio integral motos	1, 2 y 3	-
Provenza 301	Espacios de trabajo y de networking	1, 2 y 3	-
Provenza 305	Tienda de ropa	1, 2 y 3	-
Provenza 307 (esquina Bruc)	Clínica veterinaria	1, 2 y 3	-
Provenza 332	Pizzeria	1, 2 y 3	Terraza sin desplazamiento ni anulación
Provenza 334	Quiosco	1, 2 y 3	Desplazado durante toda la obra
Provenza 338	Estanco	1, 2 y 3	-
Provenza 338	Tienda	1, 2 y 3	-
Provenza 340	Bar	1, 2 y 3	Terraza desplazada en fase 2
Bruc 117	Diseño e interiorismo de cocinas y baños	2	-
Bruc 117	Bazar	2	-
Bruc 121	Cafetería	2	Terraza sin desplazamiento ni anulación
Bruc 121	Granja	2	-
Bruc 125	Centro de gimnasia y yoga	1, 2 y 3	-
Bruc 127	Servicio integral motos	1, 2 y 3	-
Bruc 131	Quiosco	1, 2 y 3	Desplazado durante toda la obra
Bruc 139 (esquina Diagonal)	Restaurante	1, 2 y 3	Terraza sin desplazamiento ni anulación
Bruc 124	Papelería	2	-

Bruc 126	Peluquería	2	-
Bruc 126	Peluquería	2	-
Bruc 126-128	Horchatería	2	-
Bruc 134	Farmacia	2	-
Bruc 134	Trabajo temporal	2	-
Bruc 140-142	Idiomas	1, 2 y 3	-
Bruc 150	Tienda de pieles	1, 2 y 3	-
Mallorca 291-293	Mobiliario	2	-
Mallorca 299	Tienda ropa infantil	2	-
Mallorca 301 (esquina Bruc)	Bar restaurante	2	Terraza sin desplazamiento ni anulación
Mallorca 303	Restaurante	2	Terraza sin desplazamiento ni anulación
Mallorca 305	Cafetería	2	Terraza sin desplazamiento ni anulación
Mallorca 305	Iluminación	2	-
Mallorca 307-309	Supermercado	2	-
Mallorca 288	Hotel	2	-
Mallorca 290-292	Restaurante	2	Terraza sin desplazamiento ni anulación
Mallorca 294	Cafetería	2	Terraza sin desplazamiento ni anulación
Mallorca 296	Numismática y filatelia	2	-
Mallorca 298-300	Supermercado	2	-
Mallorca 298-300	Salón masajes, sauna, UVA, estética	2	-
Mallorca 304	Calderas y calefacción	2	-
Mallorca 304	Restaurante	2	Terraza sin desplazamiento ni anulación
Mallorca 306	Sillas de diseño	2	-
Mallorca 308	Restaurante	2	-

Tabla 8.23. Relación de negocios en la zona de afección del pozo de Enric Granados.

Dirección	Negocio	Fases afección	Comentarios
Enric Granados 67	Restaurante	1, 2 y 3	-
Enric Granados 69	Restaurante	1, 2 y 3	Terraza sin desplazamiento ni anulación
Enric Granados 71	Bar	1, 2 y 3	-
Enric Granados 73	Café	1, 2 y 3	Terraza sin desplazamiento ni anulación
Enric Granados 75	Restaurante	1, 2 y 3	Terraza sin desplazamiento ni anulación
Enric Granados 77 (esquina Provenza)	Joyería	1, 2 y 3	-
Enric Granados 77 (esquina Provenza)	Tienda muebles y objetos del hogar	1, 2 y 3	-
Enric Granados 83	Hotel	1, 2 y 3	Terraza sin desplazamiento ni anulación
Enric Granados 48	Restaurante	1, 2 y 3	Terraza sin desplazamiento ni anulación
Enric Granados 50	Servicios gráficos	1, 2 y 3	-
Enric Granados 52	Hostal	1, 2 y 3	-
Enric Granados 52	Bar	1, 2 y 3	-
Enric Granados 52	Bar musical	-	Abierto sólo por la noche, no está enfrente de la obra,

			no se considera la afección
Enric Granados 54	Bar	1, 2 y 3	Terraza sin desplazamiento ni anulación
Enric Granados 54	Estética	1, 2 y 3	-
Enric Granados 56 (esquina Provenza)	Peluquería	1, 2 y 3	-
Enric Granados 58 (esquina Provenza)	Cafetería	1, 2 y 3	Terraza sin desplazamiento ni anulación
Enric Granados 58	Restaurante	1, 2 y 3	Terraza sin desplazamiento ni anulación
Enric Granados 60	Pizzeria	1, 2 y 3	-
Provenza 181	Espacio creativo	2	-
Provenza 185	Supermercado	1, 2 y 3	-
Provenza 195 (esquina Enric Granados)	Farmacia	1, 2 y 3	-
Provenza 195 (esquina Enric Granados)	Hotel	1, 2 y 3	Terraza sin desplazamiento ni anulación
Provenza 197	Panadería	1, 2 y 3	-
Provenza 199	Librería	1, 2 y 3	-
Provenza 201	Gestión inmobiliaria	1, 2 y 3	-
Provenza 201	Restaurante	1, 2 y 3	-
Provenza 205	Asesoría	1, 2 y 3	-
Provenza 205	Restaurante	2	-
Provenza 207	Reparación y venta de motos	2	-
Provenza 209	Comida para llevar	2	-
Provenza 211	Óptica	2	-
Provenza 211 (esquina Balmes)	Cafetería - restaurante	2	Terraza sin desplazamiento ni anulación
Provenza 211 (esquina Balmes)	Tienda de ropa	2	-
Provenza 213 (esquina Balmes)	Restaurante - café	2	-
Provenza 215	Zapatería	2	-
Provenza 217-223	Tienda de muebles	2	-
Provenza 220	Peluquería y estética	2	-
Provenza 220	Administradores de fincas	2	-
Provenza 222	Gestión y asesoramiento	2	-
Provenza 224	Panadería	1,2 y 3	-
Provenza 224	Escuela de artes marciales	1, 2 y 3	-
Provenza 224	Bar - Restaurante	1, 2 y 3	Terraza sin desplazamiento ni anulación
Provenza 228	Bar	1, 2 y 3	Terraza sin desplazamiento ni anulación
Provenza 230	Restaurante	1, 2 y 3	-
Provenza 230	Restaurante	1, 2 y 3	-
Provenza 232	Librería	1, 2 y 3	-
Provenza 236 (esquina Enric Granados)	Tienda de complementos de vestir	1, 2 y 3	-
Provenza 236 (esquina Enric Granados)	Colmado	1, 2 y 3	Terraza sin desplazamiento ni anulación
Provenza 236 (esquina Enric Granados)	Relojería	1, 2 y 3	-
Provenza 236 (esquina Enric Granados)	Peluquería	1, 2 y 3	-
Provenza 238	Artículos del hogar	1, 2 y 3	-

Provenza 240	Tienda, actividades	1, 2 y 3	-
Provenza 240	Espacio social	1, 2 y 3	-
Provenza 242	Librería	1, 2 y 3	-
Provenza 244	Tienda telefonía	2	-
Provenza 246	Tienda cocina	2	-
Provenza 252 (esquina Balmes)	Bar - restaurante	2	Terraza sin desplazamiento ni anulación
Provenza 256	Librería papelería	2	-
Provenza 256-258	Tienda especializada en punto de cruz	2	-
Balmes 113	Papelería	2	-
Balmes 113	Bar	-	Abierto sólo por las noches, no está enfrente de la obra, no se considera la afección
Balmes 117 (esquina Provenza)	Hotel	2	-
Balmes 119 (esquina Provenza)	Joyería	2	-
Balmes 121	Tienda pintura	2	-
Balmes 121	Tienda de muñecas	2	-
Balmes 125	Oficinas seguro médico	2	-
Balmes 127	Restaurante	2	-
Balmes 106	Centro de belleza	2	-
Balmes 106	Cafetería - restaurante	2	-
Balmes 108 (esquina Provenza)	Tienda de ropa	2	-
Balmes 108 (esquina Provenza)	Tienda de complementos de ropa	2	-
Balmes 116	Estanco	2	-
Balmes 116	Copistería	2	-
Balmes 118	Supermercado	2	-
Balmes 120	Tienda de ropa	2	-
Balmes 122	Bar	2	-

En Bruc existen 27 negocios afectados solamente en la fase 2 (270 días), de los cuales hay 7 terrazas sin desplazamiento; 12 negocios afectados en las fases 2 y 3 (270 días más 156 días) sin terrazas y 20 negocios afectados durante toda la obra (539 días), de los cuales hay dos terrazas sin desplazamiento ni anulación, dos quioscos desplazados durante toda la obra y una terraza desplazada en fase 2 solamente. En total, hay 59 negocios en la zona de afección de alguna de las 3 fases.

En Enric Granados existen 41 negocios afectados en todas las fases de la obra (521 días) con 12 terrazas sin desplazamiento y 34 negocios afectados solamente durante la fase 2 (151 días), con 2 terrazas sin desplazamiento. Es decir, se afecta un total de 75 negocios en alguna de las tres fases. No se afecta a ningún quiosco.

En las ecuaciones 8.11 y 8.12 se calculan las respuestas de los indicadores simplificados de afección a negocios durante las obras de Bruc y Enric Granados.

$$I_B = 270 \text{ días} \cdot (20 \cdot 1 + 7 \cdot 1,5) + 12 \cdot (270 + 156) \text{ días} \cdot 1 + 539 \text{ días} \cdot (15 \cdot 1 + 2 \cdot 1,5 + 2 \cdot 2) + 1 \cdot (113 + 156) \text{ días} \cdot 1,5 + 1 \cdot 270 \text{ días} \cdot 2 = 26148,5 \text{ días} \quad (8.11)$$

$$I_{EG} = 521 \text{ días} \cdot (29 \cdot 1 + 12 \cdot 1,5) + 151 \text{ días} \cdot (32 \cdot 1 + 2 \cdot 1,5) = 29772 \text{ días} \quad (8.12)$$

Sector primario y secundario

No se ha afectado a ninguna industria ni al sector extractivo durante la ejecución de los pozos, por lo que no se aplica el presente indicador.

Espacios verdes

En Bruc se cortaron un total de 15 árboles en dos fases según la ocupación de la obra y se plantaron árboles nuevos un mes antes de fin de obra. Además se ocupó una zona verde de unos 45 m² durante las fases 2 y 3 de la obra hasta su restablecimiento también un mes antes de fin de obra. En Enric Granados se cortaron 6 árboles al principio de la obra y se plantaron árboles nuevos al final de la obra. En las ecuaciones 8.13 y 8.14 se calculan las respuestas del indicador de afección a espacios verdes de Bruc y Enric Granados.

$$I_B = 4 \text{ árboles} \cdot 25 \frac{\text{m}^2}{\text{árbol}} \cdot (539 - 30) \text{ días} + \left(11 \text{ árboles} \cdot 25 \frac{\text{m}^2}{\text{árbol}} + 45 \text{ m}^2 \right) \cdot (270 + 156 - 30) \text{ días} = 1776200 \text{ m}^2 \cdot \text{días} \quad (8.13)$$

$$I_{EG} = 6 \text{ árboles} \cdot 25 \frac{\text{m}^2}{\text{árbol}} \cdot 521 \text{ días} = 78150 \text{ m}^2 \cdot \text{días} \quad (8.14)$$

Riesgo de afección al patrimonio

Según el catálogo del patrimonio arquitectónico del Ayuntamiento de Barcelona, en el entorno del pozo de Bruc se encuentran los siguientes edificios de patrimonio arquitectónico:

- Casa Terrades o de "les punxes", en avenida Diagonal 416-420.
- Casas Armenteras y Parellada, también conocidas como casas Francesc Lalanne, en Provenza 326 y 324.

Según planos del procedimiento constructivo del pozo de Bruc, la cota de máxima excavación es -0,33 m, mientras que la cota del terreno está a unos 36 m, por lo tanto se excava unos 36,33 m. Si los edificios del patrimonio arquitectónico se encuentran a una distancia de la excavación inferior al doble de la profundidad de excavación, en este caso a 73 metros aproximadamente, se consideran en el indicador.

La casa Terrades se encuentra a unos 80 m del borde de la excavación del pozo y, por tanto, no se considera en el indicador. Una de las casas Francesc Lalanne (Provenza 326) se encuentra a una distancia de 65 metros de la excavación del pozo, por lo que sí que se considera en el indicador. La otra casa (Provenza 324) se encuentra a una distancia de más de 78 m, por lo que no se considera en el indicador.

Según el catálogo del patrimonio arquitectónico del Ayuntamiento de Barcelona, en el entorno del pozo de Enric Granados se encuentra el siguiente edificio perteneciente al patrimonio:

- Casa Antonio Sagarra, en Provenza 185.

Según los planos del procedimiento constructivo de Enric Granados, la cota de máxima excavación del pozo es de -8,30 m y la cota del terreno es de 37,37 m, por lo que se excava unos 46 metros de profundidad. Como el anterior edificio se encuentra a una distancia de unos 54 m de la excavación, inferior al doble de la profundidad de excavación (91 m), se considera en el indicador.

En las ecuaciones 8.15 y 8.16 se realiza el cálculo de las respuestas de indicador de riesgo de afección al patrimonio de ambos pozos. La fase de excavación se realiza durante las fases 2 del procedimiento constructivo de cada pozo. Ambas casas con riesgo se consideran de interés regional.

$$I_B = 159 \text{ días} \cdot \frac{36 \text{ m}}{65 \text{ m}} \cdot 0,4 = 35,22 \text{ días} \quad (8.15)$$

$$I_{EG} = 151 \text{ días} \cdot \frac{46 \text{ m}}{54 \text{ m}} \cdot 0,4 = 51,45 \text{ días} \quad (8.16)$$

Vehículos de emergencia

En los alrededores de la ocupación de Bruc existe una salida de ambulancias de una clínica, en la calle Provenza 340. Durante toda la ejecución de la obra el ancho libre de paso para la salida de ambulancias es superior a 3,5 metros, por lo que no se considera en el cálculo del indicador.

Sin embargo, en las tres fases de ejecución del pozo, quedan zonas con ancho de paso para vehículos inferior a 3,10 metros, por lo que se consideran zonas sin accesibilidad para los vehículos de emergencia. En la tabla 8.24 se muestra la superficie sin accesibilidad en cada fase de obra para los dos pozos.

Tabla 8.24. Superficie considerada sin accesibilidad para los vehículos de emergencia (ancho libre de paso inferior a 3,10 metros).

Fase	Superficie considerada sin accesibilidad para los vehículos de emergencia (m ²)	
	Bruc	Enric Granados
1	2054	2786
2	10024	10174
3	4569	2786

Con los datos de la tabla 8.24, la densidad de población del ensanche y el número de salidas de vehículos de emergencia anuales por cada 100.000 habitantes indicado en el apartado 2.1 de vehículos de emergencia (12.354), se pueden calcular las respuestas al presente indicador de los dos pozos (ecuaciones 8.17 y 8.18).

$$I_B = 35556 \frac{\text{hab}}{\text{km}^2} \cdot \frac{1 \text{ km}^2}{10^6 \text{ m}^2} \cdot 12354 \frac{\text{salidas veh. emergencia}}{100000 \text{ hab} \cdot 365 \text{ días}} \cdot 5 \cdot (113 \text{ días} \cdot 2054 \text{ m}^2 + 270 \text{ días} \cdot 10024 \text{ m}^2 + 156 \text{ días} \cdot 4569 \text{ m}^2) = 219,7 \text{ salidas veh. emergencia} \quad (8.17)$$

$$I_{EG} = 35556 \frac{hab}{km^2} \cdot \frac{1 km^2}{10^6 m^2} \cdot 12354 \frac{salidas veh.emergencia}{100000 hab \cdot 365 días} \cdot 5 \cdot (160 días \cdot 2786 m^2 + 151 días \cdot 10174 m^2 + 210 días \cdot 2786 m^2) = 154,5 salidas veh.emergencia \quad (8.18)$$

Transporte colectivo

La afección al transporte colectivo en el entorno de los pozos de Bruc y Enric Granados se muestra en los planos del Anexo D. Las obras del pozo Bruc afectan a tres líneas de autobuses: 20, 45 y 47 y a algunas de sus paradas. No se conoce el número de personas que utilizan la línea ni las paradas, por lo tanto no se incluye este dato en el cálculo de la respuesta del indicador. La afección se produce durante toda la obra. En la tabla 8.25 se indican los datos necesarios para el cálculo de la respuesta del indicador para el pozo de Bruc.

Tabla 8.25. Datos de la afección al transporte colectivo en la ejecución del pozo de Bruc.

Línea de bus	Distancia de recorrido (m)		Distancia máxima entre paradas consecutivas (m)		Número de paradas	
	Sin obra	Con obra	Sin obra	Con obra	Sin obra	Con obra
20	662	662	$máx\{250, 259, 303, 300\} = 303$	$máx\{250, 862\} = 862$	4	2
45	662	662	$máx\{250, 259, 405\} = 405$	$máx\{250, 664\} = 664$	3	2
47	185	607	$máx\{259, 399\} = 399$	$máx\{401, 377\} = 401$	3	3

Las obras del pozo de Enric Granados únicamente afectan al recorrido de una línea de autobús, sin afectar a ninguna de sus paradas. En la tabla 8.26 se muestran las distancias de recorrido de la línea antes y durante la obra.

Tabla 8.26. Datos de la afección al transporte colectivo en la ejecución del pozo de Enric Granados.

Línea de autobús	Distancia de recorrido (m)	
	Sin obra	Con obra
31	270	536

En las ecuaciones 8.19 y 8.20 se realizan los cálculos de la respuesta del indicador de afección a transporte colectivo de cada pozo.

$$I_B = 539 días \left(\frac{662 m}{662 m} 662 m \cdot 1 + \frac{662 m}{662 m} 662 m \cdot 1 + \frac{607 m}{185 m} 607 m \cdot 1 + \frac{862 m}{303 m} 862 m \cdot \frac{4}{2} + \frac{664 m}{405 m} 664 m \cdot \frac{3}{2} + \frac{401 m}{399 m} 401 m \cdot \frac{3}{3} \right) \cdot 1 = 5,528 \cdot 10^6 m \cdot días \quad (8.19)$$

$$I_{EG} = 521 días \cdot \frac{536 m}{270 m} 536 m \cdot 1 \cdot 1 = 0,554 \cdot 10^6 m \cdot días \quad (8.20)$$

Transporte no colectivo

La afección al transporte no colectivo en el entorno de los pozos de Bruc y Enric Granados se muestra en los del Anexo D. En las tablas 8.27 y 8.28 se muestran los datos sobre la afección a los carriles necesarios para el cálculo del indicador en las ecuaciones 8.21 y 8.22.

Tabla 8.27. Número de carriles y longitudes del recorrido en situación sin obra y con obra en el pozo de Bruc.

Situación	Tramos del recorrido	Núm. de carriles del tramo	Longitud del tramo (m)
Recorrido sin obra	Bruc	2	34
	Provenza	1	166
	Total	1,17 (promedio ponderado)	200
Recorrido con obra	Diagonal	2	299
	Bailén	2	29
	Mallorca	3	402
	Roger de Llúria	3	133
	Total	2,6 (promedio ponderado)	863

Tabla 8.28. Número de carriles y longitudes del recorrido en situación sin obra y con obra en el pozo de Enric Granados.

Situación	Tramos del recorrido	Núm. de carriles del tramo	Longitud del tramo (m)
Recorrido sin obra	Enric Granados	1	132
	Provenza	2	137
	Total	1,5 (promedio ponderado)	269
Recorrido con obra	Roselló	2	133
	Balmes	3	267
	Mallorca	3	268
	Aribau	2	134
	Total	2,7 (promedio ponderado)	802

$$I_B = 539 \text{ días} \cdot \frac{863 \text{ m}}{200 \text{ m}} \cdot 863 \text{ m} \cdot 1 \cdot \frac{(2,6+1,17) \text{ carriles}}{2,6 \text{ carriles}} = 2,910 \cdot 10^6 \text{ m} \cdot \text{días} \quad (8.21)$$

$$I_{EG} = 521 \text{ días} \cdot \frac{802 \text{ m}}{269 \text{ m}} \cdot 802 \text{ m} \cdot 1 \cdot \frac{(1,5+2,7) \text{ carriles}}{2,7 \text{ carriles}} = 1,938 \cdot 10^6 \text{ m} \cdot \text{días} \quad (8.22)$$

Respecto a las plazas de estacionamiento, se han producido las afecciones que se muestran en las tablas 8.29 y 8.30 a los pozos de Bruc y Enric Granados respectivamente.

Tabla 8.29. Afecciones a plazas de estacionamiento en Bruc.

Tipo de plaza	Ubicación	Número de plazas	Tipo de afección
Convencional, en línea	2 líneas en Provenza (entre Bruc y Roger de Llúria)	23	Anulación
	1 línea en Bruc (entre Provenza y Mallorca)	8	Anulación
Taxis no asociada a servicio	Bruc (entre Provenza y Mallorca)	3	Traslado
Carga y descarga	Esquina Bruc-Mallorca	4	Traslado
Movilidad reducida	Esquina Bruc-Mallorca	2	Traslado

Tabla 8.30. Afecciones a plazas de estacionamiento en Enric Granados.

Tipo de plaza	Ubicación	Número de plazas	Tipo de afección
Convencional	Esquina Enric Granados - Provenza	3	Anulación
	2 líneas en Provenza (entre Enric Granados y Balmes)	24	Anulación
	Esquina Enric Granados - Balmes	3	Anulación
	2 líneas en Provenza (entre Enric Granados y Aribau)	23	Anulación
Carga y descarga	Esquina Enric Granados - Provenza	3	Traslado
	Esquina Enric Granados - Provenza	3	Anulación
	Esquina Enric Granados - Balmes	4	Anulación
Carga y descarga hotel	Esquina Enric Granados - Provenza	3	Traslado

En las ecuaciones 8.23 y 8.24 se realizan los cálculos de la respuesta del indicador de afección a plazas de estacionamiento de transporte no colectivo de cada pozo.

$$I_B = 539 \text{ días} (31 \text{ plazas} \cdot 2 \cdot 1 \cdot 1 + 3 \text{ plazas} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 + 4 \text{ plazas} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 5 + 2 \text{ plazas} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 10) = 56595 \text{ días} \cdot \text{plazas} \quad (8.23)$$

$$I_{EG} = 521 \text{ días} \cdot (53 \text{ plazas} \cdot 2 \cdot 1 \cdot 1 + 6 \text{ plazas} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 5 + 7 \text{ plazas} \cdot 2 \cdot 1 \cdot 5) = 107326 \text{ días} \cdot \text{plazas} \quad (8.24)$$

Bicicletas

Tanto las obras del pozo de Bruc como las de Enric Granados afectan al carril bici de la calle Provenza durante toda la obra como se puede ver en los planos del Anexo D.

El recorrido alternativo del carril bici afectado por el pozo de Bruc se puede realizar por Diagonal (carril bici) y Pau Clarís (sin carril bici) hasta volver a Provenza. Como un tramo del recorrido alternativo se realiza por carril bici y un tramo por calzada convencional, el coeficiente de peligrosidad se obtiene como media ponderada por las distancias de recorrido en cada tramo (tabla 8.31). El recorrido equivalente sin obra es de 320 metros.

Tabla 8.31. Distancias y coeficiente de peligrosidad del recorrido alternativo en bicicleta en Bruc.

Tramo	Distancia de recorrido (m)	Coefficiente de incremento de peligrosidad
Diagonal	298	1
Pau Clarís	185	5
Total	483	2,53 (ponderado)

El recorrido alternativo del carril bici afectado por el pozo de Enric Granados se puede realizar por la calle Balmes, Mallorca y Aribau, hasta volver a la calle Provenza. Este recorrido se realiza íntegramente por carriles convencionales. De esta forma, el recorrido que, sin la obra, sería de 270 m pasa a ser de 536 m.

En las ecuaciones 8.25 y 8.26 se calculan las respuestas del indicador de afección a carriles bici para los pozos de Bruc y Enric Granados respectivamente.

$$I_B = 539 \text{ días} \cdot \frac{483 \text{ m}}{320 \text{ m}} \cdot 483 \text{ m} \cdot 2,53 = 0,994 \cdot 10^6 \text{ días} \cdot \text{m} \quad (8.25)$$

$$I_{EG} = 521 \text{ días} \cdot \frac{536 \text{ m}}{270 \text{ m}} \cdot 536 \text{ m} \cdot 5 = 2,772 \cdot 10^6 \text{ días} \cdot \text{m} \quad (8.26)$$

Además de los carriles bici, la obra de Bruc anuló un estacionamiento de bicicletas de uso compartido con capacidad para 30 bicicletas durante toda la obra en la calle Bruc con Mallorca. En la ejecución del pozo de Enric Granados se anularon 4 elementos de estacionamiento público de bicicletas, con capacidad para estacionar un total de 8 bicicletas. En las ecuaciones 8.27 y 8.28 se calculan las respuestas al indicador de afección a plazas de estacionamiento de bicicletas.

$$I_B = 539 \text{ días} \cdot 30 \text{ plazas} \cdot 2 = 32340 \text{ días} \cdot \text{plazas} \quad (8.27)$$

$$I_{EG} = 521 \text{ días} \cdot 8 \text{ plazas} \cdot 2 = 8336 \text{ días} \cdot \text{plazas} \quad (8.28)$$

Peatones

Como se puede ver en los planos de la zona de ocupación del Anexo D, en la ejecución de ambos pozos se ocupa parte de la zona peatonal generando recorridos de mayor longitud y/o menor ancho de paso que en situación sin obra. Ambos pozos se encuentran en zonas con una densidad de peatones media. En los planos de ocupación de las obras en las distintas fases se han medido los datos necesarios para el cálculo del indicador (tablas 8.32 y 8.33 y ecuaciones 8.29 y 8.30).

Tabla 8.32. Anchos y distancias de recorrido peatonales en situación con y sin obra en las distintas fases del pozo de Bruc.

Fase	Recorrido	Tramo	Ancho sin obra (m)	Ancho con obra (m)	Distancia sin obra (m)	Distancia con obra (m)
1	1	1	5	2	14	14
		2	11 (promedio)	2	20	20
2	1	1	11 (promedio)	4	20	20
	2	1	6	3,4 (promedio)	49	78
3	1	1	4,6	2	9	9
	2	1	11 (promedio)	3	20	20
		2	1	5	5	10
3	1	1	6	2	43	71

Tabla 8.33. Anchos y distancias de recorrido peatonales en situación con y sin obra en las distintas fases del pozo de Enric Granados.

Fase	Recorrido	Tramo	Ancho sin obra (m)	Ancho con obra (m)	Distancia sin obra (m)	Distancia con obra (m)
1 y 3	1	1	5	3	20	20
	2	1	5	3	20	20
2	1	1	5	5	10	50
	2	1	5	3	20	20
	3	1	5	2,3	55	55

$$\begin{aligned}
 I_B &= 113 \text{ días} \cdot 1 \cdot \left(\frac{5 \text{ m}}{2 \text{ m}} \cdot 5 \text{ m} \cdot \frac{14 \text{ m}}{14 \text{ m}} \cdot 14 \text{ m} + \frac{11 \text{ m}}{2 \text{ m}} \cdot 11 \text{ m} \cdot \frac{20 \text{ m}}{20 \text{ m}} \cdot 20 \text{ m} \right) + 270 \text{ días} \cdot 1 \cdot \\
 &\left(\frac{11 \text{ m}}{4 \text{ m}} \cdot 11 \text{ m} \cdot \frac{20 \text{ m}}{20 \text{ m}} \cdot 20 \text{ m} + \frac{6 \text{ m}}{3,4 \text{ m}} \cdot 6 \text{ m} \cdot \frac{78 \text{ m}}{49 \text{ m}} \cdot 78 \text{ m} \right) + 156 \text{ días} \cdot 1 \cdot \left(\frac{4,6 \text{ m}}{2 \text{ m}} \cdot 4,6 \text{ m} \cdot \frac{9 \text{ m}}{9 \text{ m}} \cdot 9 \text{ m} + \right. \\
 &\left. \frac{11 \text{ m}}{3 \text{ m}} \cdot 11 \text{ m} \cdot \frac{20 \text{ m}}{20 \text{ m}} \cdot 20 \text{ m} + \frac{5 \text{ m}}{5 \text{ m}} \cdot 5 \text{ m} \cdot \frac{58 \text{ m}}{10 \text{ m}} \cdot 58 \text{ m} + \frac{6 \text{ m}}{2 \text{ m}} \cdot 6 \text{ m} \cdot \frac{71 \text{ m}}{43 \text{ m}} \cdot 71 \text{ m} \right) = \\
 &= 1,407 \cdot 10^6 \text{ días} \cdot \text{m}^2 \tag{8.29}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{EG} &= (160 + 210) \text{ días} \cdot 1 \cdot \left(\frac{5 \text{ m}}{3 \text{ m}} \cdot 5 \text{ m} \cdot \frac{20 \text{ m}}{20 \text{ m}} \cdot 20 \text{ m} + \frac{5 \text{ m}}{3 \text{ m}} \cdot 5 \text{ m} \cdot \frac{20 \text{ m}}{20 \text{ m}} \cdot 20 \text{ m} \right) + 151 \text{ días} \cdot 1 \cdot \\
 &\left(\frac{5 \text{ m}}{5 \text{ m}} \cdot 5 \text{ m} \cdot \frac{50 \text{ m}}{10 \text{ m}} \cdot 50 \text{ m} + \frac{5 \text{ m}}{3 \text{ m}} \cdot 5 \text{ m} \cdot \frac{20 \text{ m}}{20 \text{ m}} \cdot 20 \text{ m} + \frac{5 \text{ m}}{2,3 \text{ m}} \cdot 5 \text{ m} \cdot \frac{55 \text{ m}}{55 \text{ m}} \cdot 55 \text{ m} \right) = \\
 &= 0,428 \cdot 10^6 \text{ días} \cdot \text{m}^2 \tag{8.30}
 \end{aligned}$$

Tiempo sin la prestación del servicio de movilidad que se está construyendo

Es el tiempo desde el inicio de la obra hasta que ésta está terminada y puede comenzar a utilizarse (tabla 8.34).

Tabla 8.34. Respuestas del indicador de tiempo sin la prestación del servicio de movilidad que se está construyendo.

Tiempo sin la prestación del servicio de movilidad que se está construyendo (días)	
Bruc	Enric Granados
539	521

8.2.2. Cálculo del impacto global y análisis de resultados

En el apartado 4.3 del Capítulo 4 se definen dos formas de calcular el impacto: respecto a la alternativa más desfavorable de cada indicador o tomando una alternativa de referencia.

Las dos alternativas de la aplicación práctica cumplen los requisitos para poder ser utilizadas como alternativa de referencia ya que las dos generan los mismos tipos de impacto y por tanto se puede tomar como referencia cualquiera de ellas. Se elige como alternativa de referencia la alternativa de Bruc. También se ha calculado el impacto respecto a la envolvente más desfavorable en cada indicador. De esta forma se pueden comparar los resultados obtenidos mediante las dos formas de cálculo.

En la tabla 8.35 se muestran los resultados del cálculo del impacto global de la ejecución de cada uno de los pozos tomando como referencia el impacto del pozo de Bruc. Se incluyen los subcriterios relevantes para el caso de estudio, los pesos normalizados a suma cien y la respuesta de los indicadores y el impacto para cada pozo.

Tabla 8.35. Cálculo del impacto global de la ejecución de los pozos de Bruc y Enric Granados tomando como referencia para el cálculo el impacto de Bruc.

Subcriterio	Pesos globales normalizados (%)	Respuesta del indicador			Impacto		Impacto x Peso	
		Bruc	Enric Granados	Unidades	Bruc	EG	Bruc	EG
Impacto económico	19,4	9,379	9,739	M€	1,000	1,038	0,194	0,201
Riesgos laborales	20,8	10958,62	7604,36	h	1,000	0,694	0,208	0,144
Consumo de materiales	4,5	47807,09	49433,88	t	1,000	1,034	0,045	0,047
Consumo de energía	4,5	98209,28	64786,61	GJ	1,000	0,660	0,045	0,030
Emisión de gases de efecto invernadero	3,3	9731,40	8893,02	tCO ₂ e	1,000	0,914	0,033	0,030
Emisión de contaminantes a la atmosfera	4,9	834,05	336,42	kg	1,000	0,403	0,049	0,020
Generación de residuos no peligrosos	2,9	4397	7133	t	1,000	1,622	0,029	0,047
Generación de residuos tóxicos, contaminantes o peligrosos	6,2	11522,8	7155,9	l	1,000	0,621	0,062	0,039
Impacto ambiental							0,263	0,212

Servicios de suministro y evacuación a garantizar	2,4	29,2 ^a	120	102	h	1,000	0,083	0,024	0,002
		70,8 ^b	2225	128	días	1,000	0,058	-	-
Servicios públicos desplazables o prescindibles		1,0	24794	8336	días·elem.	1,000	0,336	0,010	0,003
Centros de alta sensibilidad		3,1	131204	473970	días·pers.	1,000	3,612	0,031	0,112
Contaminación acústica sobre residentes en viviendas		2,8	816,43	276,25	10 ⁶ h·pers.	1,000	0,338	0,028	0,009
Negocios		2,5	26148,5	29772	días	1,000	1,139	0,025	0,028
Espacios verdes		1,6	177620	78150	m ² ·días	1,000	0,440	0,016	0,007
Riesgo de afección al patrimonio		2,1	35,22	51,45	días	1,000	1,461	0,021	0,031
Vehículos de emergencia		5,3	219,7	154,5	salidas veh. emerg.	1,000	0,703	0,053	0,037
Transporte colectivo		3,8	5,528	0,554	10 ⁶ m·día	1,000	0,100	0,038	0,004
Transporte no colectivo	2,3	51,4 ^c	2,91	1,938	10 ⁶ m·día	1,000	0,666	0,023	0,029
		48,6 ^d	56595	107326	días·plazas	1,000	1,896	-	-
Bicicletas	1,9	72,9 ^c	0,994	2,772	10 ⁶ m·día	1,000	2,789	0,019	0,040
		27,1 ^d	32340	8336	días·plazas	1,000	0,258	-	-
Peatones		2,5	1,407	0,428	10 ⁶ días·m ²	1,000	0,304	0,025	0,008
Tiempo sin la prestación del servicio de movilidad que se está construyendo		2,2	539	521	días	1,000	0,967	0,022	0,021
Impacto social								0,335	0,332
IMPACTO GLOBAL								1,000	0,889

^a Peso del indicador de cortes previstos.

^b Peso del indicador de riesgo de cortes imprevistos.

^c Peso del indicador de afección a carriles.

^d Peso del indicador de afección a plazas de estacionamiento.

Del resultado obtenido se deduce que la ejecución del pozo de Enric Granados tiene menor impacto global que la ejecución del pozo de Bruc, con una diferencia de un 11,1% respecto al pozo de Bruc. Si se analizan los impactos por categorías se puede ver que la ejecución del pozo de Enric Granados genera un menor impacto ambiental, social y de riesgos laborales que Bruc y un mayor impacto económico. Por lo tanto se puede decir que, aunque el impacto económico de la ejecución del pozo de Enric Granados sea ligeramente mayor que el de Bruc, este impacto se ve compensado por un menor impacto en el resto de categorías y, por lo tanto, la ejecución de este pozo es social, ambiental y globalmente mejor.

En la tabla 8.36 se muestran los resultados del cálculo del impacto global de la ejecución de cada uno de los pozos tomando como referencia el impacto de la alternativa más desfavorable en cada indicador. Se incluyen los subcriterios relevantes para el caso de estudio, los pesos normalizados a suma cien y la respuesta de los indicadores y el impacto para cada pozo.

Tabla 8.36. Cálculo del impacto global de la ejecución de los pozos de Bruc y Enric Granados tomando como referencia para el cálculo del impacto la alternativa más desfavorable en cada indicador.

Subcriterio	Pesos globales normalizados (%)	Respuesta del indicador			Impacto		Impacto x Peso		
		Bruc	Enric Granados	Unidades	Bruc	EG	Bruc	EG	
Impacto económico	19,4	9,379	9,739	M€	0,963	1,000	0,187	0,194	
Riesgos laborales	20,8	10958,62	7604,36	h	1,000	0,694	0,208	0,144	
Consumo de materiales	4,5	47807,09	49433,88	t	0,967	1,000	0,044	0,045	
Consumo de energía	4,5	98209,28	64786,61	GJ	1,000	0,660	0,045	0,030	
Emisión de gases de efecto invernadero	3,3	9731,40	8893,02	tCO ₂ e	1,000	0,914	0,033	0,030	
Emisión de contaminantes a la atmosfera	4,9	834,05	336,42	kg	1,000	0,403	0,049	0,020	
Generación de residuos no peligrosos	2,9	4397	7133	t	0,616	1,000	0,018	0,029	
Generación de residuos tóxicos, contaminantes o peligrosos	6,2	11522,8	7155,9	l	1,000	0,621	0,062	0,039	
Impacto ambiental							0,250	0,192	
Servicios de suministro y evacuación a garantizar	2,4	29,2 ^a	120	10	h	1,000	0,083	0,024	0,002
		70,8 ^b	2225	128	días	1,000	0,058	-	-
Servicios públicos desplazables o prescindibles	1,0	24794	8336	días·elem.	1,000	0,336	0,010	0,003	
Centros de alta sensibilidad	3,1	131204	473970	días·pers.	0,277	1,000	0,009	0,031	
Contaminación acústica sobre residentes en viviendas	2,8	816,43	276,25	10 ⁶ h·pers.	1,000	0,338	0,028	0,009	
Negocios	2,5	26148,5	29772	días	0,878	1,000	0,022	0,025	
Espacios verdes	1,6	177620	78150	m ² ·días	1,000	0,440	0,016	0,007	
Riesgo de afección al patrimonio	2,1	35,22	51,45	días	0,685	1,000	0,014	0,021	
Vehículos de emergencia	5,3	219,7	154,5	salidas veh. emerg.	1,000	0,703	0,053	0,037	
Transporte colectivo	3,8	5,528	0,554	10 ⁶ m·día	1,000	0,100	0,038	0,004	
Transporte no colectivo	2,3	51,4 ^c	2,91	1,938	10 ⁶ m·día	1,000	0,666	0,018	0,019
		48,6 ^d	56595	107326	días·plazas	0,527	1,000	-	-
Bicicletas	1,9	72,9 ^c	0,994	2,772	10 ⁶ m·día	0,359	1,000	0,010	0,015
		27,1 ^d	32340	8336	días·plazas	1,000	0,258	-	-
Peatones	2,5	1,407	0,428	10 ⁶ días·m ²	1,000	0,304	0,025	0,008	
Tiempo sin la prestación del servicio de movilidad que se está construyendo	2,2	539	521	días	1,000	0,967	0,022	0,021	
Impacto social							0,289	0,203	

IMPACTO GLOBAL	0,934	0,733
-----------------------	--------------	--------------

- ^a Peso del indicador de cortes previstos.
- ^b Peso del indicador de riesgo de cortes imprevistos.
- ^c Peso del indicador de afección a carriles.
- ^d Peso del indicador de afección a plazas de estacionamiento.

Del resultado del cálculo se deduce que la alternativa de Bruc es más desfavorable respecto a los riesgos laborales, el impacto ambiental y el impacto social y también es más desfavorable globalmente. La priorización obtenida es la misma que en el cálculo anterior pero las proporciones entre alternativas son distintas porque cambian los valores de referencia. En este caso la diferencia de impactos entre el pozo de Bruc y Enric Granados es de un 21,5% respecto al pozo de Bruc. La diferencia entre alternativas es aproximadamente el doble que en el cálculo de la tabla 8.35.

8.3. CONCLUSIONES DE LAS APLICACIONES PRÁCTICAS

8.3.1. Conclusiones de los resultados del cálculo del impacto global de la ejecución de los pozos

La metodología ha resultado ser suficientemente flexible para adaptarse a la disponibilidad real de datos y al grado de detalle y profundidad de la evaluación deseados.

Como se deduce de las tablas 8.10 y 8.11, el mayor consumo de energía y emisión de gases de efecto invernadero se produce en la fabricación de materiales, seguido de la ejecución de la obra, con un orden de magnitud inferior, y del transporte de materiales, con dos órdenes de magnitud inferior a la fabricación.

Es posible que las cantidades de contaminantes atmosféricos emitidas en las distintas fases sigan un patrón similar a las emisiones de gases de efecto invernadero. Debido a la falta de información, únicamente se han podido obtener los datos de emisión de contaminantes en la fase de transporte de los materiales de construcción desde fábrica a obra. Pero si la emisión de contaminantes atmosféricos sigue el mismo comportamiento que el consumo de energía y que la emisión de gases de efecto invernadero, la alternativa más desfavorable lo es en todas las fases, con lo que los datos de una sola fase podrían ser representativos de todas las fases.

8.3.2. Mejoras introducidas en la metodología gracias a su aplicación práctica

La aplicación práctica de la metodología a dos obras reales ejecutadas recientemente ha permitido realizar varios ajustes y, por tanto, mejorar la metodología para que ésta se adapte mejor a la disponibilidad real de datos. Concretamente, se han ampliado las actividades consideradas en los riesgos laborales, se han ajustado algunos indicadores de impacto social y se ha definido la forma de normalizar los pesos a

suma cien cuando no todos los subcriterios del árbol se incluyen en la aplicación práctica.

La aplicación práctica de la metodología ha permitido detectar algunas actividades con riesgos laborales no incluidas previamente en la tabla 5.17. Estas actividades se han incorporado a la metodología y son las siguientes:

- Riesgo de quemaduras por corte oxiacetilénico y por uso de soplete para la adhesión de láminas asfálticas a su soporte mediante soplete. En ambos casos se ha considerado la misma probabilidad de ocurrencia y consecuencias que en el riesgo de quemadura por soldadura.
- Las anteriores actividades se han incorporado al riesgo de asfixia o intoxicaciones en espacios confinados con la misma probabilidad y consecuencias que en el caso de soldadura en espacios confinados.
- Se ha incorporado la siguiente maquinaria no pesada al riesgo de cortes, heridas y golpes: bandeja vibrante, cizalla eléctrica, equipo de corte con hilo de diamante, equipo para anclaje de pernos, máquina para doblar barras de acero, martillo manual perforador o rompedor neumático.
- Al riesgo de caída de personas a distinto nivel se han incorporado los trabajos desde plataforma elevadora articulada.

Una versión previa del indicador de afección a servicios públicos desplazables o prescindibles incluía la distancia a la que se desplaza el elemento funcional afectado, en caso de desplazarlo, o la distancia entre el elemento funcional anulado y el elemento funcional del mismo tipo más cercano, en caso de anularlo. En el caso de anulación del elemento funcional, la evaluación del indicador suponía realizar una inspección visual excesivamente exhaustiva de un área indeterminada en la zona alrededor de la obra. Además, podría darse el caso de que no existiera un elemento funcional del mismo tipo en los alrededores de la obra. Por ello se decidió no incluir la distancia en el indicador y sustituirla por un coeficiente que depende de si el elemento funcional se anula o se desplaza.

La aplicación del indicador de contaminación acústica en un entorno urbano densamente poblado ha mostrado la necesidad de definir una versión simplificada del mismo para entornos con un número elevado de viviendas donde la aplicación del indicador detallado se mostraba poco práctica e innecesaria. Para contabilizar el número de personas afectadas por el ruido generado en la obra mediante el indicador simplificado se multiplica la densidad de población de la zona por el área de la zona de influencia de la obra. El indicador detallado puede resultar adecuado para obras en entornos rurales con un número de viviendas limitado.

De forma análoga al indicador anterior, la aplicación de la metodología ha hecho patente la necesidad de definir una versión simplificada del indicador de afección a negocios en entornos con gran densidad de negocios. El indicador simplificado tiene en cuenta todos los negocios ubicados en la planta baja sin ponderar por su ocupación, es decir, sin ponderar por su superficie, incluyendo las terrazas y quioscos y considerando el tipo de afección. El indicador detallado puede aplicarse en zonas con pocos comercios o en los que se quiera obtener un indicador más preciso.

En el indicador de riesgo de afección al patrimonio se ha añadido un nuevo parámetro: la relación entre la profundidad de excavación y la distancia al elemento patrimonial ya que son datos fáciles de obtener y que se han considerado relevantes.

Una versión previa del indicador de afección a las plazas de estacionamiento del transporte no colectivo incluía la distancia entre las plazas de estacionamiento afectadas y las plazas de estacionamiento del mismo tipo más cercanas, en el caso de plazas anuladas, o la distancia de desplazamiento de las plazas, en el caso de plazas desplazadas. En el caso de plazas de estacionamiento convencionales diseminadas a lo largo de la calle anuladas por la obra, no tiene sentido incluir la distancia al estacionamiento más cercano, pues se desconoce la distancia que se tiene que recorrer hasta encontrar una plaza libre. Como consecuencia, se generaban dos indicadores distintos para la afección a las plazas de estacionamiento de transporte no colectivo, uno incluyendo la distancia y otro sin ella, lo que, sumado al indicador de afección a carriles de transporte no colectivo, daba un total de tres indicadores para un mismo subcriterio. En la aplicación de la metodología se constató la necesidad de simplificar estos indicadores y, de forma análoga al indicador de servicios públicos desplazables o prescindibles, se cambió la distancia por un coeficiente que depende de si las plazas se anulan o trasladan a otro lugar pudiéndose utilizar un solo indicador para la afección a las plazas de estacionamiento no colectivo.

La versión previa del indicador de afección a plazas de estacionamiento de bicicletas contenía la distancia entre el estacionamiento afectado por la obra y el estacionamiento de bicicletas más cercano. Análogamente al indicador anterior, se cambió dicho parámetro por un coeficiente que depende de si las plazas se anulan o trasladan a otro lugar.

En la aplicación práctica de la metodología se han hecho evidentes las dos posibles formas de normalizar los pesos cuando se elimina del árbol de impacto algún subcriterio no relevante y se ha optado por la forma de normalización que se considera más adecuada, como se explica en el apartado 4.4 del Capítulo 4.

Capítulo 9

Análisis de sensibilidad

9.1. INTRODUCCIÓN

Es conveniente realizar un análisis de sensibilidad de la metodología a la variación de los pesos. Mediante el análisis de sensibilidad se puede calcular la influencia de la variación del peso de una categoría, criterio o subcriterio en el impacto global de las alternativas o en su posición en la ordenación y es una indicación de la robustez de los resultados. Mareschal (1988) estudia la estabilidad de los resultados a la variación de los pesos y obtiene los intervalos de estabilidad para los pesos de criterios individuales o de conjuntos de criterios, es decir, el rango de posible variación de cada peso sin que la priorización final se altere.

9.2. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD E INTERVALOS DE ESTABILIDAD

El análisis de sensibilidad y el intervalo de estabilidad de los pesos se realizan utilizando los datos de la aplicación práctica en los pozos de Bruc y Enric Granados presentados en el capítulo anterior.

Se realiza el siguiente análisis de sensibilidad del resultado a la variación de los pesos de cada una de las cuatro categorías:

- Se disminuye el peso en un 15% en una de las categorías y los pesos del resto de categorías se recalculan manteniendo las proporciones entre sí, de forma que la suma de los pesos de las cuatro categorías sea 100.
- Se incrementa el peso en un 15% en una de las categorías y se procede de forma análoga.
- Se incrementa el peso en un 30% en una de las categorías y se procede de forma análoga.

Estos análisis de sensibilidad de las categorías de impacto económico, riesgos laborales, impacto ambiental e impacto social se muestran en las tablas 9.1 a 9.4. El análisis se realiza variando los pesos de las categorías y no de los criterios o subcriterios ya que estos últimos suelen tener una influencia mucho menor en el resultado.

Según Viñolas (2011), por la experiencia de los seminarios realizados con expertos, la diferencia de opinión respecto a los pesos de las categorías no acostumbra a variar más que en un rango de un 30%. En el caso de las asignaciones de pesos realizadas por los expertos para la presente metodología, la máxima diferencia entre asignación de pesos en las categorías es menor, de un 25% y la desviación típica máxima de los pesos asignados a las categorías es de 9,3. Los incrementos de pesos del análisis de sensibilidad, de hasta un 30%, recogen estas variaciones holgadamente y posibles variaciones superiores.

Además, se busca el intervalo de estabilidad de los pesos. Mediante la utilización de los pesos asignados por los expertos, el impacto global de Enric Granados es un 11,1% menor que el impacto de Bruc. Para encontrar el intervalo de estabilidad, hay que variar los pesos de forma controlada hasta que la priorización de las alternativas cambie. Para ello hay que revisar los resultados de la tabla 8.35.

Como el impacto económico de Enric Granados es mayor que el de Bruc, se incrementa el peso del impacto económico hasta que el impacto global de Enric Granados es igual o mayor que el de Bruc, con ello se obtiene el intervalo de estabilidad del peso de impacto económico (tabla 9.1).

Analizando la respuesta de los indicadores de los dos pozos dentro de impacto social (tabla 8.35), se puede ver que en algunos subcriterios Enric Granados tiene mayor impacto que Bruc: centros de alta sensibilidad, negocios, riesgo de afección al patrimonio, afección a los estacionamientos de transporte no colectivo y a los carriles de bicicletas. Sumando el impacto ya ponderado por los pesos de los subcriterios dentro del criterio de afección a servicios se puede ver que la afección a servicios de Enric Granados es mayor que la afección a servicios de Bruc (ecuaciones 9.1 y 9.2). Sin embargo, la afección a la movilidad en Enric Granados es menor que la de Bruc (ecuaciones 9.3 y 9.4).

$$I_{afecc. servicios Bruc} = 0,024 + 0,010 + 0,031 + 0,028 + 0,025 + 0,016 + 0,021 = 0,155 \quad (9.1)$$

$$I_{afecc. servicios E.Granados} = 0,002 + 0,003 + 0,112 + 0,009 + 0,028 + 0,007 + 0,031 = 0,192 \quad (9.2)$$

$$I_{afecc. movilidad Bruc} = 0,053 + 0,038 + 0,023 + 0,019 + 0,025 + 0,022 = 0,180 \quad (9.3)$$

$$I_{afecc. servicios E. Granados} = 0,037 + 0,004 + 0,029 + 0,040 + 0,008 + 0,021 = 0,139 \quad (9.4)$$

Por ello, para encontrar el intervalo de estabilidad de los pesos de impacto social y afección a servicios, en la tabla 9.5 se aumentan simultáneamente dichos pesos en intervalos del 15% hasta que la priorización de alternativas cambia.

Tabla 9.1. Análisis de sensibilidad del resultado (impacto global del pozo de Enric Granados tomando como referencia el impacto de Bruc) a la variación del peso de impacto económico e intervalo de estabilidad.

Subcriterio	Pesos globales normalizados con distintos incrementos del peso de impacto económico (%)						Peso x Impacto de Enric Granados para distintos incrementos del peso del impacto económico					
	-15	+0	+15	+30	+45 ^a	+60 ^a	-15	+0	+15	+30	+45 ^a	+60 ^a
Impacto económico	4,4	19,4	34,4	49,4	64,4	79,4	0,046	0,201	0,357	0,513	0,669	0,824
Riesgos laborales	24,7	20,8	16,9	13,1	9,2	5,3	0,171	0,144	0,117	0,091	0,064	0,037
Consumo de materiales	5,3	4,5	3,6	2,8	2	1,1	0,055	0,047	0,037	0,029	0,021	0,011
Consumo de energía	5,4	4,5	3,7	2,8	2	1,2	0,036	0,030	0,024	0,018	0,013	0,008
Emisión de gases de efecto invernadero	3,9	3,3	2,7	2,1	1,5	0,9	0,036	0,030	0,025	0,019	0,014	0,008
Emisión de contaminantes a la atmosfera	5,8	4,9	4,0	3,1	2,1	1,2	0,023	0,020	0,016	0,013	0,008	0,005
Generación de residuos no peligrosos	3,4	2,9	2,3	1,8	1,3	0,7	0,055	0,047	0,037	0,029	0,021	0,011
Generación de residuos tóxicos, contaminantes o peligrosos	7,4	6,2	5,1	3,9	2,8	1,6	0,046	0,039	0,032	0,024	0,017	0,010
Impacto ambiental	31,2	26,3	21,4	16,5	11,7	6,7	0,251	0,212	0,171	0,133	0,095	0,054
Servicios de suministro y evacuación a garantizar	29,2 ^b	2,9	2,4	2,0	1,5	1,1	0,6	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001
	70,8 ^c											
Servicios públicos desplazables o prescindibles	1,2	1,0	0,8	0,6	0,5	0,3	0,004	0,003	0,003	0,002	0,002	0,001
Centros de alta sensibilidad	3,6	3,1	2,5	1,9	1,3	0,8	0,130	0,112	0,090	0,069	0,047	0,029
Contaminación acústica sobre residentes en viviendas	3,3	2,8	2,3	1,8	1,2	0,7	0,011	0,009	0,008	0,006	0,004	0,002
Negocios	2,9	2,5	2,0	1,5	1,1	0,6	0,033	0,028	0,023	0,017	0,013	0,007
Espacios verdes	1,8	1,6	1,3	1,0	0,7	0,4	0,008	0,007	0,006	0,004	0,003	0,002
Riesgo de afección al patrimonio	2,5	2,1	1,7	1,3	0,9	0,5	0,037	0,031	0,025	0,019	0,013	0,007
Vehículos de emergencia	6,3	5,3	4,3	3,3	2,3	1,4	0,044	0,037	0,030	0,023	0,016	0,010
Transporte colectivo	4,5	3,8	3,1	2,4	1,7	1,0	0,005	0,004	0,003	0,002	0,002	0,001
Transporte no colectivo	51,4 ^d	2,8	2,3	1,9	1,5	1,0	0,6	0,035	0,029	0,024	0,019	0,013
	48,6 ^e											
Bicicletas	72,9 ^d	2,3	1,9	1,6	1,2	0,8	0,5	0,048	0,040	0,034	0,025	0,017
	27,1 ^e											
Peatones	3	2,5	2,0	1,6	1,1	0,6	0,009	0,008	0,006	0,005	0,003	0,002
Tiempo sin la prestación del servicio de movilidad que se está construyendo	2,6	2,2	1,8	1,4	1,0	0,6	0,025	0,021	0,017	0,014	0,010	0,006
Impacto social	39,7	33,5	27,3	21,0	14,7	8,6	0,391	0,332	0,270	0,206	0,143	0,085
IMPACTO GLOBAL							0,859	0,889	0,916	0,943	0,970	1,000

- a Casos incluidos para determinar el intervalo de estabilidad de los pesos, es decir, para llegar a un cambio de priorización entre las alternativas.
- b Peso del indicador de cortes previstos.
- c Peso de indicador de riesgo de cortes imprevistos.
- d Peso del indicador de afección a carriles.
- e Peso del indicador de afección a plazas de estacionamiento.

Para que el impacto global de Enric Granados sea igual al impacto de Bruc, es decir, para que su diferencia de impactos pase de 11,1% a 0%, se ha incrementado el peso del impacto económico en un 60%. De ello se deduce que el límite superior del intervalo de estabilidad del peso del impacto económico es de $79,4\% = 19,4\%$ (peso inicial del impacto económico) + 60% (incremento de peso para que las alternativas se igualen).

Tabla 9.2. Análisis de sensibilidad del resultado (impacto global del pozo de Enric Granados tomando como referencia el impacto de Bruc) a la variación del peso de riesgos laborales.

Subcriterio	Pesos globales normalizados con distintos incrementos del peso de riesgos laborales (%)				Peso x Impacto de Enric Granados para los distintos incrementos del peso de riesgos laborales				
	-15	+0	+15	+30	-15	+0	+15	+30	
Impacto económico	23,1	19,4	15,7	12,1	0,240	0,201	0,163	0,126	
Riesgos laborales	5,8	20,8	35,8	50,8	0,040	0,144	0,248	0,353	
Consumo de materiales	5,3	4,5	3,6	2,8	0,055	0,047	0,037	0,029	
Consumo de energía	5,4	4,5	3,7	2,8	0,036	0,030	0,024	0,018	
Emisión de gases de efecto invernadero	3,9	3,3	2,7	2,1	0,036	0,030	0,025	0,019	
Emisión de contaminantes a la atmosfera	5,8	4,9	3,9	3,0	0,023	0,020	0,016	0,012	
Generación de residuos no peligrosos	3,4	2,9	2,3	1,8	0,055	0,047	0,037	0,029	
Generación de residuos tóxicos, contaminantes o peligrosos	7,4	6,2	5,1	3,9	0,046	0,039	0,032	0,024	
Impacto ambiental	31,2	26,3	21,3	16,4	0,251	0,212	0,171	0,132	
Servicios de suministro y evacuación a garantizar	29,2 ^a	2,9	2,4	2,0	1,5	0,002	0,002	0,001	0,001
	70,8 ^b								
Servicios públicos desplazables o prescindibles	1,2	1,0	0,8	0,6	0,004	0,003	0,003	0,002	
Centros de alta sensibilidad	3,6	3,1	2,5	1,9	0,130	0,112	0,090	0,069	
Contaminación acústica sobre residentes en viviendas	3,3	2,8	2,3	1,7	0,011	0,009	0,008	0,006	
Negocios	2,9	2,5	2,0	1,5	0,033	0,028	0,023	0,017	
Espacios verdes	1,9	1,6	1,3	1,0	0,008	0,007	0,006	0,004	
Riesgo de afección al patrimonio	2,5	2,1	1,7	1,3	0,037	0,031	0,025	0,019	
Vehículos de emergencia	6,3	5,3	4,3	3,3	0,044	0,037	0,030	0,023	

Transporte colectivo		4,5	3,8	3,1	2,3	0,005	0,004	0,003	0,002
Transporte no colectivo	51,4 ^c	2,8	2,3	1,9	1,4	0,035	0,029	0,024	0,018
	48,6 ^d								
Bicicletas	72,9 ^c	2,3	1,9	1,5	1,2	0,048	0,040	0,032	0,025
	27,1 ^d								
Peatones		3,0	2,5	2,0	1,6	0,009	0,008	0,006	0,005
Tiempo sin la prestación del servicio de movilidad que se está construyendo		2,7	2,2	1,8	1,4	0,026	0,021	0,017	0,014
Impacto social		39,9	33,5	27,2	20,7	0,393	0,332	0,268	0,205
IMPACTO GLOBAL						0,924	0,889	0,850	0,815

^a Peso del indicador de cortes previstos.

^b Peso de indicador de riesgo de cortes imprevistos.

^c Peso del indicador de afección a carriles.

^d Peso del indicador de afección a plazas de estacionamiento.

Tabla 9.3. Análisis de sensibilidad del resultado (impacto global del pozo de Enric Granados tomando como referencia el impacto de Bruc) a la variación del peso del impacto ambiental.

Subcriterio	Pesos globales normalizados con distintos incrementos del peso de impacto ambiental (%)				Peso x Impacto de Enric Granados para los distintos incrementos del peso de impacto ambiental				
	-15	+0	+15	+30	-15	+0	+15	+30	
Impacto económico	23,4	19,4	15,4	11,5	0,243	0,201	0,160	0,119	
Riesgos laborales	25	20,8	16,6	12,3	0,173	0,144	0,115	0,085	
Consumo de materiales	1,9	4,5	7	9,6	0,020	0,047	0,072	0,099	
Consumo de energía	2	4,5	7,1	9,7	0,013	0,030	0,047	0,064	
Emisión de gases de efecto invernadero	1,4	3,3	5,2	7,1	0,013	0,030	0,048	0,065	
Emisión de contaminantes a la atmosfera	2,1	4,9	7,6	10,4	0,008	0,020	0,031	0,042	
Generación de residuos no peligrosos	1,2	2,9	4,5	6,2	0,019	0,047	0,073	0,101	
Generación de residuos tóxicos, contaminantes o peligrosos	2,7	6,2	9,8	13,4	0,017	0,039	0,061	0,083	
Impacto ambiental	11,3	26,3	41,2	56,4	0,090	0,212	0,331	0,454	
Servicios de suministro y evacuación a garantizar	29,2 ^a	2,9	2,4	1,9	1,4	0,002	0,002	0,001	0,001
	70,8 ^b								
Servicios públicos desplazables o prescindibles	1,2	1,0	0,8	0,6	0,004	0,003	0,003	0,002	
Centros de alta sensibilidad	3,7	3,1	2,4	1,8	0,134	0,112	0,087	0,065	
Contaminación acústica sobre residentes en viviendas	3,4	2,8	2,3	1,7	0,012	0,009	0,008	0,006	
Negocios	3,0	2,5	2,0	1,5	0,034	0,028	0,023	0,017	
Espacios verdes	1,9	1,6	1,3	0,9	0,008	0,007	0,006	0,004	

Riesgo de afección al patrimonio		2,5	2,1	1,7	1,2	0,037	0,031	0,025	0,018
Vehículos de emergencia		6,4	5,3	4,2	3,2	0,045	0,037	0,030	0,023
Transporte colectivo		4,5	3,8	3,0	2,2	0,005	0,004	0,003	0,002
Transporte no colectivo	51,4 ^c	2,8	2,3	1,9	1,4	0,035	0,029	0,024	0,018
	48,6 ^d								
Bicicletas	72,9 ^c	2,3	1,9	1,5	1,1	0,048	0,040	0,032	0,023
	27,1 ^d								
Peatones		3	2,5	2,0	1,5	0,009	0,008	0,006	0,005
Tiempo sin la prestación del servicio de movilidad que se está construyendo		2,7	2,2	1,8	1,3	0,026	0,021	0,017	0,013
Impacto social		40,3	33,5	26,8	19,8	0,399	0,332	0,263	0,195
IMPACTO GLOBAL						0,905	0,889	0,870	0,854

^a Peso del indicador de cortes previstos.

^b Peso de indicador de riesgo de cortes imprevistos.

^c Peso del indicador de afección a carriles.

^d Peso del indicador de afección a plazas de estacionamiento.

Tabla 9.4. Análisis de sensibilidad del resultado (impacto global del pozo de Enric Granados tomando como referencia el impacto de Bruc) a la variación del peso del impacto social.

Subcriterio	Pesos globales normalizados con distintos incrementos del peso de impacto social (%)					Peso x Impacto de Enric Granados para los distintos incrementos del peso de impacto social					
	-15	+0	+15	+30	+45 ^a	-15	+0	+15	+30	+45 ^a	
Impacto económico	23,8	19,4	15	10,7	6,3	0,247	0,201	0,156	0,111	0,065	
Riesgos laborales	25,5	20,8	16,1	11,4	6,7	0,177	0,144	0,112	0,079	0,046	
Consumo de materiales	5,5	4,5	3,5	2,4	1,4	0,057	0,047	0,036	0,025	0,014	
Consumo de energía	5,5	4,5	3,5	2,5	1,5	0,036	0,030	0,023	0,016	0,010	
Emisión de gases de efecto invernadero	4,1	3,3	2,6	1,8	1,1	0,037	0,030	0,024	0,016	0,010	
Emisión de contaminantes a la atmosfera	5,9	4,9	3,8	2,7	1,6	0,024	0,020	0,015	0,011	0,006	
Generación de residuos no peligrosos	3,5	2,9	2,2	1,6	0,9	0,057	0,047	0,036	0,026	0,015	
Generación de residuos tóxicos, contaminantes o peligrosos	7,6	6,2	4,8	3,4	2	0,047	0,039	0,030	0,021	0,012	
Impacto ambiental	32,1	26,3	20,4	14,4	8,5	0,258	0,212	0,164	0,116	0,068	
Servicios de suministro y evacuación a garantizar	29,2 ^b	1,3	2,4	3,5	4,6	5,7	0,001	0,002	0,002	0,003	0,004
	70,8 ^c										
Servicios públicos desplazables o prescindibles	0,6	1,0	1,5	2,0	2,4	0,002	0,003	0,005	0,007	0,008	
Centros de alta sensibilidad	1,7	3,1	4,4	5,8	7,2	0,061	0,112	0,159	0,210	0,260	
Contaminación acústica sobre residentes en viviendas	1,6	2,8	4,1	5,3	6,6	0,005	0,009	0,014	0,018	0,022	

Negocios	1,4	2,5	3,5	4,6	5,7	0,016	0,028	0,040	0,052	0,065	
Espacios verdes	0,9	1,6	2,3	3	3,7	0,004	0,007	0,010	0,013	0,016	
Riesgo de afección al patrimonio	1,1	2,1	3	4	4,9	0,016	0,031	0,044	0,058	0,072	
Vehículos de emergencia	2,9	5,3	7,7	10	12,4	0,020	0,037	0,054	0,070	0,087	
Transporte colectivo	2,1	3,8	5,5	7,2	8,8	0,002	0,004	0,006	0,007	0,009	
Transporte no colectivo	51,4 ^d	1,3	2,3	3,4	4,4	5,5	0,016	0,029	0,043	0,056	0,070
	48,6 ^e										
Bicicletas	72,9 ^d	1,1	1,9	2,8	3,6	4,5	0,023	0,040	0,059	0,076	0,095
	27,1 ^e										
Peatones	1,4	2,5	3,6	4,8	5,9	0,004	0,008	0,011	0,015	0,018	
Tiempo sin la prestación del servicio de movilidad que se está construyendo	1,2	2,2	3,2	4,2	5,2	0,012	0,021	0,031	0,041	0,050	
Impacto social	18,6	33,5	48,5	63,5	78,5	0,184	0,332	0,477	0,625	0,775	
IMPACTO GLOBAL						0,866	0,889	0,909	0,931	0,955	

^a Casos incluidos para determinar el intervalo de estabilidad de los pesos, es decir, para llegar a un cambio de priorización entre las alternativas.

^b Peso del indicador de cortes previstos.

^c Peso de indicador de riesgo de cortes imprevistos.

^d Peso del indicador de afección a carriles.

^e Peso del indicador de afección a plazas de estacionamiento.

Tabla 9.5. Determinación del intervalo de confianza de los pesos de impacto social y afección a servicios.

Subcriterio	Pesos globales normalizados con diversos incrementos de los pesos de impacto social y afección a servicios (%)			Peso x Impacto de Enric Granados con diversos incrementos de los pesos de impacto social y afección a servicios			
	+0	+15	+30	+0	+15	+30	
Impacto económico	19,4	15,0	10,7	0,201	0,156	0,111	
Riesgos laborales	20,8	16,1	11,4	0,144	0,112	0,079	
Consumo de materiales	4,5	3,5	2,4	0,047	0,036	0,025	
Consumo de energía	4,5	3,5	2,5	0,030	0,023	0,016	
Emisión de gases de efecto invernadero	3,3	2,6	1,8	0,030	0,024	0,016	
Emisión de contaminantes a la atmosfera	4,9	3,8	2,7	0,020	0,015	0,011	
Generación de residuos no peligrosos	2,9	2,2	1,6	0,047	0,036	0,026	
Generación de residuos tóxicos, contaminantes o peligrosos	6,2	4,9	3,4	0,039	0,030	0,021	
Impacto ambiental	26,3	20,5	14,4	0,212	0,164	0,116	
Servicios de suministro y evacuación a garantizar	29,2 ^a	2,4	4,6	7,6	0,002	0,003	0,005
	70,8 ^b						
Servicios públicos desplazables o prescindibles	1,0	2,0	3,2	0,003	0,007	0,011	

Centros de alta sensibilidad		3,1	5,9	9,6	0,112	0,213	0,347
Contaminación acústica sobre residentes en viviendas		2,8	5,4	8,8	0,009	0,018	0,030
Negocios		2,5	4,7	7,7	0,028	0,054	0,088
Espacios verdes		1,6	3,0	4,9	0,007	0,013	0,022
Riesgo de afección al patrimonio		2,1	4,0	6,5	0,031	0,058	0,095
Vehículos de emergencia		5,3	5,5	4,4	0,037	0,039	0,031
Transporte colectivo		3,8	4,0	3,2	0,004	0,004	0,003
Transporte no colectivo	51,4 ^c						
	48,6 ^d	2,3	2,4	2,0	0,029	0,030	0,025
Bicicletas	72,9 ^c						
	27,1 ^d	1,9	2,0	1,6	0,040	0,042	0,034
Peatones		2,5	2,6	2,1	0,008	0,008	0,006
Tiempo sin la prestación del servicio de movilidad que se está construyendo		2,2	2,3	1,9	0,021	0,022	0,018
Impacto social		33,5	48,4	63,5	0,332	0,511	0,714
IMPACTO GLOBAL					0,889	0,943	1,020

^a Peso del indicador de cortes previstos.

^b Peso de indicador de riesgo de cortes imprevistos.

^c Peso del indicador de afección a carriles.

^d Peso del indicador de afección a plazas de estacionamiento.

Para que el impacto global de Enric Granados sea aproximadamente igual al impacto de Bruc, es decir, para que su diferencia de impactos pase de 11,1% a -2% se ha incrementado el peso local del impacto social en un 30% y el peso local de la afección a servicios en un 30%. De ello se deduce que el límite superior del intervalo de estabilidad del peso de impacto social es de 63,5% = 33,5% (peso inicial de impacto social) + 30% (incremento de peso para que el impacto de las alternativas se iguale) cuando el peso local de afección a servicios es de 76,1% = 46,1% (peso inicial de afección a servicios) + 30% (incremento de peso para que el impacto de las alternativas se iguale).

Como se puede ver en la tabla 9.6, del análisis de sensibilidad se deduce que la variación del impacto global es, en valor absoluto, de 0,11 a 0,26 veces la variación del peso de la categoría; es decir, la variación de los pesos genera una variación mucho menor en el resultado de impacto global. Por ello y aunque los impactos de las dos alternativas son bastante similares (11,1% de diferencia), hay que variar notablemente los pesos para producir un cambio en la priorización de alternativas. Se puede decir que los resultados son muy estables a la variación de los pesos.

Tabla 9.6. Análisis de los resultados del análisis de sensibilidad y del intervalo de estabilidad de los pesos.

Categoría o criterio cuyo peso se ha variado	Variación del peso (%)	Impacto global Enric Granados	Variación del impacto global de Enric Granados (%)	Ratio: variación del impacto global / variación del peso
Ninguno	0	0,889	0	0
Impacto económico	-15	0,859	-3,0	0,20
	+15	0,916	+2,7	0,18
	+30	0,943	+5,4	0,18
	+45 ^a	0,970	+8,1	0,18
	+60 ^a	1,000	+11,1	0,185
Riesgos laborales	-15	0,924	+3,5	-0,23
	+15	0,850	-3,9	-0,26
	+30	0,815	-7,4	-0,25
Impacto ambiental	-15	0,905	+1,6	-0,11
	+15	0,870	-1,9	-0,13
	+30	0,854	-3,5	-0,12
Impacto social	-15	0,866	-2,3	0,15
	+15	0,909	+2,0	0,13
	+30	0,931	+4,2	0,14
	+45 ^a	0,955	+6,6	0,15
Impacto social y afección a servicios	+15 cada uno de ellos ^a	0,943	+5,4	-
	+30 cada uno de ellos ^a	1,020	+13,3	-

^a Casos incluidos para determinar el intervalo de estabilidad de los pesos, es decir, para llegar a un cambio de priorización entre las alternativas.

9.3. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD UTILIZANDO LOS CONJUNTOS DE PESOS ASIGNADOS POR LOS EXPERTOS

El análisis de sensibilidad del apartado anterior se ha realizado incrementando o disminuyendo el peso de una categoría y manteniendo las proporciones de los pesos del resto de categorías, de modo que los pesos de todas las categorías sumen cien. Sin embargo, las asignaciones de pesos realizadas por expertos pueden diferir no sólo en el peso de las categorías sino también en el peso de los criterios y subcriterios. Por ello se realiza un análisis de sensibilidad adicional utilizando los distintos conjuntos de pesos asignados por los expertos.

Los pesos orientativos indicados en las tablas 4.1 a 4.3 se calcularon como el promedio de los pesos asignados por 7 expertos (dos expertos asignaron los pesos conjuntamente, con lo que se dispone de 6 conjuntos de pesos). En la tabla 9.7 se calcula el impacto global de la construcción del pozo de Enric Granados utilizando los 6 conjuntos de pesos y se analiza como varía el resultado. El cálculo se realiza

tomando como referencia el impacto del pozo de Bruc, que adopta el valor de la unidad.

Tabla 9.7. Impacto del pozo de Enric Granados calculado con 6 conjuntos de pesos distintos asignados por los expertos y tomando como impacto de referencia de valor 1 el pozo de Bruc.

Subcriterio	Pesos globales normalizados (%)						Peso x impacto de Enric Granados						
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	
Impacto económico	15,2	35,7	14,3	21,4	10,0	20,0	0,158	0,371	0,148	0,222	0,104	0,208	
Riesgos laborales	30,3	14,3	14,3	35,7	20,0	10,0	0,210	0,099	0,099	0,248	0,139	0,069	
Consumo de materiales	3,3	4,1	6,4	2,4	3,3	6,7	0,034	0,042	0,066	0,025	0,034	0,069	
Consumo de energía	3,3	4,1	3,2	3,6	10,0	3,3	0,022	0,027	0,021	0,024	0,066	0,022	
Emisión de gases de efecto invernadero	2,8	3,1	2,1	2,8	5,3	3,1	0,026	0,028	0,019	0,026	0,048	0,028	
Emisión de contaminantes a la atmosfera	3,4	3,9	6,3	3,2	8,0	4,6	0,014	0,016	0,025	0,013	0,032	0,019	
Generación de residuos no peligrosos	2,1	1,6	4,2	2,0	2,7	4,6	0,034	0,026	0,068	0,032	0,044	0,075	
Generación de residuos tóxicos, contaminantes o peligrosos	4,8	4,7	6,3	4,0	10,6	7,7	0,030	0,029	0,039	0,025	0,066	0,048	
Impacto ambiental	19,7	21,5	28,5	18,0	39,9	30,0	0,159	0,169	0,239	0,144	0,290	0,260	
Servicios de suministro y evacuación a garantizar	29,2 ^a	1,9	2,2	2,1	2,6	0,7	6,0	0,001	0,001	0,001	0,002	0,000	0,004
	70,8 ^b												
Servicios públicos desplazables o prescindibles	0,6	0,6	1,4	1,4	0,7	1,5	0,002	0,002	0,005	0,005	0,002	0,005	
Centros de alta sensibilidad	2,2	2,5	4,2	2,9	2,0	4,5	0,079	0,090	0,152	0,105	0,072	0,163	
Contaminación acústica sobre residentes en viviendas	2,0	1,9	4,1	2,3	2,7	3,0	0,007	0,006	0,014	0,008	0,009	0,010	
Negocios	1,4	1,9	4,1	2,1	2,0	3,0	0,016	0,022	0,047	0,024	0,023	0,034	
Espacios verdes	0,8	1,3	1,4	1,6	1,3	3,0	0,004	0,006	0,006	0,007	0,006	0,013	
Riesgo de afección al patrimonio	1,1	2,2	4,1	2,0	0,7	3,0	0,016	0,032	0,060	0,029	0,010	0,044	
Vehículos de emergencia	8,4	5,5	5,7	2,2	6,2	4,4	0,059	0,039	0,040	0,015	0,044	0,031	
Transporte colectivo	5,1	3,3	4,3	1,9	4,6	3,5	0,005	0,003	0,004	0,002	0,005	0,004	

Transporte no colectivo	51,4 ^c	2,4	1,6	2,9	1,2	3,1	2,7	0,030	0,020	0,037	0,015	0,039	0,034
	48,6 ^d												
Bicicletas	72,9 ^c	1,7	1,1	2,9	1,8	1,5	1,8	0,036	0,023	0,061	0,038	0,032	0,038
	27,1 ^d												
Peatones		3,0	1,1	4,3	1,8	3,1	1,8	0,009	0,003	0,013	0,005	0,009	0,005
Tiempo sin la prestación del servicio de movilidad que se está construyendo		4,2	3,3	1,4	1,1	1,5	1,8	0,041	0,032	0,014	0,011	0,014	0,017
Impacto social		34,8	28,5	42,9	24,9	30,1	40,0	0,305	0,280	0,453	0,266	0,266	0,402
IMPACTO GLOBAL								0,832	0,919	0,940	0,880	0,799	0,940

^a Peso del indicador de cortes previstos.

^b Peso de indicador de riesgo de cortes imprevistos.

^c Peso del indicador de afección a carriles.

^d Peso del indicador de afección a plazas de estacionamiento.

Por categorías, Enric Granados tiene mayor impacto económico, menos riesgos laborales y menor impacto ambiental que Bruc para todos los conjuntos de pesos. En cuanto a impacto social, Enric Granados tiene menor impacto que Bruc con el conjunto de pesos 1, 2 y 5 y mayor impacto que Bruc para el resto de conjuntos de pesos. Esta variación es debida a la variación en la asignación de pesos a los criterios y subcriterios dentro de la categoría de impacto social. Ello no es relevante para el resultado final, ya que, para todos los conjuntos de pesos, el impacto global de Enric Granados es menor que el impacto global del pozo de Bruc, de valor la unidad.

Por lo tanto, incluso con múltiples variaciones en los pesos de las categorías, criterios y subcriterios, la priorización de alternativas continua siendo la misma y la máxima variación del resultado de impacto global de Enric Granados se limita a un 10% respecto al impacto global de Enric Granados calculado con los pesos promedios.

Capítulo 10

Conclusiones y futuras líneas de investigación

En el presente capítulo se incluyen, primeramente, las conclusiones y futuras líneas de investigación por ámbitos: multicriterio, riesgos laborales, impacto ambiental e impacto social y, finalmente, las conclusiones y futuras líneas de investigación globales de la metodología y la tesis.

Para el desarrollo de la metodología se han entrevistado y/o han facilitado algún tipo de información más de 30 expertos profesionales en diversos ámbitos, se han consultado más de 150 legislaciones sobre prevención de riesgos laborales, impacto ambiental e impacto social y más de 240 publicaciones entre guías técnicas, notas técnicas, artículos científicos, libros, etc., lo que hace un total de unas 400 consultas bibliográficas.

10.1. CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN POR ÁMBITOS

10.1.1. Métodos de ayuda a la decisión multicriterio y su aplicación en la metodología de la tesis

Conclusiones

Del estudio de las teorías de decisión multicriterio se llega a la conclusión de que la teoría más adecuada para desarrollar la metodología de la tesis es la teoría de utilidad multiatributo ya que, además de ser comprensible intuitivamente, tiene un fundamento teórico sólido. Esta teoría se basa en la existencia de una función utilidad o valor que representa la utilidad, valor o satisfacción que cada alternativa tiene para el decisor. La función integra los distintos criterios, generalmente en conflicto, reduciendo el problema multicriterio a un problema de optimización monocriterio.

Debido a que todos los indicadores son crecientes con el impacto se decide utilizar funciones impacto en lugar de funciones valor. Para transformar las unidades de medida de los distintos indicadores en unidades de impacto, se utilizan funciones impacto lineales crecientes que pasan por el origen de coordenadas. Se toma como impacto de valor la unidad, el máximo impacto de entre todas las alternativas o, si las condiciones permiten tomar una alternativa como referencia, el impacto de la alternativa de referencia.

Del estudio teórico de los métodos de asignación de pesos se concluye que los métodos más adecuados para su aplicación en la metodología son: el método de asignación directa, los métodos de comparación a partir de una sola referencia (el método de las proporciones y el método de tasación simple) y el método de comparación por pares. De la aplicación práctica de estos métodos en una primera ronda de entrevistas se seleccionan como más adecuados el método de asignación directa y el método de tasación simple. Este último método es el utilizado finalmente para la asignación de pesos de la metodología en una segunda ronda de entrevistas a expertos.

De entre los métodos de agregación de preferencias estudiados, se elige la suma ponderada, por ser un método intuitivo, rápido y simple de aplicar y porque no presenta algunas de las desventajas que sí presentan otros métodos.

De la asignación de pesos realizada se deduce que en un entorno urbano y periurbano, se prefiere mejorar el impacto ambiental y social, aunque ello suponga un incremento del coste, siempre que este incremento sea moderado. En la ciudad es más importante el impacto social que el impacto ambiental, al contrario que en un entorno rural. La importancia del impacto social va disminuyendo a medida que el entorno es menos urbano. La generación de residuos y emisión de contaminantes se considera más importante en un entorno urbano que en un entorno rural, dónde adquiere más importancia la afectación a entornos sensibles.

10.1.2. Riesgos laborales

Conclusiones

La metodología desarrollada en la tesis permite calcular un índice de riesgo laboral que es independiente del resto de alternativas y que depende únicamente de las actividades llevadas a cabo en la construcción de una obra. El índice mide los riesgos laborales potenciales en la construcción de la obra, permite detectar cuáles son las actividades con un grado de peligrosidad mayor y rediseñar la obra para disminuir la peligrosidad. También permite comparar el grado de peligrosidad entre distintos procedimientos constructivos y realizar un seguimiento de la peligrosidad de la obra que se está ejecutando en comparación con la obra definida en proyecto.

Futuras líneas de investigación

Los riesgos estructurales o riesgos macro, entendidos como los riesgos laborales debidos al colapso de algún elemento auxiliar de la construcción o de la propia estructura que se está construyendo, están poco documentados en la literatura sobre prevención de riesgos laborales. Sin embargo, de producirse un accidente de este tipo, la consecuencia más probable serían varias muertes. Por ello, se propone como futuras líneas de investigación el estudio de casos en los que se han producido accidentes de este tipo, los motivos que los causaron y la definición de procedimientos y medidas para evitarlos. A partir del estudio se podría realizar una evaluación de probabilidades de ocurrencia del accidente según el procedimiento constructivo y la tecnología utilizada.

Otra futura línea de investigación es la determinación del incremento de probabilidad de accidente debido a la falta de visibilidad general de la obra por trabajos nocturnos o en condiciones de visibilidad reducida. El primer paso sería la recopilación o creación de una base de datos para poder realizar el estudio.

10.1.3. Impacto ambiental

Conclusiones

La metodología desarrollada en la tesis permite evaluar y comparar el impacto ambiental de distintos procedimientos constructivos, de modo que se puede establecer un orden de preferencia entre ellos y elegir el mejor desde el punto de vista ambiental. También permite realizar el seguimiento del impacto ambiental de una obra en ejecución y compararlo con el impacto ambiental teórico según el proyecto ejecutivo. Gracias a la cuantificación del impacto, se pueden solicitar medidas correctoras o compensatorias equivalentes.

Aunque el conocimiento y disponibilidad de datos de impacto ambiental son mucho mayores que en el pasado (emisión de gases de efecto invernadero, consumo energético, etc.), aún queda mucho por avanzar en este campo. En la presente metodología se ha sistematizado el cálculo del impacto ambiental de las obras utilizando los datos disponibles actualmente. Solamente hay una parte de un indicador que se deja planteado para cuando se conozcan más datos en un futuro: la emisión de contaminantes a la atmosfera en la fase de ejecución de la obra. Aunque existen los límites de emisiones Euro VI (Reglamento (CE) nº 595/2009) para los vehículos pesados, la homologación es optativa para los vehículos diseñados y fabricados para su uso principal en obras y para las máquinas móviles y, por tanto, los límites son optativos para este tipo de vehículos y maquinaria. Por ello, no se utilizan estos límites como referencia para el indicador de emisión de contaminantes a la atmosfera en la ejecución de la obra.

En general, a medida que existan más datos sobre consumo de energía, emisiones y otros impactos ambientales, se podrán aplicar de forma más precisa los indicadores definidos en la presente metodología ya que estarán disponibles para el cálculo los

datos del material y de la maquinaria utilizados realmente, y no será necesario recurrir a bases de datos que proporcionan valores promedio.

Futuras líneas de investigación

Como futuras líneas de investigación se propone trabajar en un mejor ajuste de los siguientes indicadores:

Consumo de materiales: se ha definido como indicador el peso de todos los materiales de construcción empleados con un consumo igual o superior a una tonelada. Con el uso de este indicador se está asumiendo de forma implícita que el impacto en el consumo de recursos materiales es igual para todos los materiales. Como futuras líneas de investigación, podrían ponderarse los pesos de los distintos materiales dando mayor importancia a los materiales con menores reservas locales o globales y con menor capacidad de renovación.

En la metodología, los materiales reciclados o reutilizados que pasan a formar parte de la obra que se está construyendo no se contabilizan como consumo y, por tanto, se asigna la misma importancia al reciclaje de los distintos materiales. De forma análoga a lo expuesto en el párrafo anterior, como futura línea de investigación se propone contabilizar un porcentaje de los materiales reciclados o reutilizados que pasarán a formar parte de la obra que se está construyendo, en función de varios aspectos:

- La disponibilidad y reservas globales y locales del material.
- Posibilidad y grado de renovación o formación del recurso material.
- Porcentajes medios actuales de reciclaje, para favorecer el reciclaje de materiales con menores porcentajes de reciclado.

Consumo de energía: aunque se dispone de varias fuentes de datos sobre consumo de energía de la maquinaria y equipos de obra, no todas son coherentes entre sí y solamente algunas incluyen un amplio rango de maquinaria y equipos. Como futuras líneas de investigación se propone estudiar de forma más exhaustiva el consumo energético de la maquinaria y equipos de obra para poder disponer de más datos y que éstos sean más precisos.

Emisión de gases de efecto invernadero: el indicador de gases de efecto invernadero incluye las emisiones directas producidas en la fabricación de materiales pero no las indirectas. En un futuro, cuando las medidas de emisiones sean más generalizadas, se podrán incluir también estas emisiones indirectas en la metodología. En cuanto a las emisiones de gases de efecto invernadero debido a la ejecución de la obra, en un futuro, a medida que se disponga de más datos y que éstos sean más precisos, el indicador podrá medir de forma más precisa estas emisiones. Es decir, se plantea el estudio más detallado de las emisiones de gases de efecto invernadero debido a la utilización de maquinaria y equipos de obra.

Emisión de contaminantes a la atmósfera: se ha definido como indicador la suma de emisiones al aire en las fases de fabricación y transporte de los materiales de construcción. La emisión de contaminantes en la fase de ejecución de la obra se plantea pero, por el momento, no se puede calcular por falta de datos. Como futuras

líneas de investigación podría estudiarse cuáles son las emisiones de contaminantes atmosféricos producidos por la maquinaria de obra.

Contaminación acústica sobre entorno natural: se ha definido como indicador el nivel de potencia acústica de las máquinas de uso al aire libre utilizadas en la obra multiplicado por el tiempo de utilización. El ruido nocturno se ha penalizado en un 20% (se ha multiplicado por un factor de 1,2) tanto en zona urbana como zona rural. Sin embargo, este factor se ha obtenido a partir de los ratios de los objetivos de calidad acústica durante el día y la noche definidos en el Real Decreto 1367/2007 para áreas urbanizadas existentes. En un futuro, si se definen objetivos de calidad acústica para el día y la noche en áreas rurales, se podrá calcular un factor de penalización para el ruido nocturno específico para áreas rurales. El nuevo indicador distinguiría entonces entre ruido diurno y nocturno en áreas urbanas y ruido diurno y nocturno en áreas rurales.

Generación de residuos no peligrosos: se ha definido como indicador el peso de todos los residuos no peligrosos generados en la fabricación de los materiales de construcción más el peso de todos los residuos de construcción y demolición generados en la obra que tengan un peso igual o superior a una tonelada. Con el uso de este indicador se está asumiendo de forma implícita que el impacto debido a la generación de residuos es igual para todos los residuos. Como futuras líneas de investigación, podrían ponderarse los pesos de los distintos residuos generados dando mayor importancia a los residuos que generen un mayor impacto ambiental o que provengan de materiales con menores reservas locales o globales y con menor capacidad de renovación.

En la metodología, los residuos que serán reutilizados o reciclados con total certeza no se contabilizan como residuo y, por tanto, se está dando la misma importancia al reciclaje de los distintos tipos de residuos. De forma análoga al consumo de materiales reciclados, como futura línea de investigación se propone que se contabilice un porcentaje de los residuos generados en la obra que van a ser reciclados o reutilizados, en función de los mismos aspectos listados en consumo de materiales reciclados y, además, del impacto ambiental del residuo.

Generación de residuos peligrosos: análogamente a lo que sucede en el indicador de consumo de materiales y en el de generación de residuos no peligrosos, el presente indicador se define como la suma del peso de los distintos residuos peligrosos generados. Con ello se está suponiendo que, a igualdad de pesos, los distintos residuos peligrosos tienen el mismo impacto ambiental. Como futura línea de investigación podrían buscarse unos valores de ponderación para los distintos tipos de residuos peligrosos teniendo en cuenta su peligrosidad, toxicidad, etc.

Afectación al dominio público hidráulico: el indicador del presente subcriterio se define como la superficie del dominio público hidráulico y de la zona de policía ocupada por la obra multiplicado por el tiempo de ocupación, es decir, se considera que genera el mismo impacto la afectación al cauce que a su zona de policía. Como futuras líneas de investigación se podría estudiar si es conveniente un indicador que penalice más la afectación al cauce que a su zona de policía.

Afectación al dominio público marítimo-terrestre: el indicador del presente subcriterio se define como la superficie del dominio público marítimo-terrestre y de la zona de protección ocupada por la obra multiplicada por el tiempo de ocupación. Es decir, análogamente al indicador anterior, se considera que genera el mismo impacto la afectación al dominio marítimo-terrestre que a su zona de protección. Como futuras líneas de investigación, se podría estudiar si es conveniente definir un indicador que distinga entre afección al dominio público marítimo-terrestre y afección a la zona de protección, penalizando más el primero de ellos.

10.1.4. Impacto social

Conclusiones

El impacto social de la ejecución de las obras públicas es el impacto menos estudiado hasta el momento y uno de los más difíciles de evaluar y cuantificar ya que es muy complejo y depende de múltiples factores.

La metodología definida es una forma sistematizada de calcular el impacto social generado por una obra que permite comparar y priorizar distintos procedimientos constructivos según el impacto social generado. También permite realizar un seguimiento del impacto social de una obra en ejecución en comparación con el impacto social previsto en proyecto.

En la definición de los indicadores para el cálculo del impacto social se han definido unos valores de referencia para saber cuándo se considera que la obra genera un determinado impacto social como, por ejemplo, la zona de influencia. También se han definido unos coeficientes que permiten diferenciar entre distintos grados de impacto como, por ejemplo, el coeficiente de afección, según si el elemento afectado se anula o se desplaza. Los valores adoptados de las referencias y coeficientes no reflejan un valor exacto e inamovible, sino que podrían ser distintos. Sin embargo, estos valores sí que reflejan un ranking u ordenación de los impactos, es decir, a mayor coeficiente, mayor impacto. Estos valores permiten calcular de forma estandarizada el impacto social de todas las alternativas constructivas y compararlos entre sí.

Futuras líneas de investigación

En la definición de los indicadores de impacto social se ha constatado la infinidad de casos y situaciones que pueden darse en un entorno urbano. En la metodología se ha tratado de identificar y agrupar las distintas situaciones más comunes, pero seguramente habrá casos no recogidos que pueden salir a la luz en la aplicación de la metodología a distintos casos reales. La idea es que la metodología se pueda adaptar e incluir las situaciones que hayan podido quedar fuera.

A continuación se comentan posibles estudios futuros para que los indicadores sociales definidos en la metodología sean aún más precisos.

Servicios públicos desplazables o prescindibles: se realizó una primera asignación de pesos a los servicios públicos desplazables o prescindibles para cuantificar la importancia del servicio que ofrecen según su función y frecuencia de uso. Se considera que los contenedores de basura y reciclaje y los puntos de recogida de desechos de comercios tienen igual importancia entre sí y el doble de importancia que el resto de elementos funcionales. En un futuro se puede realizar otra asignación de pesos que haga más distinciones entre elementos ajustándose más a su utilidad y frecuencia de uso.

Centros de alta sensibilidad: en la presente metodología se considera que todos los centros de alta sensibilidad tienen la misma importancia. Como futuras líneas de investigación se podría diferenciar entre locales de especial sensibilidad, según la importancia que tiene para la sociedad el servicio que ofrecen.

Negocios: como futuras líneas de investigación podrían realizarse estudios sobre la disminución real en el número de clientes debido a las molestias de la obra y según el número de entradas con visibilidad y accesibilidad reducida y el número de entradas cerradas por la obra. Para ello se deberían realizar estudios en obras reales.

Transporte colectivo: en caso de afección a paradas de metro o estaciones de ferrocarril situadas a nivel distinto de la calle, el indicador definido en la metodología no distingue entre tipos de acceso afectados (escalera normal, escalera mecánica o ascensor). Como futuras líneas de investigación, se podría definir un indicador que diferenciase también según el tipo de acceso afectado mediante la inclusión de unos coeficientes que representen la molestia causada a una persona que utiliza el acceso multiplicado por el número de personas que utilizan el acceso. Si no se conoce el número de personas que utilizan cada tipo de acceso no se deberían de utilizar estos coeficientes porque, aunque el impacto de cerrar un ascensor sobre una persona con movilidad reducida es mucho mayor que el impacto sobre una persona de cerrar una escalera normal, el número de personas que utilizan las escaleras normales es mucho mayor que el número de personas que utilizan el ascensor y ello no quedaría reflejado en el indicador.

Bicicletas: se considera que tiene la misma importancia afectar una plaza de estacionamiento pública que a una plaza de estacionamiento de un servicio de alquiler de bicicletas. Como futuras líneas de investigación se puede realizar una ponderación distinta.

10.2. CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN GLOBALES

La metodología desarrollada en la tesis permite evaluar y comparar el impacto global de distintos procedimientos constructivos de forma objetiva y sistematizada, de modo que se puede establecer un orden de preferencia entre ellos y elegir el mejor desde un análisis multicriterio. Se pueden identificar los aspectos del procedimiento constructivo elegido que sería más interesante mejorar. También permite realizar el seguimiento

del impacto de una obra en ejecución y compararlo con el impacto teórico según proyecto. Gracias a la cuantificación del impacto, se pueden solicitar medidas correctoras o compensatorias equivalentes durante la ejecución de la obra.

La evaluación se realiza integrando el impacto económico, ambiental y social, incluyendo los riesgos laborales, en un mismo análisis multicriterio. Si es de interés, la evaluación también se puede realizar para una o varias de las anteriores categorías solamente.

En la aplicación práctica a obras reales se ha comprobado la aplicabilidad de la metodología y se han acabado de ajustar algunos indicadores a la disponibilidad real de datos. El análisis de sensibilidad de los resultados de la aplicación práctica ha mostrado la estabilidad de los resultados, incluso con grandes variaciones de pesos. Las aplicaciones prácticas junto con su análisis de sensibilidad han permitido validar la metodología diseñada en los capítulos anteriores.

Inicialmente, la metodología definida en la tesis se pensó para ser aplicada a alternativas constructivas para la misma obra terminada en la misma ubicación. Durante su desarrollo, se constató que la metodología también sirve para comparar impactos de alternativas constructivas situadas en distintas ubicaciones e incluso para obras distintas. De hecho, en la aplicación práctica se han comparado obras similares con procedimientos constructivos distintos ubicadas en calles distintas.

Como se ha visto en la aplicación práctica, la metodología permite dar una valoración de los impactos producidos por un proyecto que puede ser fácilmente entendida por las personas ajenas al mismo. El hecho de aplicar la metodología hace aumentar la concienciación de los ingenieros y los clientes respecto a la sostenibilidad en los proyectos de construcción, lo que ayuda a desarrollar su conocimiento y apreciación de los impactos que se generan.

Posibles aplicaciones de la metodología son, por ejemplo, en administraciones o en empresas constructoras o vinculadas a la construcción. En una administración, la metodología se puede implementar en dos fases: en una primera fase se puede aplicar para realizar el seguimiento de las obras en ejecución y en una segunda fase para evaluar los distintos proyectos que se presentan a las licitaciones de obras. En una empresa la aplicación de la metodología puede ser útil para cuantificar el valor que aportan los distintos procedimientos constructivos y tecnologías de que dispone, pudiéndolo incluir como justificación objetiva y mejora en sus ofertas.

La metodología desarrollada en la tesis es una metodología flexible y abierta, que permite un proceso de mejora continua y de adaptación conforme se aplique por distintos entes (administraciones, empresas, concesionarias, etc.) y a distintas tipologías de obras en diversos entornos.

Por lo tanto, se puede decir que los objetivos iniciales, tanto el objetivo general como los objetivos específicos, se han alcanzado satisfactoriamente.

Referencias

Las referencias de la tesis se presentan en cinco apartados, correspondientes a las principales cinco temáticas abordadas en la tesis:

1. Generales (Capítulos 1, 2, 4, 8, 9 y 10)
2. Métodos de ayuda a la decisión multicriterio (Capítulo 3)
3. Riesgos laborales (Capítulo 5 y Anexo A)
4. Impacto ambiental (Capítulo 6 y Anexo B)
5. Impacto social (Capítulo 7 y Anexo C)

REFERENCIAS GENERALES

A continuación se presentan las referencias generales correspondientes a los Capítulos 1, 2, 4, 8, 9 y 10:

Bakhoun, E., y Brown, D. (2012). Developed sustainable scoring system for structural materials evaluation. *Journal of Construction Engineering and Management*, 138 (1), 110-119.

Casanovas-Rubio, M., Ahearn, A., Ramos, G., y Popo-Ola, S. (2014). The research-teaching nexus: using a construction teaching event as a research tool. *Innovations in Education and Teaching International*, 10.1080/14703297.2014.943787, 1-15.

CIRIA. (2001). *Sustainable construction: company indicators*. London: Construction Industry Research and Information Association.

Conesa, V. (2010). *Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental*. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa.

Dirección general de carreteras. (2000). *IAP Instrucción sobre las acciones a considerar en el proyecto de puentes de carretera*. Madrid: Ministerio de Fomento. Centro de Publicaciones.

-
- Dirección General de Carreteras. (2011). *IAP-11 Instrucción sobre las acciones a considerar en el proyecto de puentes de carretera*. Madrid: Ministerio de Fomento. Centro de Publicaciones.
- Gangoells, M., Casals, M., Gassó, S., Forcada, N., Roca, X., y Fuertes, A. (2011). Assessing concerns of interested parties when predicting the significance of environmental impacts related to the construction process of residential buildings. *Building and Environment*, 46, 1023-1037.
- LABORSTA Internet. (2008). *Lesiones profesionales. Principales estadísticas (anuales): casos de lesión con pérdida de días de trabajo, tasas de lesiones profesionales, días perdidos por actividad económica*. Recuperado en febrero de 2014, de LABORSTA Internet: <http://laborsta.ilo.org/STP/guest>
- Ley 22/2013, de 23 de diciembre, de Presupuestos Generales del Estado para el año 2014. (26 de diciembre de 2013). *Boletín Oficial del Estado*, 309, págs. 104609 -105136.
- Ley 42/2006, de 28 de diciembre, de Presupuestos Generales del Estado para el año 2007. (29 de diciembre de 2006). *Boletín Oficial del Estado*, 311, págs. 46226-46444.
- Mareschal, B. (1988). Weight stability intervals in multicriteria decision aid. *European Journal of Operational Research*, 33 (1), 54-64.
- ONU. (1987). *Informe de la comisión mundial sobre el medio ambiente y el desarrollo*. Naciones Unidas, Resolución de la Asamblea General 42/1987.
- Real Decreto 1367/2007, de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas. (23 de octubre de 2007). *Boletín Oficial del Estado*, 254, págs. 42952-42973.
- Reglamento (CE) nº 595/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 18 de junio de 2009, relativo a la homologación de los vehículos de motor y los motores en lo concerniente a las emisiones de los vehículos pesados (Euro VI) y al acceso a la información sobre reparación y mantenimiento de vehículos y por el que se modifica el Reglamento (CE) nº 715/2007 y la Directiva 2007/46/CE y se derogan las Directivas 80/1269/CEE, 2005/55/CE y 2005/78/CE. (18 de julio de 2009). *Diario Oficial de la Unión Europea*, 188, págs. 1-13.
- Seo, J. W., y Choi, H. H. (2008). Risk-based safety impact assessment methodology for underground construction projects in Korea. *Journal of Construction Engineering and Management*, 134 (1), 72-81.
- Spencer, P., Hendy, C., y Petty, R. (2012). Quantification of sustainability principles in bridge projects. *Proceedings of the ICE - Bridge engineering*, 165 (2), 81-89.
- Viñolas, B. (2011). *Aplicaciones y avances de la metodología MIVES en valoraciones multicriterio*. Tesis doctoral dirigida por Antonio Aguado y Alejandro Josa. Barcelona: Universtat Politècnica de Catalunya.

REFERENCIAS SOBRE MÉTODOS DE AYUDA A LA DECISIÓN MULTICRITERIO

A continuación se presentan las referencias generales correspondientes al Capítulo 3:

- Aguarón, J., y Moreno-Jiménez, J. (2003). The geometric consistency index: Approximated thresholds. *European Journal of Operational Research*, 147, 137–145.
- Ahn, B., y Park, K. (2008). Comparing methods for multiattribute decision making. *Computers & Operations Research*, 35 (5), 1660-1670.
- Aragonés, P., y Gómez-Senent, E. (1997). *Técnicas de ayuda a la decisión multicriterio: cuaderno de apuntes*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- Aragonés, P., Gómez-Senent, E., y Pastor, J. (2001). Ordering the alternatives of a strategic plan for Valencia. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 10 (3), 153-171.
- Barba-Romero, S., y Pomerol, J. (1997). *Decisiones multicriterio: fundamentos teóricos y utilización práctica*. Alcalá de Henares: Servicio de Publicaciones de la U.A.H.
- Barron, F. (1992). Selecting a best multiattribute alternative with partial information about attribute weights. *Acta Psychologica*, 80 (1-3), 91-103.
- Barron, F., y Barrett, B. (1996). Decision quality using ranked attribute weights. *Management Science*, 42 (11), 1515-1523.
- Benayoun, R., Roy, B., y Sussman, B. (1966). ELECTRE: Une méthode pour guider le choix en présence de points de vue multiples. *SEMA-METRA International, Note de travail 49*.
- Black, D. (1958). *The theory of committees and elections*. Boston: Kluwer.
- Borcherding, K., Eppel, T., y von Winterfeldt, D. (1991). Comparison of weighting judgements in multiattribute utility measurements. *Management Science*, 37 (12), 1603-1619.
- Brans, J., y Mareschal, B. (1990). The Promethee Methods for MCDM; The Promcalc, Gaia And Bankadviser Software. En C. Bana e Costa (Ed.), *Readings in Multiple Criteria Decision Aid* (págs. 216-252). Heidelberg: Springer-Verlag.
- Brans, J., y Mareschal, B. (1992). PROMETHEE: MCDM problems with segmentation constraints. *Information Systems and Operational Research*, 30 (2), 85-96.
- Brans, J., y Mareschal, B. (1995). The PROMETHEE VI procedure: how to differentiate hard from soft multicriteria problems. *Journal of Decision Systems*, 4 (3), 213-223.
- Brans, J., y Vincke, P. (1985). A Preference Ranking Organisation Method (The PROMETHEE Method for Multiple Criteria Decision-Making). *Management Science*, 31 (6), 647-656.
- Brans, J., Vincke, P., y Mareschal, B. (1986). How to select and how to rank projects: The Promethee method. *European Journal of Operational Research*, 24 (2), 228-238.
- Charnes, A., y Cooper, W. (1961). *Management models and industrial applications of linear programming*. New York: John Wiley and Sons.
- Charnes, A., Cooper, W., y Ferguson, R. (1955). Optimal estimation of executive compensation by linear programming. *Management Science*, 1 (2), 138-155.

-
- Churchman, C., Ackoff, y R.L. (1954). An approximate measure of value. *Journal of the Operational Research Society of America*, 2 (2), 172-187.
- Cogger, K., y Yu, P. (1985). Eigenweight vectors and least distances approximation for revealed preference in pairwise weight ratios. *Journal of Optimization Theory and Applications*, 46, 483-491.
- Cohon, J. (1978). *Multiobjective programming and planning*. New York: Academic Press.
- Condorcet, J. M. (1785). *Essai sur l'application de l'analyse à la probabilité des décisions rendues à la pluralité des voix*. Paris: Imprimerie Royale. Reedité par Chelsea, New York, 1972.
- Copeland, A. (1951). A "reasonable" social welfare function. Seminar on applications of mathematics to the social science. University of Michigan.
- Dawes, R., y Corrigan, B. (1974). Linear models in decision making. *Psychological Bulletin*, 81 (2), 91-106.
- Diakoulaki, D., Mavrotas, G., y Papayannakis, L. (1995). Determining objective weights in multiple criteria problems: the critic method. *Computers & Operations Research*, 22 (7), 763-770.
- Ferrís, J. (2008). *Diseño, desarrollo y validación de una nueva metodología de valoración multicriterio de activos basados en ANP*. Tesis doctoral dirigida por Mónica García y Jerónimo Aznar. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- Fishburn, P. (1965). Independence in utility theory with whole product sets. *Operations Research*, 13, 28-45.
- Fishburn, P. (1974). Lexicographic orders, utilities and decision rules: a survey. *Management Science*, 20 (11), 1442-1471.
- Golany, B., y Kres, M. (1993). A multicriteria evaluation of methods for obtaining weights from ratio-scale matrices. *European Journal of Operational Research*, 69, 210-220.
- Gómez-Senent, E. (1992). *Las fases del proyecto y su metodología*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- Gómez-Senent, E., Aragonés, P., y Pastor, P. (1997). Programa PRESII multiexperto para la ayuda a la toma de decisiones multicriterio. En A. Martín (Ed.), *Actas del XIII Congreso Nacional de la Ingeniería de Proyectos* (págs. 175-182). Sevilla: Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Sevilla.
- Jacquet-Lagrèze, E., y Siskos, J. (1978). Une méthode de construction de fonctions d'utilité additives explicatives d'une préférence globale. *Université de Paris-Dauphine, Cahier du LAMSADE n° 16*.
- Jacquet-Lagrèze, E., y Siskos, J. (1982). Assessing a set of additive utility functions for multicriteria decision-making, the UTA method. *European Journal of Operational Research*, 10 (2), 151-164.
- Jacquet-Lagrèze, E., y Siskos, J. (1983). *Méthodes de décision multicritère*. Paris: Editions Hommes et Techniques.

- Jacquet-Lagrèze, E., y Siskos, J. (2001). Preference disaggregation: 20 years of MCDA experience. *European Journal of Operational Research*, 130 (2), 233–245.
- Keeney, R., y Raiffa, H. (1976). *Decisions with multiple objectives: preferences and value tradeoffs*. New York: John Wiley & Sons.
- Knoll, A., y Engelberg, A. (1978). Weighting multiple objectives. The Churchman-Ackoff technique revisited. *Computers and Operations Research*, 5, 165-177.
- León, O. (2001). *Tomar decisiones difíciles*. Madrid: McGraw-Hill.
- Lootsma, F., y Bots, P. (1999). The assignment of scores for output-based research funding. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 8 (1), 44-50.
- Luce, R., y Raiffa, H. (1957). *Games and decisions*. New York: John Wiley.
- Manga, R. (2005). *Una nueva metodología para la toma de decisión en la gestión de la contratación de proyectos constructivos*. Dirigida por Antonio Aguado y Gaizka Ormazábal: Universitat Politècnica de Catalunya.
- Marglin, S. (1969). *Public investment criteria*. Cambridge, Massachussets: MIT Press.
- Miller, G. (1956). The magical number seven, plus or minus two: some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, 63 (2), 81-97.
- Pulido, A. (2008). *Optimización de los pavimentos industriales desde una perspectiva sostenible y aplicación de la herramienta MIVES*. Tesis doctoral dirigida por Alejandro Josa y Pere Alavedra: Universitat Politècnica de Catalunya.
- Ríos-Insua, S., Bielza, C., y Mateos, A. (2002). *Fundamentos de los sistemas de ayuda a la decisión*. Madrid: RA-MA.
- Romero, C. (1996). *Análisis de las decisiones multicriterio. Publicaciones de ingeniería de sistemas*. Madrid: Isdefe.
- Roy, B. (1968). Classement et choix en présence de points de vue multiples: la méthode ELECTRE. *Revue française d'Informatique et de Recherche Opérationnelle*, 6 (8), 57-75.
- Roy, B. (1971). Problems and methods with multiple objective functions. *Mathematical Programming*, 1 (1), 239-236.
- Roy, B. (1985). *Méthodologie multicritère d'aide à la decision*. Paris: Economica.
- Roy, B. (1990). Decision-aid and decision-making. *European Journal of Operational Research*, 45(2-3), 324–331.
- Roy, B. (1991). The outranking approach and the foundations of ELECTRE methods. *Theory and Decision*, 31 (1), 49-73.
- Saaty, T. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. Pittsburgh: RWS Publications.
- Saaty, T. (1995). *Decision making for leaders. The Analytic Hierarchy Process for decisions in a complex world*. Pittsburgh: RWS Publications.
- Saaty, T. (1996). *The Analytic Network Process: decision making with dependence and feedback*. Pittsburgh: RWS Publications.

-
- Saaty, T. (2000). *Fundamentals of decision making with the Analytic Hierarchy Process*. Pittsburgh: RWS Publications.
- Saaty, T. (2001). *Decision making with dependence and feedback: the Analytic Network Process*. Pittsburgh: RWS Publications.
- Saaty, T. (2005). *Theory and applications of the Analytic Network Process. Decision making with benefits, opportunities, costs and risks*. Pittsburgh: RWS Publications.
- Solymosi, T., y Dombi, J. (1985). Method for determining the weights of criteria: the centralized weights. *European Journal of Operational Research*, 26 (1), 35-41.
- Stillwell, W., Seaver, D., y Edwards, W. (1981). A comparison of weight approximation techniques in multiattribute utility decision making. *Organizational Behavior and Human Performance*, 28 (1), 62-77.
- Stillwell, W., Winterfeldt von, D., y John, R. (1987). Comparing hierarchical and nonhierarchical weighting methods for eliciting multiattribute value models. *Management Science*, 33 (4), 442-450.
- Vansnick, J. (1986). On the problem of weights in multiple criteria decision making (the noncompensatory approach). *European Journal of Operational Research*, 24 (2), 288-294.
- Von Neumann, J., y Morgenstern, O. (1944). *Theory of games and economic behaviour*. New Jersey: Princeton University Press.
- von Winterfeldt, D., y Edwards, W. (1986). *Decision analysis and behavioral research*. New York: Cambridge University Press.
- Yu, P. (1973). A class of solutions for group decision problems. *Management Science*, 19 (8), 936-946.
- Zadeh, L. (1963). Optimality and non-scalar-valued performance criteria. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 8 (1), 59-60.
- Zeleny, M. (1973). Compromise programming. En J. Cochrane, y M. Zeleny (Edits.), *Multiple criteria decision making* (págs. 262-301). Columbia: University of South Carolina Press.
- Zeleny, M. (1974). A concept of compromise solutions and the method of the displaced ideal. *Computers & Operations Research*, 1 (3), 479-496.
- Zeleny, M. (1982). *Multiple criteria decision making*. New York: McGraw-Hill.

REFERENCIAS SOBRE RIESGOS LABORALES

A continuación se presentan las referencias generales correspondientes al Capítulo 5 y Anexo A:

- ACHE. (2011). *Recomendaciones relativas a seguridad y salud para la ejecución de estructuras de hormigón: puentes y estructuras de edificación convencionales*. Madrid: Asociación Científico-técnica del Hormigón Estructural.

- Ahmed, A., Kayis, B., y Amornsawadwatana, S. (2007). A review of techniques for risk management in projects. *Benchmarking: An international Journal*, 14 (1), 22-36.
- Bakhoun, E., y Brown, D. (2012). Developed sustainable scoring system for structural materials evaluation. *Journal of Construction Engineering and Management*, 138 (1), 110-119.
- Casanovas, M., Armengou, J., y Ramos, G. (2014). Occupational Risk Index for Assessment of Risk in Construction Work by Activity. *Journal of Construction Engineering and Management*, 140 (1), 04013035.
- CIRIA. (2001). *Sustainable construction: company indicators*. London: Construction Industry Research and Information Association.
- Comissió de Seguretat i Higiene de la Construcció de Catalunya. (1993). *Full informatiu: Accidentalitat a la construcció any 1990*. Barcelona: CSHCC.
- Construccions Rubau, Centre de Seguretat i Condicions de Salut en el Treball de Girona, ASEPEYO. (2007). *La prevenció de riscos laborals en el sector de la construcció*. Departament de Treball.
- Dirección General de Carreteras. (1997). *Señalización móvil de obras*. Madrid: Ministerio de Fomento.
- Fine, W. (1971). Mathematical evaluation for controlling hazards. *Journal of Safety Research*, 3 (4), 157-166.
- Fundación Laboral de la Construcción Catalunya. (2008). *Curs de formació en prevenció de riscos en treballs hiperbàrics en les obres de túnels mitjançant tuneladores*. Barcelona: Fundación Laboral de la Construcción Catalunya.
- Generalitat de Catalunya. (2010). *El trabajo en ambientes calurosos*. Departament de Treball.
- Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con la exposición a agentes biológicos*. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Ministerio Trabajo y Asuntos Sociales.
- Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con la exposición al amianto*. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Ministerio de Trabajo e Inmigración.
- Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con la exposición de los trabajadores al ruido*. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Ministerio de Trabajo e Inmigración.
- Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con las vibraciones mecánicas*. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Ministerio de Trabajo e Inmigración.
- Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relativos a la manipulación manual de cargas*. (2003). Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales.
- Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relativos a la utilización de equipos de trabajo*. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Ministerio de Trabajo e Inmigración.

Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relativos a las obras de construcción. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales.

Guía técnica para la evaluación y prevención del riesgo eléctrico. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Ministerio de Trabajo e Inmigración.

INSHT. (1993). *NTP 330: Sistema simplificado de evaluación de riesgos de accidente.* Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales.

INSHT. (1996). *Evaluación de Riesgos Laborales.* Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales.

NTP 7: Soldadura: prevención de riesgos higiénicos. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales.

NTP 77: BATEAS - Paletas y plataformas de carga unitarias. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales.

NTP 78: Aparejos manuales. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales.

NTP 121: Hormigonera. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales.

NTP 123: Barandillas. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales.

NTP 124: Redes de seguridad. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales.

NTP 148: Riesgos higiénicos por isocianatos. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales.

NTP 167: Aparejos, cabrias y garruchas. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales.

NTP 208: Grúa móvil. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales.

NTP 223: Trabajos en recintos confinados. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales.

NTP 257: Perforación de rocas: eliminación de polvo. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales.

NTP 278: Zanjas: prevención del desprendimiento de tierras. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales.

NTP 279: Ambiente térmico y deshidratación. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales.

NTP 319: Carretillas manuales: transpaletas manuales. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales.

NTP 391: Herramientas manuales (I): condiciones generales de seguridad. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales.

- NTP 392: Herramientas manuales (II): condiciones generales de seguridad.* Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales.
- NTP 393: Herramientas manuales (III): condiciones generales de seguridad.* Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales.
- NTP 434: Superficies de trabajo seguras (I).* Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales.
- NTP 477: Levantamiento manual de cargas. ecuación del NIOSH.* Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales.
- NTP 481: Orden y limpieza de lugares de trabajo.* Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales.
- NTP 494: Soldadura eléctrica al arco: normas de seguridad.* Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales.
- NTP 495: Soldadura oxiacetilénica y oxicorte: normas de seguridad.* Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales.
- NTP 530: Andamios colgados móviles de accionamiento manual (I): normas constructivas.* Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales.
- NTP 531: Andamios colgados móviles de accionamiento manual (II): normas de montaje y utilización.* Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales.
- NTP 532: Andamios colgados móviles de accionamiento manual (III): aparatos de elevación y maniobra.* Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales.
- NTP 614: Radiaciones ionizantes: normas de protección.* Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales.
- NTP 669: Andamios de trabajo prefabricados (I): normas constructivas.* Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales.
- NTP 670: Andamios de trabajo prefabricados (II): montaje y utilización.* Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales.
- NTP 682: Seguridad en trabajos verticales (I): equipos.* Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales.
- NTP 683: Seguridad en trabajos verticales (II): técnicas de instalación.* Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales.
- NTP 684: Seguridad en trabajos verticales (III): técnicas operativas.* Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales.
- NTP 695: Torres de trabajo móviles (I): normas constructivas.* Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales.
- NTP 696: Torres de trabajo móviles (II): montaje y utilización.* Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales.

-
- NTP 701: Grúas torre. Recomendaciones de seguridad en su manipulación.* Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales.
- NTP 719: Encofrado horizontal. Puntales telescópicos de acero.* Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales.
- NTP 734: Torres de acceso (I): normas constructivas.* Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales.
- NTP 735: Torres de acceso (II): montaje y utilización.* Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales.
- NTP 770: Riesgos radiológicos del uso de electrodos de tungsteno toriados en la soldadura de arco (TIG).* Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
- NTP 796: Amianto: planes de trabajo para operaciones de retirada o mantenimiento.* Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
- NTP 815: Planes de trabajo con amianto: orientaciones prácticas para su realización.* Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
- NTP 820: Ergonomía y construcción: trabajo en zanjas.* Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
- NTP 826: El documento de protección contra explosiones (DPCE).* Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
- NTP 836: Encofrado vertical. Sistemas trepantes (I).* Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
- NTP 837: Encofrado vertical (I). Sistemas trepantes.* Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
- NTP 862: Operaciones de demolición, retirada o mantenimiento con amianto: ejemplos prácticos.* Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
- NTP 904: Arco eléctrico: estimación de la energía calorífica incidente sobre un trabajador.* Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
- NTP 905: Seguridad en trabajos con tuneladoras (I).* Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
- Orden de 14 de octubre de 1997 por la que se aprueban las normas de seguridad para el ejercicio de actividades subacuáticas. (22 de noviembre de 1997). *Boletín Oficial del Estado*, 280, págs. 34419-34456.
- Orden de 20 de enero de 1956 por la que se aprueba el Reglamento de Higiene y Seguridad en los Trabajos realizados en cajones con aire comprimido. (2 de febrero de 1956). *Boletín Oficial del Estado*, 33, págs. 834-839.
- Orden de 31 de agosto de 1987 sobre señalización, balizamiento, defensa, limpieza y terminación de obras fijas en vías fuera de poblado. (18 de septiembre de 1987). *Boletín Oficial del Estado*, 224, págs. 28050-28067.
- Orden de 7 de diciembre de 2001 por la que se modifica el anexo I del Real Decreto 1406/1989, de 10 de noviembre, por el que se imponen limitaciones a la comercialización

- y al uso de ciertas sustancias y preparados peligrosos. (14 de diciembre de 2001). *Boletín Oficial del Estado*, 299, págs. 47156-47157.
- Orden por la que se aprueba la norma tecnológica de la edificación NTE-ADD/1975, «Acondicionamiento del terreno, Desmontes: Demoliciones». (15 de febrero de 1975). *Boletín Oficial del Estado*, 40, págs. 3278-3286.
- Perry, J., y Hayes, R. (1985). Risk and its management in construction projects. *ICE Proceedings*, 78 (3), 499-521.
- Rajendran, S., y Gambatese, J. A. (2009). Development and initial validation of sustainable construction safety and health rating system. *Journal of Construction Engineering and Management*, 135 (10), 1067-1075.
- Ramos, G., Turmo, J., y Véras, J. (2010). Procedimientos Constructivos y de Seguridad en Grandes Viaductos. *Conferencia en el Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade de Pernambuco*. Recife.
- Real Decreto 1215/1997, de 18 de julio, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo. (7 de agosto de 1997). *Boletín Oficial del Estado*, 188, pág. 24063-24070.
- Real Decreto 1311/2005, de 4 de noviembre, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores frente a los riesgos derivados o que puedan derivarse de la exposición a vibraciones mecánicas. (5 de noviembre de 2005). *Boletín Oficial del Estado*, 265, págs. 36385-36390.
- Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y de salud en las obras de construcción. (25 de octubre de 1997). *Boletín Oficial del Estado*, 256, págs. 30875-30886.
- Real Decreto 2177/2004, de 12 de noviembre, por el que se modifica el Real Decreto 1215/1997, de 18 de julio, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo, en materia de trabajos temporales en altura. (13 de noviembre de 2004). *Boletín Oficial del Estado*, 274, págs. 37486-37489.
- Real Decreto 223/2008, de 15 de febrero, por el que se aprueban el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión y sus instrucciones técnicas complementarias ITC-LAT 01 a 09. (19 de marzo de 2008). *Boletín Oficial del Estado*, 68, págs. 16436-16554.
- Real Decreto 230/1998, de 16 de febrero, por el que se aprueba el Reglamento de explosivos. (12 de marzo de 1998). *Boletín Oficial del Estado*, 61, págs. 8557-8639.
- Real Decreto 255/2003, de 28 de febrero, por el que se aprueba el Reglamento sobre clasificación, envasado y etiquetado de preparados peligrosos. (4 de marzo de 2003). *Boletín Oficial del Estado*, 54, págs. 8433-8469.
- Real Decreto 277/2005, de 11 de marzo, por el que se modifica el Reglamento de Explosivos, aprobado por el Real Decreto 230/1998, de 16 de febrero. (12 de marzo de 2005). *Boletín Oficial del Estado*, 61, págs. 8757-8767.
- Real Decreto 363/1995, de 10 de marzo, por el que se aprueba el Reglamento sobre notificación de sustancias nuevas y clasificación, envasado y etiquetado de sustancias peligrosas. (5 de junio de 1995). *Boletín Oficial del Estado*, 133, págs. 16544-16547.

-
- Real Decreto 374/2001, de 6 de abril, sobre la protección de la salud y seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo. (1 de mayo de 2001). *Boletín Oficial del Estado*, 104, págs. 15893-15899.
- Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención. (31 de enero de 1997). *Boletín Oficial del Estado*, 27, págs. 3031-3045.
- Real Decreto 396/2006, de 31 de marzo, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud aplicables a los trabajos con riesgo de exposición al amianto. (11 de abril de 2006). *Boletín Oficial del Estado*, 86, págs. 13961-13974.
- Real Decreto 485/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo. (14 de abril de 1997). *Boletín Oficial del Estado*, 97, págs. 12911-12918.
- Real Decreto 487/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la manipulación manual de cargas que entrañe riesgos, en particular dorso lumbares, para los trabajadores. (23 de abril de 1997). *Boletín Oficial del Estado*, 97, págs. 12926-12928.
- Real Decreto 604/2006, de 19 de mayo, por el que se modifican el Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención, y el Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción. (29 de mayo de 2006). *Boletín Oficial del Estado*, 127, págs. 20084-20091.
- Real Decreto 614/2001, de 8 de junio, sobre disposiciones mínimas para la protección de la salud y seguridad de los trabajadores frente al riesgo eléctrico. (21 de junio de 2001). *Boletín Oficial del Estado*, 148, págs. 21970-21977.
- Real Decreto 664/1997, de 12 de mayo, sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes biológicos durante el trabajo. (24 de mayo de 1997). *Boletín Oficial del Estado*, 124, págs. 16100-16111.
- Real Decreto 681/2003, de 12 de junio, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores expuestos a los riesgos derivados de atmósferas explosivas en el lugar de trabajo. (18 de junio de 2003). *Boletín Oficial del Estado*, 145, págs. 23341-23345.
- Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento electrotécnico para baja tensión. (18 de septiembre de 2002). *Boletín Oficial del Estado*, 224, págs. 33084-33086.
- Real Decreto 863/1985, de 2 de abril, por el que se aprueba el Reglamento General de Normas Básicas de Seguridad Minera. (12 de junio de 1985). *Boletín Oficial del Estado*, 140, págs. 17869-17877.
- Seo, J., y Choi, H. H. (2008). Risk-based safety impact assessment methodology for underground construction projects in Korea. *Journal of Construction Engineering and Management*, 134 (1), 72-81.
- Serra, F., y Roman, L. (2011). *Full monogràfic 5: Seguretat en els treballs en les vies públiques interurbanes*. Generalitat de Catalunya. Departament d'Empresa i Ocupació.
- Spencer, P., Hendy, C., y Petty, R. (2012). Quantification of sustainability principles in bridge projects. *Proceedings of the ICE - Bridge engineering*, 165 (2), 81-89.

- Sun, Y., Fang, D., Wang, S., Dai, M., y Lv, X. (2008). Safety risk identification and assessment for Beijing Olympic venues construction. *Journal of Management in Engineering*, 24 (1), 40-47.
- Véras, J. (2012). *Método para la evaluación de riesgos laborales en obras de construcción de grandes viaductos*. Tesis doctoral dirigida por: Gonzalo Ramos Schneider y José Turmo Coderque, Universitat Politècnica de Catalunya, Departament d'Enginyeria de la Construcció, Barcelona.

REFERENCIAS SOBRE IMPACTO AMBIENTAL

A continuación se presentan las referencias generales correspondientes al Capítulo 6 y Anexo B:

- Baird, G., y Chan, S. (1983). Energy costs of houses and light construction buildings. *New Zealand Energy Research and Development Committee*, 76.
- Bakhoun, E., y Brown, D. (2012). Developed sustainable scoring system for structural materials evaluation. *Journal of Construction Engineering and Management*, 138 (1), 110-119.
- BS 8500-2:2006+A1:2012 Concrete - Complementary British Standard to BS EN 206-1. Part 2: Specification for constituent materials and concrete. (2012). Londres: British Standards Institution.
- BS EN 206-1:2000 Concrete - Part 1: Specification, performance, production and conformity. Incorporating corrigenda Nos. 1 and 2 and Amendments Nos. 1, 2 and 3. (2005). Brussels: European Committee for Standardization.
- Canter, L. (1997). *Manual de evaluación de impacto ambiental. Técnicas para la elaboración de los estudios de impacto*. Madrid: McGraw-Hill.
- Cass, D., y Mukherjee, A. (2011). Calculation of greenhouse gas emissions for highway construction operations by using a hybrid life-cycle assessment approach: case study for pavement operations. *Journal of Construction Engineering and Management*, 137 (11), 1015-1025.
- Chen, Z., Li, H., y Wong, C. (2005). Environmental Planning: analytic network process model. *Journal of Construction Engineering and Management*, 131 (1), 92-101.
- CIRIA. (1999). *Project Report 75. Environmental issues in construction. Sustainability indicators for the civil engineering industry*. London: Construction Industry Research and Information Association.
- CIRIA. (2001). *Sustainable construction: company indicators*. London: Construction Industry Research and Information Association.
- Comisión de las Comunidades Europeas. (1996). *Política futura de lucha contra el ruido - Libro Verde de la Comisión Europea*. Bruselas.
- Constitución Española. (1978). *Boletín Oficial del Estado*, 311, 29313-29424.

-
- DECC y Defra - Department of Energy and Climate Change y Department for Environment, Food and Rural Affairs. (2012). *2012 Guidelines to Defra / DECC's GHG Conversion Factors for Company Reporting: Methodology Paper for Emission Factors*. London: Department for Environment, Food and Rural Affairs.
- Díaz, M. (2007). *Manual de maquinaria de construcción*. Madrid: McGraw-Hill.
- Dickie, I., y Howard, N. (2000). *Assessing environmental impacts of construction: industry consensus, BREEAM and UK Ecopoints*. Digest 446. Watford: BRE Centre for Sustainable Construction.
- Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 25 de junio de 2002 sobre evaluación y gestión del ruido ambiental. (18 de julio de 2002). *Diario Oficial de las Comunidades Europeas*, 189, págs. 12-25.
- Directiva 2007/46/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 5 de septiembre de 2007, por la que se crea un marco para la homologación de los vehículos de motor y de los remolques, sistemas, componentes y unidades técnicas independientes destinados a dichos vehículos. (9 de octubre de 2007). *Diario Oficial de la Unión Europea*, 263, págs. 1-160.
- Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 19 de noviembre de 2008 sobre los residuos y por la que se derogan determinadas Directivas. (22 de noviembre de 2008). *Diario Oficial de la Unión Europea*, 312, págs. 3-30.
- Eaton, K., y Amato, A. (1988). A comparative environmental life-cycle assessment of modern office buildings. *SCI Publication Series*, 182.
- EHE-08 Instrucción de Hormigón Estructural*. (2008). Ministerio de Fomento.
- Gangoellés, M., Casals, M., Gassó, S., Forcada, N., Roca, X., y Fuertes, A. (2009). A methodology for predicting the severity of environmental impacts related to the construction process of residential buildings. *Building and Environment*, 44, 558-571.
- Gangoellés, M., Casals, M., Gassó, S., Forcada, N., Roca, X., y Fuertes, A. (2011). Assessing concerns of interested parties when predicting the significance of environmental impacts related to the construction process of residential buildings. *Building and Environment*, 46, 1023-1037.
- Hammond, G., y Jones, C. (2008). Embodied energy and carbon in construction materials. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, EN2, 87-98.
- Hammond, G., y Jones, C. (2011). *Inventory of Carbon and Energy (ICE), Version 2.0*. Department of Mechanical Engineering, University of Bath.
- Hughes, L., Phear, A., Nicholson, D., Pantelidou, H., Soga, K., Guthrie, P., Kidd, A. y Fraser, N. (2011). Carbon dioxide from earthworks: a bottom-up approach. *Proceedings of ICE*, 164 (2), 66-72.
- ICE, ACE, CECA, y CIRIA. (2002). *Society, sustainability and civil engineering. A strategy and action plan, 2002-3*. London: Institution of Civil Engineers.
- IPCC. (2007). *Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de*. (R. Pachauri, y A. Reisinger, Edits.) Ginebra: IPCC.
- ITeC. (2012). *Bedec. Contingut i criteris*. Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya.

- JEC - Joint Research Centre-EUCAR-CONCAWE collaboration. (2011). *Well-to-Wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context, version 3c*.
- Kestner, D., Goupil, J., y Lorenz, E. (Edits.). (2010). *Sustainability guidelines for the structural engineer*. Virginia: American Society of Civil Engineers.
- Ley 10/1998, de 21 de abril, de Residuos (Disposición derogada). (22 de abril de 1998). *Boletín Oficial del Estado*, 96, págs. 13372-13384.
- Ley 11/1997, de 24 de abril, de Envases y Residuos de Envases. (25 de abril de 1997). *Boletín Oficial del Estado*, 99, págs. 13270-13277.
- Ley 16/2002, de 1 de julio, de Prevención y Control Integrados de la Contaminación. (2 de julio de 2002). *Boletín Oficial del Estado*, 157, págs. 23910-23927.
- Ley 2/2013, de 29 de mayo, de protección y uso sostenible del litoral y de modificación de la Ley 22/1988, de 28 de julio, de Costas. (30 de mayo de 2013). *Boletín Oficial del Estado*, 129, págs. 40691-40736.
- Ley 22/1988, de 28 de julio, de Costas. (29 de julio de 1988). *Boletín Oficial del Estado*, 181, págs. 23386-23401.
- Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados. (29 de julio de 2011). *Boletín Oficial del Estado*, 181, págs. 85650-85705.
- Ley 26/2007, de 23 de octubre, de Responsabilidad Medioambiental. (24 de octubre de 2007). *Boletín Oficial del Estado*, 255, págs. 43229-43250.
- Ley 27/2006, de 18 de julio, por la que se regulan los derechos de acceso a la información, de participación pública y de acceso a la justicia en materia de medio ambiente (incorpora las Directivas 2003/4/CE y 2003/35/CE). (19 de julio de 2006). *Boletín Oficial del Estado*, 171, págs. 27109-27123.
- Ley 34/2007, de 15 de noviembre, de calidad del aire y protección de la atmósfera. (16 de noviembre de 2007). *Boletín Oficial del Estado*, 275, págs. 46962-46987.
- Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido. (18 de noviembre de 2003). *Boletín Oficial del Estado*, 276, págs. 40494-40505.
- Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad. (14 de diciembre de 2007). *Boletín Oficial del Estado*, 299, págs. 51275-51327.
- Ley 9/2006, de 28 de abril, sobre evaluación de los efectos de determinados planes y programas en el medio ambiente. (29 de abril de 2006). *Boletín Oficial del Estado*, 102, págs. 16820-16830.
- Naciones Unidas. (1998). *Protocolo de Kioto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*.
- Ng, T., Chen, Y., y Wong, J. (2013). Variability of building environmental assessment tools on evaluating carbon emissions. *Environmental Impact Assessment Review*, 38, 131-141.
- Norma UNE 22-381-93 *Control de vibraciones producidas por voladuras*. (1993). Madrid: Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR).
- Orden de 7 de diciembre de 2001 por la que se modifica el anexo I del Real Decreto 1406/1989, de 10 de noviembre, por el que se imponen limitaciones a la comercialización

-
- y al uso de ciertas sustancias y preparados peligrosos. (14 de diciembre de 2001). *Boletín Oficial del Estado*, 299, págs. 47156-47157.
- Pearce, D. (2003). *The social and economic value of construction: the construction industry's contribution to sustainable development 2003*. London: nCRISP, the Construction Industry Research and Innovation Strategy Panel.
- Real Decreto 100/2011, de 28 de enero, por el que se actualiza el catálogo de actividades potencialmente contaminadoras de la atmósfera y se establecen las disposiciones básicas para su aplicación. (29 de enero de 2011). *Boletín Oficial del Estado*, 25, págs. 9540-9568.
- Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire. (2011). *Boletín Oficial del Estado*, 25, 9574-9626.
- Real Decreto 105/2008, de 1 de febrero, por el que se regula la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición. (13 de febrero de 2008). *Boletín Oficial del Estado*, 38, págs. 7724-7730.
- Real Decreto 108/1991, de 1 de febrero, sobre la prevención y reducción de la contaminación del medio ambiente producida por el amianto. (6 de febrero de 1991). *Boletín Oficial del Estado*, 32, págs. 4062-4064.
- Real Decreto 1131/1988, de 30 de septiembre, por el que se aprueba el Reglamento para la ejecución del Real Decreto Legislativo 1302/1986, de 28 de junio, de Evaluación de Impacto Ambiental. (5 de octubre de 1988). *Boletín Oficial del Estado*, 239, págs. 28911-28916.
- Real Decreto 117/2003, de 31 de enero, sobre limitación de emisiones de compuestos orgánicos volátiles debidas al uso de disolventes en determinadas actividades. (7 de febrero de 2003). *Boletín Oficial del Estado*, 33, págs. 5030-5041.
- Real Decreto 1367/2007, de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas. (23 de octubre de 2007). *Boletín Oficial del Estado*, 254, págs. 42952-42973.
- Real Decreto 1370/2006, de 24 de noviembre, por el que se aprueba el Plan Nacional de Asignación de derechos de emisión de gases de efecto invernadero, 2008-2012. (25 de noviembre de 2006). *Boletín Oficial del Estado*, 282, págs. 41320-41440.
- Real Decreto 139/2011, de 4 de febrero, para el desarrollo del Listado de Especies Silvestres en Régimen de Protección Especial y del Catálogo Español de Especies Amenazadas. (23 de febrero de 2011). *Boletín Oficial del Estado*, 46, págs. 20912-20951.
- Real Decreto 1471/1989, de 1 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento general para desarrollo y ejecución de la Ley 22/1988, de 28 de julio, de Costas. (12 de diciembre de 1989). *Boletín Oficial del Estado*, 297, págs. 38459-38485.
- Real Decreto 1513/2005, de 16 de diciembre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a la evaluación y gestión del ruido ambiental. (17 de diciembre de 2005). *Boletín Oficial del Estado*, 301, págs. 41356-41363.
- Real Decreto 1997/1995, de 7 de diciembre, por el que se establecen medidas para contribuir a garantizar la biodiversidad mediante la conservación de los hábitats naturales y de la

- fauna y flora silvestres. (28 de diciembre de 1995). *Boletín Oficial del Estado*, 310, págs. 37310-37333.
- Real Decreto 2090/2008, de 22 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de desarrollo parcial de la Ley 26/2007, de 23 de octubre, de Responsabilidad Medioambiental. (23 de diciembre de 2008). *Boletín Oficial del Estado*, 308, págs. 51626-51646.
- Real Decreto 212/2002, de 22 de febrero, por el que se regulan las emisiones sonoras en el entorno debidas a determinadas máquinas de uso al aire libre. (1 de marzo de 2002). *Boletín Oficial del Estado*, 52, págs. 8196-8238.
- Real Decreto 227/2006, de 24 de febrero, por el que se complementa el régimen jurídico sobre la limitación de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles en determinadas pinturas y barnices y en productos de renovación del acabado de vehículos. (25 de febrero de 2006). *Boletín Oficial del Estado*, 48, págs. 7776-7781.
- Real Decreto 509/2007, de 20 de abril, por el que se aprueba el Reglamento para el desarrollo y ejecución de la Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación. (21 de abril de 2007). *Boletín Oficial del Estado*, 96, págs. 17704-17717.
- Real Decreto 679/2006, de 2 de junio, por el que se regula la gestión de los aceites industriales usados. (3 de junio de 2006). *Boletín Oficial del Estado*, 132, págs. 21061-21070.
- Real Decreto 782/1998, de 30 de abril, por el que se aprueba el Reglamento para el desarrollo y ejecución de la Ley 11/1997, de 24 de abril, de Envases y Residuos de Envases. (1 de mayo de 1998). *Boletín Oficial del Estado*, 104, págs. 14701-14716.
- Real Decreto 833/1988, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento para la ejecución de la Ley 20/1986, Básica de Residuos Tóxicos y Peligrosos. (30 de julio de 1988). *Boletín Oficial del Estado*, 182, págs. 23534-23561.
- Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, por el que se aprueba el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, que desarrolla los títulos preliminar I, IV, V, VI y VII de la Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas. (30 de abril de 1986). *Boletín Oficial del Estado*, 103, págs. 15500-15537.
- Real Decreto 9/2005, de 14 de enero, por el que se establece la relación de actividades potencialmente contaminantes del suelo y los criterios y estándares para la declaración de suelos contaminados. (18 de enero de 2005). *Boletín Oficial del Estado*, 15, págs. 1833-1843.
- Real Decreto 927/1988, de 29 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de la Administración Pública del Agua y de la Planificación Hidrológica, en desarrollo de los títulos II y III de la Ley de Aguas. (31 de agosto de 1988). *Boletín Oficial del Estado*, 209, págs. 26412-26425.
- Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas. (24 de julio de 2001). *Boletín Oficial del Estado*, 176, págs. 26791-26817.
- Real Decreto Legislativo 1/2008, de 11 de enero, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Evaluación de Impacto Ambiental de proyectos. (26 de enero de 2008). *Boletín Oficial del Estado*, 23, págs. 4986-5000.

Real Decreto-ley 5/2004, de 27 de agosto, por el que se regula el régimen del comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero. (28 de agosto de 2004). *Boletín Oficial del Estado*, 208, págs. 30096-30111.

REE. (2012). *El sistema eléctrico español. Avance del informe 2012*. Alcobendas: Red Eléctrica de España.

Reglamento (CE) nº 595/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 18 de junio de 2009, relativo a la homologación de los vehículos de motor y los motores en lo concerniente a las emisiones de los vehículos pesados (Euro VI) y al acceso a la información sobre reparación y mantenimiento de vehículos y por el que se modifica el Reglamento (CE) nº 715/2007 y la Directiva 2007/46/CE y se derogan las Directivas 80/1269/CEE, 2005/55/CE y 2005/78/CE. (18 de julio de 2009). *Diario Oficial de la Unión Europea*, 188, págs. 1-13.

Reglamento (CE) nº 715/2007 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 20 de junio de 2007, sobre la homologación de tipo de los vehículos de motor por lo que se refiere a las emisiones procedentes de turismos y vehículos comerciales ligeros (Euro 5 y Euro 6) y sobre el acceso a la información relativa a la reparación y el mantenimiento de los vehículos. (29 de junio de 2007). *Diario Oficial de la Unión Europea*, 171, págs. 1-16.

SEOPAN. (2005). *Manual de costes de maquinaria de construcción. Edición 2005*. SEOPAN, Asociación de empresas constructoras de ámbito nacional, Comisión de maquinaria.

Spencer, P., Hendy, C., y Petty, R. (2012). Quantification of sustainability principles in bridge projects. *Proceedings of the ICE - Bridge Engineering*, 165 (2), 81-89.

The Institution of Structural Engineers. (1999). *Building for a sustainable future: Construction without depletion*. London: The Institution of Structural Engineers.

UNECE. (1998). *Convención sobre el acceso a la información, la participación del público en la toma de decisiones y el acceso a la justicia en asuntos ambientales*. Aarhus: Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa, Comité de Política Ambiental.

REFERENCIAS SOBRE IMPACTO SOCIAL

A continuación se presentan las referencias generales correspondientes al Capítulo 7 y Anexo C:

Ajuntament de Barcelona. (1999). *Manual de qualitat de les obres. Implantació i incidència en l'àmbit de domini públic*.

Ajuntament de Barcelona. (2009a). *Ambientalització de les obres a la ciutat de Barcelona. Guia de control de l'ambientalització de l'execució d'obres*.

Ajuntament de Barcelona. (2009b). Decret de l'Alcaldia. Manual bàsic per l'elaboració de la Memòria Ambiental. *Gaseta Municipal de Barcelona*, 29, págs. 2882-2900.

Ajuntament de Barcelona. (2011). Decret de l'Alcaldia. Aprovació de la Instrucció relativa a l'auscultació de les obres de promoció municipals. *Gaseta Municipal de Barcelona*, 28, págs. 2977-3018.

- Ajuntament de Barcelona. (2012). *Pla de mobilitat urbana de Barcelona 2013-2018. Introducció, diagnòsi i escenaris*.
- Ajuntament de Barcelona. (2013). *(Borrador) Manual de qualitat de les obres a la ciutat de Barcelona. Implantació i incidència en l'àmbit del domini públic*. Canter, L. (1997). *Manual de evaluación de impacto ambiental. Técnicas para la elaboración de los estudios de impacto*. Madrid: McGraw-Hill.
- CIRIA. (2001). *Sustainable construction: company indicators*. Londres: Construction Industry Research and Information Association.
- Comisión provincial de urbanismo de Barcelona. (1976). *Plan General Metropolitano de Ordenación Urbana*. Registro de planeamiento urbanístico de Cataluña (Expediente nº 1976/000477/B).
- Conesa, V. (2009). *Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental*. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa.
- Decret 135/1995, de 24 de març, de desplegament de la Llei 20/1991, de 25 de novembre, de promoció de l'accessibilitat i de supressió de barreres arquitectòniques, i d'aprovació del Codi d'accessibilitat. (28 de 4 de 1995). *Diari Oficial de la Generalitat de Catalunya, 2043*, págs. 3369-3389.
- Domènech, L. (2009). *Manual de qualitat de les obres a l'espai públic*. Tutor: Manuel Valdés. Universitat Politècnica de Catalunya.
- Gangoles, M., Casals, M., Gassó, S., Forcada, N., Roca, X., y Fuertes, A. (2011). Assessing concerns of interested parties when predicting the significance of environmental impacts related to the construction process of residential buildings. *Bilding and Environment, 46*, págs. 1023-1037.
- ICE, ACE, CECA y CIRIA. (2002). *Society, sustainability and civil engineering. A strategy and action plan, 2002-3*. London: Institution of Civil Engineers.
- Idescat - Institut d'Estadística de Catalunya. (s.f.). Recuperado en julio de 2014, de Evolució de la població. Xifres oficials: <http://www.idescat.cat/dequavi/?TC=444&V0=1&V1=1>
- Ley 16/1985, de 25 de junio, del Patrimonio Histórico Español. (29 de junio de 1985). *Boletín Oficial del Estado, 155*, págs. 20342-20352.
- Llei 20/1991, de 25 de novembre, de promoció de l'accessibilitat i de supressió de barreres arquitectòniques. (4 de 12 de 1991). *Diari Oficial de la Generalitat de Catalunya, 1526*, págs. 6156-6159.
- Llei 9/1993, de 30 de setembre, del Patrimoni Cultural Català. (11 de octubre de 1993). *Diari Oficial de la Generalitat de Catalunya, 1807*, págs. 6748-6758.
- Real Decreto 212/2002, de 22 de febrero, por el que se regulan las emisiones sonoras en el entorno debidas a determinadas máquinas de uso al aire libre. (1 de marzo de 2002). *Boletín Oficial del Estado, 52*, págs. 8196-8238.
- Real Decreto 2822/1998, de 23 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento General de Vehículos. (26 de enero de 1999). *Boletín Oficial del Estado, 22*, págs. 3440-3528.
- Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. (28 de marzo de 2006). *Boletín Oficial del Estado, 74*, págs. 11816-11831.

Real Decreto Legislativo 1/2008, de 11 de enero, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Evaluación de Impacto Ambiental de proyectos. (26 de enero de 2008). *Boletín Oficial del Estado*, 23, págs. 4986-5000.

Sede Electrónica del Catastro. Recuperado en julio de 2014, de <https://www1.sedecatastro.gob.es/OVCFrames.aspx?TIPO=CONSULTA>

Spencer, P., Hendy, C., y Petty, R. (2012). Quantification of sustainability principles in bridge projects. *Proceedings of the ICE - Bridge Engineering*, 165 (2), 81-89.

Toronto-York Spadina Subway Extension. Recuperado el 12 de diciembre de 2013, de Toronto Transit Commission: <http://www.ttc.ca/Spadina/index.jsp>

Valdes-Vasquez, R., y Klotz, L. (2013). Social sustainability considerations during planning and design: framework of processes for construction projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, 139 (1), 80-89.

van Wijck, A. (2012). *Winning back trust in Amsterdam metro*. Recuperado el 12 de diciembre de 2013, de Tunnel Talk: <http://www.tunneltalk.com/Discussion-Forum-Sep12-Transparent-communication-strategy-transforms-public-perception-of-troubled-Amsterdam-North-South-Metro.php>

Yamanaka, H. (1983). Social and environmental impacts: Edens project. *Journal of Transportation Engineering*, 109 (5), 721-732.

Anexo A

Riesgos laborales

El presente anexo incluye la siguiente información:

- Se analiza cada riesgo de la siguiente forma:
 - Se define cada riesgo a considerar y las actividades en las que se presenta, comentando las principales medidas preventivas a adoptar. Se incluyen los comentarios más relevantes de las entrevistas a los expertos en prevención de riesgos laborales.
 - Se indica si el trabajo está considerado como trabajo con riesgos especiales para la seguridad y salud de los trabajadores y se incluye la referencia de la legislación que así lo considera¹.
 - Se incluyen algunos riesgos de accidentes de trabajo y enfermedades profesionales que no se utilizan para el cálculo del IRL y se justifica su exclusión.
- En la tabla A.2, se indica, para cada riesgo, la legislación, guías técnicas, notas técnicas y otros documentos de referencia utilizados en su definición.
- En la tabla A.3, se lista toda la legislación sobre seguridad y salud consultada, incluyendo la legislación más general que no se traduce directamente en un riesgo. Se incluye también un análisis jurídico.

¹ Se considera que un trabajador está expuesto a un riesgo de especial gravedad cuando de dicha exposición, aunque sea limitada en su duración o intensidad, puede derivarse un daño grave para su salud. La calificación del riesgo debe ser hecha después de que se hayan aplicado los principios de prevención, como es exigible (Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relativos a las obras de construcción).

De aquí en adelante y para las citas del Anexo A de riesgos laborales, Real Decreto se escribirá como RD, las Guías técnicas se escribirán como GT seguida de una palabra que permita su identificación (por ej. Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relativos a la utilización de equipos de trabajo se escribirá como GT equipos de trabajo) y las Notas Técnicas de Prevención se indicarán por las siglas NTP seguidas únicamente de su número correspondiente.

A.1. CÓMPUTO DE HORAS-PERSONA PARA CADA RIESGO LABORAL CONSIDERADO

A.1.1. Caída de personas a distinto nivel – Trabajos en altura o en profundidad con desnivel superior a 2 m

Se entiende por trabajos en altura aquellos que se ejecutan en un lugar por encima del nivel de referencia, entendiendo como tal la superficie sobre la cual se puede caer (GT obras de construcción).

A efectos de la presente metodología, se consideran únicamente los trabajos que se realizan a una altura superior a 2 metros ya que a partir de esta altura es obligatorio disponer barandillas o cualquier otro sistema de protección colectiva que proporcione

una seguridad equivalente (RD 2177/2004, NTP 123, NTP 124). La altura de 2,00 m se mide desde la superficie en la que está situado el trabajador hasta la superficie del nivel inferior en la que quedaría retenido si no se dispusiera de un medio de protección (GT obras de construcción). Se incluyen tanto los trabajos en los que se pueda caer desde altura (andamios, plataformas de trabajo, etc.) como los trabajos en los que se pueda caer en profundidad (excavaciones, aperturas en el suelo, pozos, etc.)

En las NTP 530, NTP 531 y NTP 532 se pueden encontrar referencias a los andamios colgados móviles. En las NTP 669 y NTP 670 se hace referencia a los andamios prefabricados de sistema modular. En las NTP 695 y NTP 696 se explica sobre las torres de trabajo móviles. Las NTP 734 y NTP 735 hacen referencia a las torres de acceso. Las NTP 836 y NTP 837 tratan de los encofrados trepantes. En las NTP 682, NTP 683 y NTP 684 se habla de los trabajos verticales.

En lugares de trabajo en zonas con peligro de caída de altura de más de 2 metros se debería colocar una advertencia de peligro de acuerdo con lo establecido en el RD 485/1997. Los trabajos en altura sólo podrán efectuarse cuando las condiciones meteorológicas no pongan en peligro la salud y la seguridad de los trabajadores (RD 2177/2004).

En las entrevistas a expertos, se han comentado las principales causas de accidente por caída en altura:

- En encofrados, por falta de red y por no adoptar otra protección en el momento de colocar la red.
- En andamios, por fallo de barandilla o por subir por el lateral en vez de por la escalera interior durante la fase de montaje. Actualmente, los andamios están fabricados con la calidad adecuada y, en general, no generan problemas por fallo.
- En huecos interiores, por no colocar una protección en el hueco.
- En el caso de plataformas de trabajo para el cambio de herramientas de corte de la tuneladora, el accidente por caída en altura es raro ya que los trabajadores están atados. Además, en caso de caída, sería sobre la bentonita en la que, en teoría, se flota. Si se produce un accidente en condiciones hiperbáricas, existe un riesgo añadido porque el accidentado no puede salir inmediatamente; tiene que esperar en la cámara de descompresión aunque puede entrar un médico en la cámara.
- En el caso de cajones marítimos, el interior del cajón está parcialmente lleno de agua. En caso de caída, el trabajador o bien choca contra la pared o cae al agua, por ello los trabajadores están obligados a llevar chaleco salvavidas. Otra solución es la colocación de una red o mallazo.
- En la construcción de espigones no hay riesgo de caída en altura ya que solamente trabaja el gruista y, como mucho, hay otro trabajador indicando.
- En caso de encofrados trepantes, durante el proceso normal de encofrado y hormigonado la situación es segura. Se puede producir el accidente en el momento de elevación y anclaje porque:
 - La plataforma está desprotegida.
 - La plataforma cuelga de la grúa mientras se está anclando a la estructura. Si la grúa se levanta y cae por exceso de peso o distancia,

la plataforma también cae. Un accidente de este tipo se produjo en la construcción de la presa de Baells.

Existen medidas para evitar este tipo de accidente. El izado de la plataforma se realiza de manera que tiene una plataforma fija a cada lado. Se pueden colocar unas eslingas desde la plataforma que se va a elevar a las dos plataformas fijas de manera que si la grúa se levanta, la plataforma quedaría colgada de las otras dos plataformas fijas, entonces la grúa se libera del peso y se evita el vuelco. Además, no tiene que haber nadie en la plataforma hasta que ya esté elevada y los trabajadores deben estar atados a su plataforma. Todos los accidentes que se han producido de este tipo han sido debidos a una excesiva confianza.

Por ello, es muy importante una buena gestión del proceso de trabajo. En general fallan aspectos de carácter humano y de mala organización.

Los trabajos con riesgos especialmente graves de caída desde altura, por las particulares características de la actividad desarrollada, los procedimientos aplicados o el entorno del puesto de trabajo, se consideran actividades o procesos peligrosos o con riesgos especiales para la seguridad y salud de los trabajadores según el Anexo I del RD 39/1997, el Anexo II del RD 1627/1997 y el RD 604/2006.

A.1.2. Contacto eléctrico directo o indirecto – Trabajos eléctricos, próximos a líneas eléctricas o con maquinaria eléctrica en condiciones húmedas

Se entiende por instalación eléctrica todo conjunto de aparatos y circuitos destinados a la producción, conversión, transformación, transmisión, distribución o utilización de la energía eléctrica (RD 842/2002). Se considera riesgo eléctrico el originado por la energía eléctrica ya sea por contacto con elementos en tensión (contacto eléctrico directo) o con masas puestas accidentalmente en tensión (contacto eléctrico indirecto), en general debido a un fallo de aislamiento.

Antes del comienzo de la actividad se identificarán las posibles líneas aéreas, subterráneas u otras instalaciones eléctricas existentes en la zona de trabajo o en sus cercanías. Cuando existan líneas de tendido eléctrico aéreas que puedan afectar a la seguridad en la obra será necesario desviarlas fuera del recinto de la obra o dejarlas sin tensión.

Todo trabajo en una instalación eléctrica, o en su proximidad, que conlleve un riesgo eléctrico deberá efectuarse sin tensión, salvo en los casos que se indican en el RD 614/2001:

- Operaciones elementales en instalaciones de baja tensión (cuya tensión nominal es igual o inferior a 1000 voltios para corriente alterna y 1500 voltios para corriente continua, RD 842/2002).
- Trabajos en instalaciones con tensiones de seguridad (según la GT riesgo eléctrico, a falta de una definición formal de tensiones de seguridad en la ITC-

BT-01 del RD 842/2002 cabe interpretar que la expresión “tensión de seguridad” corresponde a “Muy Baja Tensión de Seguridad” definida en la ITC-BT-36 como una tensión nominal que no excede de 50 voltios en corriente alterna y 75 voltios en corriente continua).

- Maniobras, mediciones, ensayos y verificaciones cuya naturaleza así lo exija.
- Trabajos en instalaciones cuyas condiciones de explotación o de continuidad del suministro así lo requieran.

Si esto no fuera posible, se colocarán barreras o avisos para que los vehículos y las instalaciones se mantengan alejados de los elementos en tensión y se informará a los trabajadores involucrados. En el caso que los vehículos de la obra tuvieran que circular bajo el tendido se utilizará una señalización de emergencia y una protección de delimitación de altura (Anexo IV del RD 1627/1997).

Los trabajos en la proximidad de líneas eléctricas de alta tensión implican riesgos especiales para la seguridad y salud de los trabajadores según el Anexo I del RD 39/1997 y el Anexo II del RD 1627/1997 y están sometidos a medidas preventivas específicas. Se considera alta tensión toda tensión nominal superior a 1 kV (RD 223/2008).

Según las entrevistas a expertos, en caso de producirse un accidente de este tipo, normalmente se trata de una muerte. A no ser que se produzca una explosión, no se producen varias muertes ya que normalmente es una sola persona que entra en contacto con el elemento en tensión.

Trabajos sin tensión

Según el RD 614/2001, se entienden como trabajos sin tensión los trabajos en instalaciones eléctricas que se realizan después de haber tomado todas las medidas necesarias para mantener la instalación sin tensión. Para dejar sin tensión una instalación, antes de iniciar el trabajo, se tiene que seguir un proceso de cinco etapas:

1. Desconectar.
2. Prevenir cualquier posible realimentación.
3. Verificar la ausencia de tensión.
4. Poner a tierra y en cortocircuito.
5. Proteger frente a elementos próximos en tensión y establecer una señalización de seguridad para delimitar la zona de trabajo.

Estas operaciones y la reposición de la tensión las realizarán trabajadores autorizados. Hasta que no se hayan completado las cinco etapas no podrá autorizarse el inicio del trabajo sin tensión.

Según los expertos entrevistados, cuando existe una obra cerca de una línea eléctrica, normalmente no se deja la línea sin tensión, ya que se dejaría a un número elevado de personas sin suministro eléctrico. Solamente se suele dejar sin tensión en casos muy específicos por las necesidades de la obra como, por ejemplo, en la construcción de un puente en el que no se pueden colocar unas vigas por pasar excesivamente cerca

de la línea eléctrica. En caso de corte de tensión, éste suele ser por la noche para afectar lo menos posible al usuario eléctrico.

No existe riesgo eléctrico en los trabajos sin tensión. Por la rigurosidad de las operaciones para dejar sin tensión una instalación y la autorización necesaria para realizar dichos trabajos, no se contempla el caso en que se suponga que se ha dejado sin tensión una instalación y en realidad no sea así.

2a. Contacto eléctrico directo o indirecto – Trabajos en tensión en líneas eléctricas aéreas o algún otro elemento en tensión desprotegido (trabajos en la zona de peligro)

El trabajo en tensión es el trabajo durante el cual un trabajador entra en contacto con elementos en tensión, o entra en la zona de peligro, bien sea con una parte de su cuerpo, o con las herramientas, equipos, dispositivos o materiales que manipula.

La zona de peligro o zona de trabajos en tensión se define como el espacio alrededor de los elementos desnudos en tensión en el que la presencia de un trabajador desprotegido supone un riesgo grave e inminente de que se produzca un arco eléctrico, o un contacto directo con el elemento en tensión, teniendo en cuenta los gestos o movimientos normales que puede efectuar el trabajador sin desplazarse.

Los trabajos en tensión deberán ser realizados únicamente por trabajadores cualificados, siguiendo métodos y procedimientos especiales previamente estudiados.

Donde no se interponga una barrera física que garantice la protección frente a dicho riesgo, la distancia desde el elemento en tensión al límite exterior de la zona de peligro es la definida en la tabla 5.15 (D_{PEL}) que incluye el riesgo de sobretensión por rayo ya que, a priori, no se conoce si en el momento de la ejecución habrá tormenta (figura A.1).

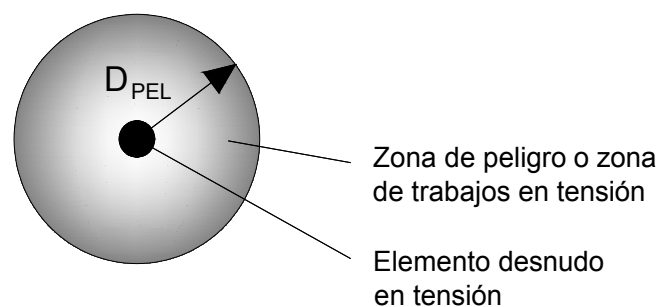


Figura A.1. Zona de peligro o de trabajos en tensión definida por la distancia de peligro (GT riesgo eléctrico).

Cuando se interponga una barrera física como, por ejemplo, una pared de obra, de mampostería, metálica puesta a tierra, o una pantalla dieléctrica (de nivel de aislamiento adecuado) debidamente estabilizada que garantice la protección frente a dicho riesgo, la zona de peligro quedará modificada como indica la figura A.2.

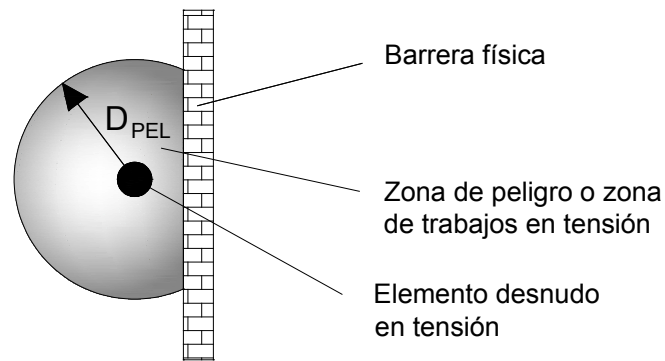


Figura A.2. Zona de peligro cuando se interpone una barrera física (GT riesgo eléctrico).

2b. Contacto eléctrico directo o indirecto – Trabajos en la zona de proximidad de líneas eléctricas aéreas o de algún otro elemento en tensión desprotegido

Es el trabajo durante el cual el trabajador entra, o puede entrar, en la zona de proximidad sin entrar en la zona de peligro, bien sea con una parte de su cuerpo, o con las herramientas, equipos, dispositivos o materiales que manipula.

La zona de proximidad es el espacio delimitado alrededor de la zona de peligro, desde la que el trabajador puede invadir accidentalmente esta última. Donde no se interponga una barrera física que garantice la protección frente al riesgo eléctrico, la zona de proximidad está delimitada interiormente por la distancia D_{PEL} y exteriormente por la distancia D_{PROX-1} o D_{PROX-2} , como se puede ver en la figura A.3.

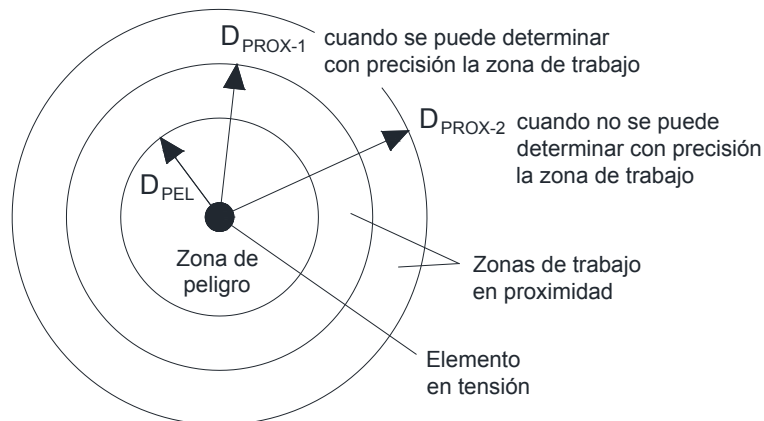


Figura A.3. Zonas de trabajo en proximidad (GT riesgo eléctrico).

De forma análoga a lo que ocurre con la zona de peligro, las zonas de proximidad se modifican cuando se interpone una barrera física adecuada, como las citadas anteriormente (GT riesgo eléctrico). La figura A.4 muestra este caso.

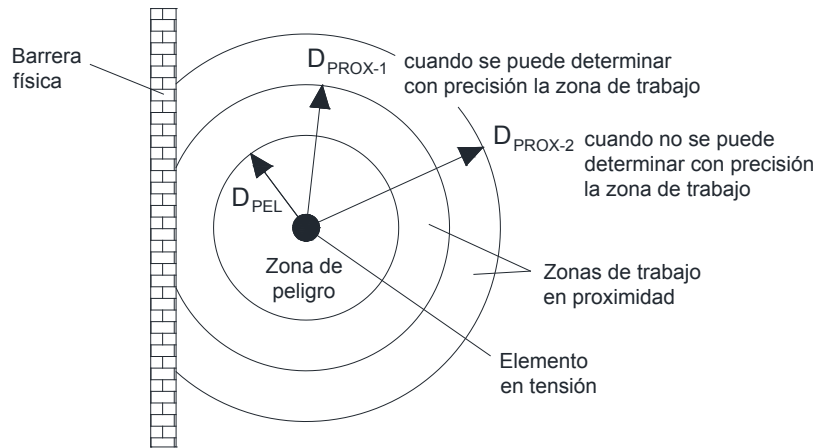


Figura A.4. Zonas de trabajo en proximidad cuando existe una barrera física (GT riesgo eléctrico).

Si la zona de trabajo se puede delimitar con precisión, la zona de proximidad vendrá definida por la distancia exterior D_{PROX-1} . Si la zona de trabajo no se puede delimitar con precisión o no se sabe si se podrá delimitar con precisión, se considerará la distancia D_{PROX-2} para definir la zona de proximidad (figuras A.5 y A.6). La precisión que interesa en la delimitación está en relación con el elemento o elementos en tensión.

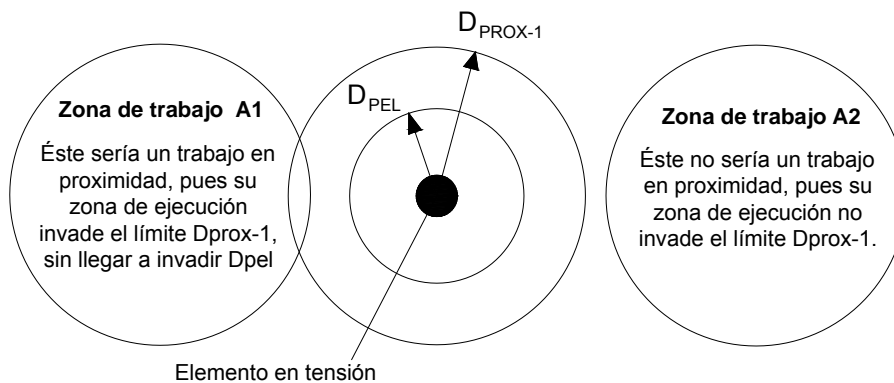


Figura A.5. Trabajos cuya zona de ejecución se puede delimitar con precisión (GT riesgo eléctrico).

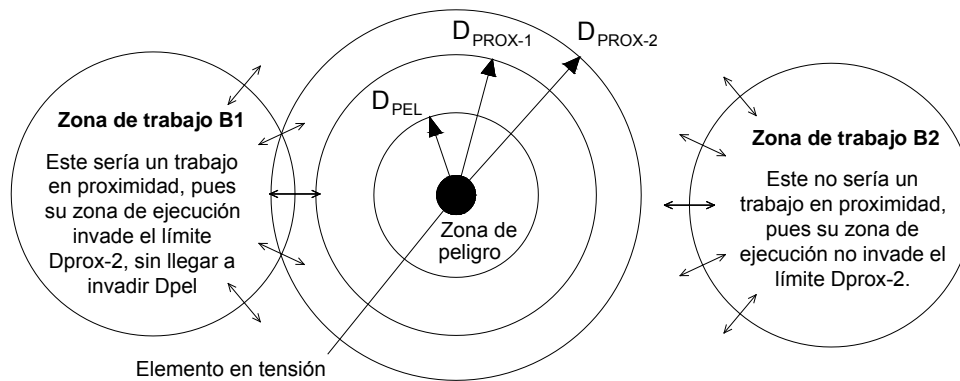


Figura A.6. Trabajos cuya zona de ejecución no se puede delimitar con precisión (GT riesgo eléctrico).

Las distancias D_{PEL} , D_{PROX-1} y D_{PROX-2} , son las definidas en el RD 614/2001 (tabla 5.15).

En todo trabajo en proximidad de elementos en tensión, el trabajador deberá permanecer fuera de la zona de peligro y lo más alejado de ella que el trabajo permita teniendo en cuenta que las herramientas u objetos conductores que porte el trabajador se consideran una prolongación de su cuerpo.

Para garantizar que no se invada la zona de peligro, se recomienda no entrar en la zona de proximidad de líneas aéreas cuando se trabaje con máquinas o elementos que puedan aumentar el riesgo de accidente (como elementos de gran longitud, como perfiles o tubos metálicos, escaleras, grúas y vehículos con brazos articulados). En el caso de que los equipos o máquinas tengan que colocarse en una situación desde la que pudieran alcanzar la zona de peligro debido a una falsa maniobra se deberán poner barreras o dispositivos que limiten la amplitud del movimiento de la parte móvil del equipo.

2c. Contacto eléctrico directo o indirecto – Trabajos cerca de líneas eléctricas subterráneas en tensión

Antes de perforar el subsuelo es necesario conocer si existen líneas eléctricas subterráneas. Las empresas eléctricas tienen que facilitar toda la información necesaria para poder adoptar las medidas adecuadas de seguridad y salud. Estas canalizaciones deben estar señalizadas y protegidas, aunque en ocasiones no cumplen estos requisitos. La utilización de detectores de redes eléctricas permite conocer su posición exacta y evitar perforarlas y sufrir un contacto eléctrico.

Algunos de los equipos que pueden aumentar el riesgo de accidente eléctrico en los trabajos en proximidad de cables subterráneos son los siguientes:

- máquinas excavadoras
- máquinas perforadoras
- martillos neumáticos

En la GT obras de construcción exponen los procedimientos para realizar movimientos de tierras que puedan interceptar canalizaciones subterráneas con peligro, incluyendo las canalizaciones eléctricas. Estas recomendaciones hacen referencia a los medios a utilizar según la distancia a la canalización, una vez localizada:

- Hasta 100 cm de distancia respecto a la canalización se puede emplear maquinaria.
- Entre 100 cm y 50 cm se pueden usar herramientas mecánicas como, por ejemplo, el martillo neumático.
- A una distancia inferior a los 50 cm se aplicarán medios manuales para reducir el riesgo de perforar el cable.

En la GT riesgo eléctrico se indican las mismas distancias.

2d. Contacto eléctrico directo o indirecto – Trabajos con maquinaria eléctrica en condiciones húmedas

Toda la maquinaria eléctrica que se utiliza en obra se considera que trabaja en condiciones húmedas y por ello debe tener un doble aislamiento (equipo de clase II). Esta medida está destinada a impedir la aparición de tensiones peligrosas en las partes accesibles de un equipo de trabajo cuando se produce un fallo en el aislamiento principal (GT equipos de trabajo).

Según las entrevistas a expertos, hoy en día, el riesgo eléctrico debido a la máquina se supone solucionado gracias al doble aislamiento. Por este motivo y para la maquinaria y herramientas de obra en general, no se considerará el riesgo eléctrico, a excepción de la hormigonera eléctrica móvil y semi-fija, ya que realmente trabaja en condiciones húmedas que multiplican el riesgo de accidente por contacto eléctrico indirecto (NTP 121). Existen pocos casos de accidente eléctrico con hormigonera, los entrevistados conocen solamente un caso mortal.

Aunque el vibrador de hormigón eléctrico, al igual que la hormigonera, trabaja en condiciones húmedas, no se considera el riesgo eléctrico por trabajar en tensiones de seguridad.

Los expertos entrevistados comentan que, además, existe el riesgo por mal uso, por ejemplo, cuando se deteriora algún elemento eléctrico y en vez de hacerlo reparar adecuadamente, lo siguen utilizando mientras terminan el trabajo. En el pasado se producían muchos accidentes de este tipo; actualmente son cada vez más raros.

A.1.3. Quemaduras por incendio y explosión debido a rotura accidental de tubería – Trabajos en proximidad de conducciones de combustibles

Se entiende por atmósfera explosiva la mezcla con el aire, en condiciones atmosféricas, de sustancias inflamables en forma de gases, vapores, nieblas o polvos, en la que, tras una ignición, la combustión se propaga a la totalidad de la mezcla no quemada (RD 681/2003). El riesgo de incendio o explosión depende básicamente de las características del combustible y de las posibles fuentes de ignición. Las fuentes de ignición pueden ser de muy diferentes tipos: chispas de origen electrostático o mecánico, descargas electrostáticas, llamas, gases o superficies calientes, reacciones exotérmicas, etc. (Anexo I de la GT equipos de trabajo). Según el RD 363/1995, se consideran peligrosos las sustancias y preparados inflamables y muy inflamables.

Es obligación del empresario impedir la formación de atmósferas explosivas, evitar su ignición y atenuar los daños y efectos perjudiciales de una posible explosión. El empresario deberá tomar diferentes medidas de carácter técnico u organizativo (NTP 826).

Igual que en las canalizaciones eléctricas, las canalizaciones de gas deben estar señalizadas y protegidas; no obstante, en ocasiones, no cumplen estos requisitos. La GT obras de construcción explica los procedimientos para realizar movimientos de tierras que puedan interceptar canalizaciones subterráneas con peligro, incluyendo

gas y combustible. Estas recomendaciones son las mismas que para las canalizaciones eléctricas además de evitar trabajos que produzcan chispas o fuego y de estar prohibido fumar en las cercanías de dichas canalizaciones. También está prohibido fumar en el lugar de trabajo, aunque éste se realice al aire libre.

Según los entrevistados, actualmente existen medios para detectar la proximidad de estas conducciones, por lo tanto no es un accidente que haya sucedido de forma habitual.

A.1.4. Inhalación de gas – Trabajos cerca de tuberías de gas

Además del riesgo anterior, si la tubería es de gas, también existe el riesgo de inhalación de gas.

Los expertos entrevistados conocen solamente un caso de muerte por asfixia debido a rotura de tubería de gas. El accidentado estaba trabajando solo, se desmayó y murió por abandono al no haber nadie cercano para socorrerle con rapidez. Normalmente trabaja más de una persona y siempre se la socorre.

A.1.5. Asfixia causada por sepultamiento por desprendimiento de materiales – Movimiento de tierras, excavaciones, pozos, trabajos subterráneos y túneles

Se incluyen en este apartado los movimientos de tierras, excavaciones, pozos, trabajos subterráneos y túneles (GT obras de construcción):

- El movimiento de tierras se define como el conjunto de trabajos que se realizan en el terreno para modificar adecuadamente su superficie, prepararlo para la construcción y adaptarlo a su forma definitiva. Comprende tanto la extracción como el aporte de tierras.
- La excavación es la extracción de tierras realizada en zonas localizadas del terreno.
- El pozo es la excavación vertical o inclinada en la que predomina la dimensión en profundidad sobre las otras dos.
- Los trabajos subterráneos son aquellos ejecutados en lugares o espacios que están por debajo de la cota del terreno y que tienen como techo el propio terreno.
- Un túnel es un paso subterráneo realizado para establecer una comunicación entre dos puntos.

Con carácter general se debe considerar peligrosa toda excavación que alcance una profundidad de 0,80 m en terrenos corrientes y 1,30 m en terrenos consistentes. En todos los casos se debe llevar a cabo un estudio previo del terreno con objeto de conocer la estabilidad del mismo (NTP 278).

En caso de zanjas de profundidad mayor que 1,30 metros, siempre que haya operarios trabajando en su interior, se debe mantener uno de retén en el exterior, que puede

actuar como ayudante y dar la alarma en caso de producirse alguna emergencia (NTP 278).

En caso de túneles, las tuneladoras ofrecen mayores cuotas de seguridad frente a otras técnicas de excavación, no obstante no eliminan todos los riesgos (NTP 905).

Según los expertos entrevistados, en el caso de excavación de túneles mediante tuneladoras, puede haber riesgo de desprendimiento durante el trabajo de mantenimiento o cambio de herramientas del frente:

- Si el terreno es suficientemente resistente no son necesarias las condiciones hiperbáricas. Si el terreno tienen menor resistencia que la prevista se pueden producir desprendimientos.
- Bajo condiciones hiperbáricas, si no se ha diseñado correctamente la presión de aire.

En el caso de excavación por rozadora el riesgo se va eliminando porque se va encofrando. La parte peligrosa es el frente, donde se encuentra la rozadora, los trabajadores se sitúan más atrás, en la zona hormigonada. Puede haber algún trabajador que se sitúe cerca del frente para inspeccionar el terreno.

Según los expertos, hace unos treinta años se producían muchos desprendimientos, pero con el transcurso del tiempo se han ido eliminando. Aunque pueden ocurrir todavía hoy, sería un caso excepcional en este tipo de trabajos.

Los trabajos con riesgos especialmente graves de sepultamiento, hundimiento, por las particulares características de la actividad desarrollada, los procedimientos aplicados o el entorno del puesto de trabajo así como las obras de excavación de túneles, pozos y otros trabajos que supongan movimientos de tierras subterráneos son considerados como trabajos que implican riesgos especiales para la seguridad y salud de los trabajadores por el Anexo II del RD 1627/1997. Además, los trabajos de excavación, movimientos de tierras y túneles con riesgo de sepultamiento o hundimiento se consideran como actividad o proceso peligroso o con riesgo especial por el RD 604/2006 y el Anexo I del RD 39/1997, y requiere la presencia en el centro de trabajo del recurso preventivo.

A.1.6. Proyección de partículas y explosión accidental – Voladuras en excavaciones, pozos, trabajos subterráneos y túneles

Se entiende por materias explosivas aquellas materias sólidas o líquidas (o mezcla de materias) que por reacción química puedan emitir gases a temperatura, presión y velocidad tales que puedan originar efectos físicos que afecten a su entorno (RD 230/1998). Según el RD 363/1995 y RD 255/2003, los explosivos se consideran sustancias y preparados peligrosos.

En todas las obras en las que se consuman explosivos debe llevarse un libro de registro específico en el que se consignarán diariamente las entradas, salidas y existencias, así como los datos de identificación del material, del efectivamente consumido y del sobrante, y de todo el personal que ha intervenido (RD 227/2005). No

se permite transportar simultáneamente detonadores y explosivos ni tampoco almacenarse en los mismos nichos del polvorín (RD 863/1985).

Según los entrevistados, si la voladura se realiza siguiendo todos los pasos del procedimiento de trabajo establecido no puede producirse una explosión accidental, solamente se produce en caso de método de trabajo incorrecto, por excesiva confianza. Dos ejemplos de este tipo de accidente son: en una galería de reconocimiento previa al túnel del Cadí y en el túnel del Vielha.

Los trabajos que impliquen el uso de explosivos son considerados trabajos con riesgos especiales para la seguridad y salud de los trabajadores por el Anexo I del RD 39/1997 y el Anexo II del RD 1627/1997 y deben seguir disposiciones preventivas específicas.

A.1.7. Accidente disbárico o por descompresión – Trabajos en condiciones hiperbáricas

Los trabajos en condiciones hiperbáricas son los realizados a una presión ambiental superior a la atmosférica habitual. Estos trabajos pueden realizarse en el aire, como en el caso de las tuneladoras EPB (Earth Pressure Balance), o en el agua, como en los trabajos subacuáticos para el posicionamiento de cajones marítimos. Según la Orden de 14 octubre 1997, se denomina operación de buceo a toda incursión de personas en medio hiperbárico.

Las tuneladoras EPB se utilizan para la construcción de túneles en terrenos blandos, con poca cohesión y bajo el nivel freático. La cabeza de la tuneladora incorpora herramientas de corte que están sometidas a un importante desgaste debido a la abrasión del terreno. Para garantizar la seguridad del frente en terrenos inestables, la única forma de realizar inspecciones, operaciones de mantenimiento o cambio de estas herramientas es la generación de un ambiente hiperbárico. De esta forma, el personal especializado (personal hiperbárico) puede acceder a la rueda de corte previo paso por la cámara de precompresión (Fundación Laboral de la Construcción Catalunya, 2008)

Un accidente disbárico es una lesión originada por una mala o nula descompresión después de una actividad humana en medios líquidos o gaseosos sometidos a presión ambiental diferente a la atmosférica (Orden 14 octubre 1997 y NTP 905). La figura A.7 muestra la necesidad de descompresión según la profundidad y el tiempo de inmersión en medio acuático.

Los trabajos que se realicen en cajones o cámaras donde los trabajadores se encuentren sometidos a la acción del aire comprimido y las instalaciones y medios de trabajo correspondientes deben cumplir las normas señaladas en la Orden 20 de enero de 1956. Estas actividades, que están sometidas a la autorización de la Dirección General de Trabajo, deben realizarse bajo la dirección y vigilancia de un técnico competente con título oficial que acredite para ello y se les asigna un médico especialmente capacitado.

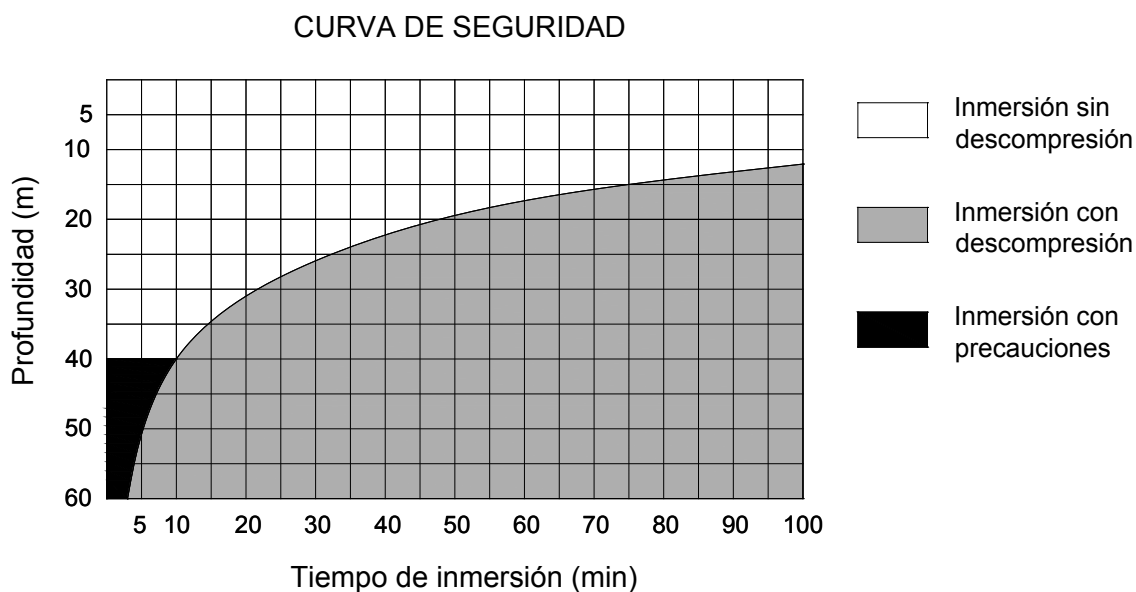


Figura A.7. Tabla de descompresión para tiempo de inmersión y distintas profundidades (Fundación Laboral de la Construcción Catalunya, 2008).

Los trabajos realizados en cajones de aire comprimido y los trabajos realizados en inmersión con equipo subacuático son considerados trabajos que implican riesgos especiales para la seguridad y salud de los trabajadores por el Anexo II del RD 1627/1997. Los trabajos en inmersión bajo el agua son considerados actividades o procesos peligrosos o con riesgos especiales por el Anexo I del RD 39/1997. Las inmersiones con equipo subacuático tienen disposiciones preventivas específicas.

A.1.8. Golpes o atrapamiento por movimiento o desprendimiento de carga – Manejo de cargas mediante medios mecánicos

Se incluyen en este apartado las actividades cuya finalidad es variar la posición en planta o altura de materiales y que se realizan con medios mecánicos. Algunos ejemplos de estos trabajos son los realizados con (Construccions Rubau *et al.*, 2007):

- elevadores de obras de construcción
- camión grúa
- carretilla elevadora automotora
- grúa autopropulsada o autotransportada
- grúa de celosía
- grúa torre
- manipuladoras telescópicas
- montacargas
- pórtico de vía pesado
- pórtico ligero de vía y desvíos
- pórtico grúa
- posicionadora de carriles
- etc.

La distribución en planta del lugar de trabajo se debe organizar de tal forma que ninguna persona tenga que trabajar o desplazarse bajo cargas suspendidas. Si por las necesidades de la tarea a realizar esto no es posible, se debe establecer un sistema de trabajo seguro, que incluya la comprobación de todos los equipos que se vayan a utilizar y la información a los trabajadores sobre los riesgos de la operación. Antes de iniciar la operación se debería dar una señal de advertencia con suficiente antelación. La operación se debería hacer bajo vigilancia, deteniéndola inmediatamente en caso necesario (GT equipos de trabajo).

Está prohibido elevar personas con equipos de trabajo que no están diseñados para ello, por tanto, la elevación de trabajadores sólo está permitida mediante equipos de trabajo y accesorios previstos a tal efecto (RD 1215/1997 y GT equipos de trabajo).

El desprendimiento o caída de los materiales puede producirse por numerosos motivos. En la NTP 77 se enumeran las causas relacionadas directamente con la unidad de carga tratada.

Según los entrevistados, en teoría, no existe riesgo para el maquinista si la máquina está bien protegida con la estructura de seguridad. El riesgo es a terceras personas que están trabajando en la zona. Sin embargo, como no se conocen las horas-persona de trabajadores que estarán trabajando en la zona, de cara a la valoración del IRL, se contabilizan las horas de trabajo del medio mecánico o, lo que es lo mismo, las horas-persona destinadas al manejo de cargas mediante medios mecánicos.

A.1.9. Golpes en extremidades superiores o inferiores – Manejo manual de cargas

Se entiende por manipulación manual de cargas cualquier operación de transporte o sujeción de una carga por parte de uno o varios trabajadores, como el levantamiento, la colocación, el empuje, la tracción o el desplazamiento, que por sus características entrañe riesgos para los trabajadores (RD 487/1997).

Se entiende por aparejos manuales los dispositivos destinados a elevar, descender y arrastrar cargas por tracción mediante el esfuerzo muscular del individuo, pudiendo estar provistos de algún dispositivo que multiplique el efecto de la potencia aplicada (NTP 78). Únicamente se considerarán los elementos de elevación que se accionen solamente por el propio esfuerzo de la persona que ha de manejarlo (NTP 167).

Algunos dispositivos o aparejos manuales que pueden utilizarse para el manejo manual de cargas son los siguientes (NTP 77, NTP 78, NTP 167, NTP 319):

- aparejo diferencial
- cabrestante a mano
- cabria
- capazo de goma
- carretilla metálica
- carro chino
- carro jaula o carro pepito

- cuadernal
- cubo o caldereta
- garrucha
- mecanismo diferencial
- motón
- polea
- torno de tracción
- torno diferencial
- torno simple
- transpaleta manual
- trócola a mano

A.1.10. Atropello o golpes debidos a maquinaria o vehículos pesados – Trabajos con maquinaria o vehículos pesados

A continuación se muestra una lista no exhaustiva de maquinaria y vehículos pesados (Construccions Rubau *et al.*, 2007):

- bateadora
- bulldozer
- camión articulado
- camión bomba de hormigón
- camión cisterna
- camión de obra y carretera
- camión dumper
- camión hormigonera
- camión plataforma
- cuba de riego
- compactador de neumáticos
- compactador con tándem vibratorio
- compactador de pisones
- cunetadora
- desguarnecedora de balasto
- draga
- dúmper
- estabilizador dinámico
- extendedora de hormigón
- extendedora de mezclas bituminosas en caliente
- excavadora de cadenas
- excavadora de ruedas
- fresadora
- gánguil o pontón
- hidrosebradora
- locotractor
- máquina de clavar tablestacas con mástil y vibrador
- máquina de sustitución de traviesas
- máquina perforadora de barrenas

- máquina pintabandas
- minicargadora
- motoniveladora
- mototrailla
- pala cargadora de cadenas
- pala cargadora de ruedas
- pantalladora
- perfiladora de balasto
- perforadora (topo, tuneladora)
- pilotadora de fabricación de pilotes para ser clavados con martinete
- pilotadora de fabricación de pilotes mediante máquina taladradora rotatoria
- retroexcavadora con martillo neumático
- retroexcavadora cargadora
- retro-minibarredora
- robojet (gunitadora)
- tractor
- tren de tolvas
- etc.

Por razones de seguridad se deberán separar siempre que sea posible las vías reservadas a los peatones de las reservadas a vehículos y medios de transporte (NTP 434).

Cuando un equipo de trabajo maniobre en una zona de trabajo, deberán establecerse y respetarse unas normas de circulación adecuadas que deberían contemplar: señales de circulación, marcado de las vías de circulación, limitación de la velocidad, etc. Se debe evitar que haya trabajadores de pie en la zona de trabajo de equipos de trabajo automotores; si se requiere su presencia para la realización del trabajo, deberán adoptarse medidas para evitar que resulten heridos por los equipos (RD 1215/1997 y GT equipos de trabajo).

Los conductores y personal encargado de vehículos y maquinarias para movimientos de tierras y manipulación de materiales deberán recibir una formación especial (Anexo III del RD 1627/1997).

De acuerdo con los entrevistados, no se considera el riesgo para el maquinista o conductor por vuelco de la máquina o vehículo pesado ya que disponen de cabina de seguridad y deben llevar puesto el cinturón de seguridad. Por lo tanto, el accidente produciría daños a trabajadores que se encuentren en la zona. Análogamente al riesgo producido por el manejo de cargas mediante medios mecánicos, como probablemente no se conozcan las horas-persona de los trabajadores que estarán en la zona, para la valoración del IRL, se contabilizan las horas-persona dedicadas al manejo de maquinaria pesada y vehículos pesados.

A.1.11. Cortes, heridas y golpes debido a maquinaria no pesada – Trabajo con maquinaria no pesada o herramientas manuales que cortan, perforan o dan golpes

A continuación se muestra una lista no exhaustiva de maquinaria no pesada (Construccions Rubau *et al.*, 2007):

- atornillador
- afiladora angular
- compresor
- cortadora de disco manual
- cortadora de pavimento
- dobladora mecánica de chatarra
- fratasadora
- gato de vía de cremallera con palanca de seguridad
- grupo electrógeno
- hormigonera eléctrica
- máquina atornilladora de percusión portátil
- máquina clavadora de precisión
- máquina de postesado
- máquina esmeriladora del contorno de la cabeza de carril
- máquina tronzadora de carriles
- martillo electroneumático
- motosierra – sierra de cinta o cadena
- pisón (compactador)
- pistola fijaclavos
- pulidora
- rodillo lanza (compactador)
- sierra de disco
- sierra de disco de diamante
- taladro portátil
- vibrador de hormigón

Las herramientas manuales se definen como los equipos de trabajo utilizados generalmente de forma individual y que únicamente requieren la aplicación directa de la fuerza motriz humana para realizar el trabajo (GT equipos de trabajo). A continuación se muestra una lista no exhaustiva de herramientas manuales (Construccions Rubau *et al.*, 2007, NTP 391, NTP 392 y NTP 393):

- alicates
- cepillos
- cinceles
- cuchillos
- destornilladores
- escolpos y punzones
- gatos
- hachas
- limas
- llaves

- martillos
- mazas
- palancas
- palas
- picos
- pies de cabra
- punzones
- rodillos tenaza
- sierras
- tijeras
- etc.

Las herramientas manuales constituyen una parte importante del número total de accidentes de trabajo y en particular los de carácter leve (NTP 391). En muchos casos los peligros generados por las herramientas manuales son debidos a un uso incorrecto o no previsto en su diseño, un mal estado de conservación, al transportarlas de forma peligrosa o dejarlas abandonadas en lugares inadecuados (GT equipos de trabajo, NTP 391, NTP 392 y NTP 393). Por ello hay que mantener las características iniciales de los equipos a lo largo del tiempo. Dicho mantenimiento debe realizarse por personal competente.

Debido a que los accidentes causados por herramientas manuales son principalmente de carácter leve no se han considerado relevantes para la evaluación general de la obra y no se tienen en cuenta en la metodología.

Se contabilizan las horas-persona empleadas en la utilización de la maquinaria no pesada siguiente: afiladora angular, bandeja vibrante, cizalla eléctrica, cortadora de disco manual, cortadora de pavimento, equipo de corte con hilo de diamante, equipo de postesado, equipo para anclaje de pernos, máquina para doblar barras de acero, máquina tronzadora de carriles, martillo manual perforador o rompedor neumático, motosierra (sierra de cinta o cadena), pisón (compactador), sierra de disco de mesa y sierra de diamante de mesa.

Siguiendo las indicaciones de los expertos en prevención, el resto de maquinaria no pesada no se considera en la metodología, ya que está muy protegida a fallo y, por tanto, la probabilidad de accidente es extremadamente baja.

A.1.12. Quemaduras – Soldadura, corte oxiacetilénico y adhesión de lámina asfáltica al soporte mediante soplete

Las soldaduras pueden realizarse mediante un:

- equipo de oxicorte
- equipo de soldadura por arco eléctrico

En la soldadura por arco eléctrico las quemaduras pueden tener lugar por proyecciones de partículas debidas al propio arco eléctrico y las piezas que se están soldando o al realizar operaciones de descascarillado. Se deben emplear mamparas

metálicas de separación de puesto de trabajo para que las proyecciones no afecten a otros operarios. El soldador debe utilizar pantalla de protección y tener cubiertas todas las partes del cuerpo antes de iniciar los trabajos de soldadura (NTP 494). En la NTP 495 se hablan de los riesgos y las normas de seguridad de la soldadura oxiacetilénica y el oxicorte.

En la NTP 904 se explican varios métodos para obtener una estimación de la energía calorífica incidente sobre los trabajadores producida por un arco eléctrico. Para niveles de energía inferiores a $1,2 \text{ cal/cm}^2$, no existe riesgo de quemaduras de segundo grado. Cuando los niveles de energía calorífica se encuentren dentro del rango de $1,2\text{-}40 \text{ cal/cm}^2$, será necesario tomar medidas preventivas. Para niveles de energía iguales o superiores a 40 cal/cm^2 , no se recomienda realizar trabajos dentro de dicha zona.

A.1.13. Golpes por proyección o caída de elementos sobre trabajadores – Derribo o demolición manual, mecánica o mediante explosivos; perforación de barrenos previa a la voladura de un desmote y posterior saneamiento y reconocimiento del terreno

El RD 1627/1997 establece que los trabajos de derribo o demolición que puedan suponer un peligro para los trabajadores deberán estudiarse, planificarse y emprenderse bajo la supervisión de una persona competente y deberán realizarse adoptando las precauciones, métodos y procedimientos apropiados. Por lo que se refiere a estos trabajos, se puede tomar como referencia lo especificado en la Norma Tecnológica de la Edificación. Acondicionamiento del terreno. Desmontes. Demoliciones (NTE-ADD/1975).

La demolición puede ser de distintos tipos:

- elemento a elemento
- por colapso por empuje de máquina
- por colapso mediante impacto de bola de gran masa
- por colapso por empleo de explosivos
- mixta o combinada

Según los expertos entrevistados, en los trabajos previos y posteriores a la voladura de un talud, también existe riesgo de caída de materiales sobre los trabajadores. Previa a la voladura del talud y durante la perforación de barrenos, existe un riesgo debido a las vibraciones producidas por la perforación. Después de la voladura, aunque el saneamiento y reconocimiento del terreno debe realizarse en sentido descendiente como medida preventiva, también existe riesgo de caída de materiales.

A.1.14. Intoxicaciones por polvo o tóxicos – Derribos o demoliciones generales o de hospitales, industrias, mataderos o cualquier otro lugar que pueda contener sustancias tóxicas por medios manuales, mecánicos o explosivos.

En los derribos o demoliciones generales puede haber una gran generación de polvo que puede producir intoxicaciones. En los derribos de hospitales, industrias, etc. pueden liberarse sustancias tóxicas y provocar intoxicaciones a los trabajadores.

Según el RD 363/1995 y el RD 255/2003, se entiende por sustancias o preparados tóxicos aquellos que, por inhalación, ingestión o penetración cutánea en pequeñas cantidades puedan provocar efectos agudos o crónicos e incluso la muerte. Las sustancias tóxicas son consideradas peligrosas. Según el RD 374/2001 se entiende por agente químico peligroso aquel que puede presentar un riesgo para la seguridad y salud de los trabajadores debido a sus propiedades fisicoquímicas, químicas, o toxicológicas y a la forma en que se utiliza o se halla presente en el lugar de trabajo.

Se entiende por agentes biológicos, los microorganismos, cultivos celulares y endoparásitos humanos, susceptibles de originar cualquier tipo de infección, alergia o toxicidad. Incluyendo los agentes biológicos vivos y los productos derivados de los mismos (RD 664/1997 y GT agentes biológicos). En el caso de derribo de mataderos pueden darse infecciones producidas por bacterias.

Según los expertos entrevistados, aunque el derribo se realice mediante explosivos, los trabajadores han de ir posteriormente a la obra a seguir el proceso de derribo o desescombro, con lo que el riesgo es el mismo que en derribos mediante método manual o mecánico. La gravedad de la intoxicación depende del tiempo de exposición.

Por ello y siguiendo las especificaciones de la NTE-ADD/1975, se evitará la formación de polvo regando ligeramente los elementos y/o escombros y se desinfectará cuando pueda transmitir enfermedades contagiosas.

La exposición a agentes tóxicos y muy tóxicos, y en particular a agentes cancerígenos, mutagénicos o tóxicos para la reproducción se consideran actividades peligrosas o con riesgos especiales según el Anexo I del RD 39/1997. Los trabajos en los que la exposición a agentes químicos o biológicos suponga un riesgo de especial gravedad son considerados trabajos con riesgos especiales para la seguridad y salud de los trabajadores según el Anexo II del RD 1627/1997.

A.1.15. Asfixia o intoxicaciones en espacios confinados – Trabajos en espacios confinados

Se entiende por espacio confinado el recinto con aberturas limitadas de entrada y salida y ventilación natural desfavorable, en el que pueden acumularse contaminantes tóxicos o inflamables o puede haber una atmosfera deficiente en oxígeno, y que no está concebido para su ocupación continuada por los trabajadores (RD 604/2006).

Los riesgos en estos espacios son múltiples, ya que, además de la acumulación de sustancias tóxicas o inflamables y escasez de oxígeno, se añaden las ocasionadas por la estrechez, incomodidad de posturas de trabajo, limitada iluminación, amplificación del ruido en comparación a un espacio abierto, etc. (NTP 223). En este apartado se tratará el riesgo de asfixia o intoxicación.

La asfixia es consecuencia de la falta de oxígeno al producirse un consumo de oxígeno o un desplazamiento de éste por otros gases. El aire contiene un 21% de oxígeno; si esta cantidad se reduce, se producen síntomas de asfixia que se van agravando conforme disminuye el porcentaje. En la tabla A.1 se indica la relación entre las concentraciones de oxígeno, el tiempo de exposición y las consecuencias (NTP 223).

Tabla A.1. Relación entre las concentraciones de oxígeno, tiempo de exposición y consecuencias en el ser humano (NTP 223).

Concentración O ₂	Tiempo de exposición	Consecuencias
21%	Indefinido	Concentración normal de oxígeno en el aire.
20,5%	No definido	Concentración mínima para entrar sin equipos con suministro de aire.
18%	No definido	Se considera atmosfera deficiente en oxígeno según la normativa norteamericana ANSI Z117.1-1977. Problemas de coordinación muscular y aceleración del ritmo cardíaco.
17%	No definido	Riesgo de pérdida de conocimiento sin signo precursor.
12-16%	Segundos a minutos	Vértigo, dolores de cabeza, disneas e incluso alto riesgo de inconsciencia.
6-10%	Segundos a minutos	Náuseas, pérdida de consciencia seguida de muerte en 6-8 minutos.

Las sustancias tóxicas en un recinto cerrado pueden ser gases, vapores o polvo fino en suspensión y pueden existir previamente en el recinto cerrado o generarse al realizar el trabajo. La concentración en el aire de productos tóxicos por encima de determinados niveles puede producir intoxicaciones o enfermedades.

Una característica de los accidentes en los espacios confinados es la gravedad de sus consecuencias tanto para la persona que realiza el trabajo como para las que la auxilian de forma inmediata sin adoptar las medidas de seguridad necesarias, generando cada año víctimas mortales. La intoxicación suele ser aguda ya que la concentración que la produce es alta. Si la concentración es baja las consecuencias son difíciles de detectar debido a la duración limitada de este tipo de trabajos. Si son repetitivos pueden dar lugar a enfermedades profesionales (NTP 223).

Previo a la entrada al recinto confinado y a la realización de los trabajos, tienen que realizarse mediciones de oxígeno desde el exterior o desde zona segura. El porcentaje de oxígeno no debe ser inferior al 20,5%. Para la medición de atmosferas tóxicas se utilizan detectores específicos según el vapor o el gas tóxico que se espera encontrar (NTP 223).

La ventilación es una de las medidas preventivas fundamentales para asegurar la inocuidad de la atmosfera interior, tanto previa a la realización de los trabajos en caso de ambiente contaminado o irrespirable o durante los trabajos por requerir una renovación continuada del ambiente interior (NTP 223). En la GT agentes químicos se explican las técnicas de ventilación para el control de agentes químicos: extracción localizada (lo más cerca posible de su zona de emisión, evitando que el contaminante se disperse en el ambiente) y ventilación por dilución (introducir una cantidad de aire exterior suficiente para diluir el contaminante generado hasta valores de concentración no peligrosos) cuya aplicación debe limitarse a los casos en que no es posible o viable un sistema de extracción localizada.

Se requiere un control total de las operaciones desde el exterior, en especial el control de la atmosfera interior y asegurar la posibilidad de rescate. La persona que permanece en el exterior debe estar instruida para mantener contacto visual continuo o por otro medio con el trabajador del espacio interior. Dicha persona tiene la responsabilidad de actuar en caso de emergencia y avisar tan pronto advierta algo anormal (NTP 223).

A continuación se comentan algunos de los distintos tipos de trabajos en espacios confinados:

- En las alcantarillas se puede producir asfixia debida al desplazamiento de oxígeno por el dióxido de carbono generado en fermentaciones orgánicas aeróbicas y por metano producto de fermentaciones orgánicas anaeróbicas (NTP 223). También puede producirse intoxicación por inhalación o ingestión e infección en caso de comer o fumar sin la adecuada higiene personal (cubrir la heridas de las manos, lavado de manos con agua y jabón líquido, etc.) posteriormente a la actividad en la alcantarilla, donde puede haber presencia de agentes biológicos (RD 664/1997 y GT agentes biológicos).

Los expertos en prevención comentan que, en el pasado, investigaron más de un accidente mortal de este tipo en alcantarillado. Actualmente, los métodos de trabajo y gestión de las obras hacen prácticamente inviable una muerte de este tipo.

Sin embargo, en arquetas y alcantarillado, la confianza o el desconocimiento hacen que los trabajadores entren en el espacio confinado para realizar alguna tarea de reparación pensando que “es sólo un momento”. Es más frecuente el accidente en arquetas que en alcantarillado, ya que el agua en movimiento genera una corriente de aire que aporta oxígeno.

- La soldadura puede producir asfixia por consumo de oxígeno e intoxicación por generación de sustancias tóxicas (NTP 223).

El soldador está expuesto a humos y gases de soldadura originados a partir del material soldado, el material aportado y el aire. La extracción localizada capta los contaminantes por aspiración lo más cerca posible de su punto de emisión, evitando su difusión al ambiente y la inhalación por parte del soldador (NTP 7, NTP 495). Además, se debe de evacuar el aire contaminado hacia zonas donde no pueda contaminar el aire limpio que entra en la zona de operación (NTP 494).

En la soldadura eléctrica al arco, la inhalación de humos y gases tóxicos es muy variable en función del tipo de revestimiento del electrodo o gas protector y de los materiales base y de aporte y puede consistir en exposición a humos (óxido de hierro, manganeso, cromo, cobre, etc.) y gases (óxidos de carbono, de nitrógeno, etc.) (NTP 494).

- En las excavaciones, pozos, trabajos subterráneos o túneles deberán tomarse las precauciones para garantizar una ventilación suficiente en todos los lugares de trabajo de manera que se mantenga una atmosfera apta para la respiración que no sea peligrosa o nociva (GT obras de construcción).
- En el caso de voladuras en espacios confinados, el RD 230/1998 establece que los gases producidos por explosivos destinados a su utilización subterránea únicamente podrán contener monóxido de carbono, gases nitrosos, otros gases, vapores o residuos sólidos en el aire en cantidades que no perjudiquen la salud en condiciones normales de funcionamiento.

Según los expertos entrevistados, normalmente se realiza la voladura al final del día o antes del descanso para almorzar y se deja en funcionamiento el sistema de ventilación. Existe riesgo cuando entra alguna persona creyendo que ya está suficientemente ventilado.

- A efectos de esta metodología, no se considera el riesgo de asfixia en los trabajos de mantenimiento y cambio de la herramienta de corte de la tuneladora en condiciones hiperbáricas ya que, en esos casos, se exige un caudal de aire fresco en la cámara de trabajo de 40 m³ por obrero y hora, lo que hace extremadamente improbable la asfixia (Fundación Laboral de la Construcción Catalunya, 2008).
- La aplicación de espumas de poliuretano genera desprendimiento de isocianatos aromáticos. En la NTP 148 se explican una serie de medidas a adoptar para minimizar la presencia de sus vapores y prevenir su acción tóxica. Una buena ventilación con extracción localizada es fundamental.

Según los expertos entrevistados, no se conocen intoxicaciones por aplicación de espuma de poliuretano en la construcción, ya que se utiliza mayoritariamente como aislamiento en exteriores y, por tanto, se aplica al aire libre. Por este motivo no se consideran en la metodología.

- Según los expertos, tampoco se conocen intoxicaciones por asfaltado. Las operaciones de asfaltado deben realizarse, por prevención, en sentido contrario al viento. No se consideran para el cálculo del IRL.

Los trabajos en espacios confinados se consideran un proceso peligroso o con riesgo especial según el RD 604/2006. La exposición a agentes tóxicos y muy tóxicos se consideran actividades peligrosas o con riesgos especiales según el Anexo I del RD 39/1997. Los trabajos en los que la exposición a agentes químicos o biológicos suponga un riesgo de especial gravedad son considerados trabajos con riesgos especiales para la seguridad y salud de los trabajadores.

A.1.16. Ahogo – Trabajos en zonas con riesgo de avenidas

Según los expertos entrevistados, en caso de trabajos en zona con riesgo de avenidas, hay que estar continuamente informado sobre la pluviometría y disponer de un sistema de aviso que permita retirar a los trabajadores a tiempo. Un accidente de este tipo tuvo lugar en la Font Santa, donde murieron 4 trabajadores al ser arrastrados por una avenida en un colector. No se habían tomado las medidas preventivas necesarias.

También existe riesgo por vertidos tóxicos, por lo que hay que informarse sobre las industrias existentes aguas arriba.

Los trabajos que expongan a riesgo de ahogamiento por inmersión son considerados trabajos que implican riesgos especiales para la seguridad y salud de los trabajadores según el RD 604/2006 y el Anexo II del RD 1627/1997.

A.1.17. Colisión o atropello debido a tráfico externo a la obra – Trabajo en zonas con tráfico externo a la obra

La ejecución de obras en la vía pública (calles, carreteras, autopistas, etc.) o en sus inmediaciones puede interferir en la circulación de vehículos, poniendo en riesgo la seguridad de los usuarios y los trabajadores. Para mejorar la seguridad y salud de los trabajadores y reducir el riesgo de atropello, es fundamental adoptar una señalización adecuada y, si es necesario, una defensa de las zonas de trabajo. Para ello se puede optar por varias medidas (Serra y Roman, 2011):

- Establecimiento de un itinerario alternativo.
- Limitación de la velocidad.
- Prohibición de adelantamientos entre vehículos.
- Cierre de uno o más carriles.
- Establecimiento de carriles o desvíos provisionales.
- Establecimiento de un sentido único alternativo.
- Señalización relacionada con la ordenación adoptada.
- Balizamiento que destaque la presencia de los límites de la obra y de la ordenación adoptada.
- Disposición de barreras de protección.

En la Norma de carreteras 8.3-IC aprobada por la Orden de 31 de agosto de 1987 y en la publicación: Señalización móvil de obras (Dirección General de Carreteras, 1997) se detallan las medidas de señalización y ordenación de la circulación a adoptar en cada situación.

Además de los equipos de protección individual propios del sector de la construcción, para los trabajos en las vías públicas, es imprescindible el uso de prendas de señalización de alta visibilidad (Serra y Roman, 2011).

A.1.18. Accidente de tráfico – Transporte de elementos a obra

En las obras de construcción y dentro del ámbito laboral, los vehículos de transporte como los camiones, etc. son equipos de trabajo y están regulados por el RD 1215/1997.

Según los expertos entrevistados, en general, debe incluirse todo tipo de transporte que se realice para la ejecución de una obra. Las consecuencias son en función del tipo de transporte: especial, de hormigón o general.

A.1.19. Riesgo estructural o riesgo macro – Operaciones complejas

El riesgo estructural o riesgo macro es el riesgo de que falle algún elemento auxiliar o la propia estructura durante la construcción. Este riesgo es debido a errores en el proyecto (diseño), en la construcción (ejecución) o en la gestión de la obra y no es debido a la falta de medidas de seguridad y salud ni puede evitarse con medidas preventivas.

La legislación sobre de seguridad y salud revisada hace sólo algunas referencias al riesgo estructural o riesgo macro. Sin embargo, en caso de producirse un accidente de este tipo, suele haber varias muertes como se ha podido comprobar en numerosas ocasiones (Véras, 2012).

En el artículo primero del RD 604/2006 se define la siguiente situación: “Cuando los riesgos puedan verse agravados o modificados, en el desarrollo del proceso o la actividad, por la concurrencia de operaciones diversas que se desarrollan sucesiva o simultáneamente y que hagan preciso el control de la correcta aplicación de los métodos de trabajo”. En esta situación podrían incluirse las operaciones complejas con riesgo estructural o riesgo macro. En ellas es obligatoria la presencia de los recursos preventivos en el centro de trabajo.

El RD 1627/1997, también recoge una actividad en las que podrían englobarse las operaciones complejas con riesgo macro: los trabajos que requieran montar o desmontar elementos prefabricados pesados. Estos trabajos son considerados como trabajos que implican riesgos especiales para la seguridad y salud de los trabajadores.

En la GT equipos de trabajo se establece que en los equipos de trabajo en los que se sitúen sobre ellos trabajadores, deberán disponer de los medios adecuados para garantizar que el acceso y permanencia en ellos no suponga un riesgo para la seguridad y salud. También establece que los equipos de trabajo para la elevación de cargas deberán estar instalados firmemente cuando se trate de equipos fijos, o disponer de los elementos o condiciones necesarias en los casos restantes para garantizar su solidez y estabilidad durante el empleo teniendo en cuenta las cargas que deben levantarse.

En algunas Notas Técnica de Prevención sí que se nombran algunos casos concretos de riesgo estructural:

- En la NTP 208 se comenta que el vuelco de la grúa puede producirse por nivelación defectuosa de la misma, por fallo del terreno donde se asienta, por sobrepasarse el máximo momento de carga admisible o por efecto del viento.
- En la NTP 701 se explica que el vuelco o caída de la grúa puede ser originado por problemas en los cimientos de la grúa, por un lastre o contrapeso defectuoso, por un golpe en la estructura de la grúa, por rotura o fatiga del material, por fuertes vientos, por rotura del cable de carro y por errores humanos.
- En la NTP 719 se explica que el derrumbe de la estructura superior del encofrado horizontal con puntales telescópicos de acero puede ser debido a una carga excesiva por puntal, al desplazamiento horizontal de la carga, a puntales utilizados inadecuadamente o mal aplomados, con cargas excesivas o mal montados.

A continuación, para ilustrar operaciones complejas que presentan riesgos estructurales o riesgos macro, se muestra una lista de accidentes reales de este tipo en obras de viaductos (Ramos *et al.*, 2010):

- Accidentes en maniobras: fallo en la detección del movimiento del tablero por el sistema automatizado de empuje en un puente empujado.
- Accidentes con grúas que mueven grandes cargas: fallo por volcado de la grúa.
- Accidentes con cimbras: fallo de la cimentación de la cimbra por riada, fallo de la estructura de la cimbra, etc.
- Accidentes con cimbras autolanzables: colapso de la cimbra por rotura de elemento o problemas con soldaduras o afloje de tuercas.
- Accidentes estructurales por:
 - pandeo del alma.
 - abolladura del alma.
 - error en la ejecución del pretensado.
 - pandeo lateral durante hormigonado.
 - fallo en la cimentación.
 - pandeo del forjado inferior.

Por ejemplo, en un viaducto construido mediante cimbra, se considera que el riesgo macro es el fallo de la cimbra. Por lo tanto, se contabilizan todas las horas-persona empleadas en trabajos realizados sobre la cimbra, como el montaje o desmontaje de la cimbra, o en lugares que colapsarían debido al fallo de la cimbra, como en el tablero que se apoya en ella.

Análogamente se pueden determinar las operaciones complejas en otros tipos de construcciones distintas a los viaductos.

En general, existe poca literatura referente a los riesgos estructurales. Sería interesante conocer más sobre los accidentes ocurridos en el pasado, sus causas y como podrían haberse prevenido para evitar que vuelvan a ocurrir en un futuro.

A.1.20. Caídas al mismo nivel – Todos los trabajos

El movimiento de personas y materiales conlleva la posibilidad de ocurrencia de diversos tipos de accidentes, principalmente caídas. Se producen muchos accidentes por golpes y caídas como consecuencia de un ambiente desordenado o sucio, suelos resbaladizos, materiales colocados fuera de su lugar y acumulación de material sobrante o de desperdicio (NTP 481).

Un gran porcentaje de caídas se debe al comportamiento humano como distracciones, errores no intencionados, violaciones intencionadas de los procedimientos, correr, etc. o por cuestiones personales como la edad, fatiga, falta de atención, estado emocional, visión deficiente, etc. Estos factores no son fácilmente detectables. Otros motivos son: la pérdida de equilibrio como consecuencia de un ruido inesperado, puesta en marcha súbita de la maquinaria, empujones, etc. (NTP 434).

Para disminuir el riesgo de caídas al mismo nivel por tropezar con objetos en el suelo se recomienda el mantenimiento de la obra en buen estado de orden y limpieza, clasificando los materiales y equipos a trabajar y almacenando fuera del área de trabajo el material innecesario (RD 1627/1997, GT obras de construcción, NTP 481).

Como se ha visto, las caídas al mismo nivel pueden darse en cualquier actividad de la obra y pueden deberse a numerosas causas, especialmente a la falta de orden y limpieza, a factores de comportamiento humano y a cuestiones personales difíciles de controlar. Por estos motivos, las caídas al mismo nivel no se valoran en la metodología.

A.1.21. Golpe de calor, lesiones por frío, quemaduras por radiación solar – Trabajos a la intemperie en condiciones climáticas adversas

Las actividades desarrolladas al aire libre pueden exponer a los trabajadores a condiciones climáticas adversas con la consiguiente aparición de efectos negativos para su salud. Las condiciones ambientales de los lugares de trabajo, en concreto la temperatura, la velocidad del aire, la humedad y la radiación, junto con la intensidad o nivel de actividad del trabajo y la ropa utilizada, pueden originar situaciones de riesgo para la salud de los trabajadores, que se conocen como estrés térmico, bien por calor o por frío (GT obras de construcción).

Cuando se trabaje en condiciones ambientales muy calurosas y el trabajo físico suponga un consumo metabólico alto, deben prevenirse los efectos del calor. La consecuencia más conocida y peligrosa es el golpe de calor, cuyos efectos llegan a ser irreversibles. También pueden producirse aturdimiento y mareos que originen accidentes (GT obras de construcción). Ciertas características individuales pueden aumentar el riesgo (Generalitat de Catalunya, 2010).

El balance hídrico del cuerpo es de suma importancia para los trabajadores en ambientes de temperatura elevada, que utilizan ropa impermeable o que realizan trabajos fatigantes. La mayoría de patologías provocadas por el calor son o pueden ser consecuencia de una hidratación insuficiente. En la NTP 279 se explican los

síntomas generales de la deshidratación y las actuaciones a realizar en caso de presentarse.

Los trabajos en ambientes fríos pueden provocar hipotermia y enfriamiento localizado. Cuando la temperatura es inferior a 10°C, la sensación y los efectos del frío dependen fundamentalmente de la velocidad del aire. En estas situaciones se recomienda el uso de pantallas cortaviento y debe proveerse a los trabajadores de prendas de protección con suficiente resistencia térmica.

En ambientes fríos y actividad de trabajo intensa, se debería utilizar ropa que permita la permeación del sudor, para evitar su condensación y el enfriamiento rápido de la piel. A temperaturas inferiores a 15°C, disminuye la destreza manual debido al descenso de temperatura de la piel, por lo que es recomendable el uso de guantes (GT obras de construcción).

Por la variabilidad de las condiciones meteorológicas, la imposibilidad de predecirlas con exactitud y la influencia de las condiciones personales en la ocurrencia del riesgo, los riesgos de este apartado no se entrarán a valorar en la metodología.

A.1.22. Aumento de la probabilidad de producirse algún siniestro – Trabajo nocturno o en condiciones de visibilidad reducida

En caso de producirse un accidente por la noche, las consecuencias son las mismas que durante el día. Sin embargo, la probabilidad de ocurrencia de un accidente durante la noche puede ser mayor debido a la falta de visibilidad general de la obra; los típicos riesgos de día se agudizan ligeramente por la noche. Aunque se dispone iluminación por focos, quedan zonas oscuras en las que el riesgo se aprecia en menor medida que en condiciones de luz diurna. El hecho de no poder apreciar bien la señalización, influye en los riesgos (NTP 434).

Según los expertos entrevistados, en general, no se suele trabajar por la noche en las obras, salvo por exigencias de plazo, en cuyo caso también puede haber un incremento de accidentes debido a las prisas.

Como no se conoce el incremento en la probabilidad de ocurrencia de accidentes debido al trabajo nocturno, no se puede valorar este factor.

Enfermedades profesionales

A continuación se comentan las enfermedades profesionales que están o pueden estar relacionadas con los trabajos de construcción. La mayoría de estas enfermedades son consecuencia de la exposición del trabajador a unas determinadas condiciones de trabajo a lo largo de los años, es decir, su aparición depende de la trayectoria profesional de un trabajador, no son el resultado de una sola exposición. Además, dependen de factores de riesgo, es decir, circunstancias o situaciones que pueden aumentar la probabilidad de desarrollar los efectos o agravarlos. Estos factores pueden ser laborales (aspectos ergonómicos como posturas forzadas o exposición

simultánea a otros agentes) o debidos a características personales de los trabajadores (patologías, etc.).

El objetivo de la metodología desarrollada es la evaluación de una obra incluyendo, entre otros aspectos, la seguridad y salud de los trabajadores. No se puede valorar el riesgo de contraer una enfermedad profesional por la exposición que se tiene en una sola obra y, por ello, no se contabilizan las enfermedades profesionales en la metodología, aunque sí que se explican a continuación.

A.1.23. Lesiones dorsolumbares – Manipulación manual de cargas

Como ya se ha comentado en el riesgo 9 (golpes en extremidades superiores e inferiores por manejo manual de cargas), se entiende por manipulación manual de cargas cualquier operación de transporte o sujeción de una carga por parte de uno o varios trabajadores, como el levantamiento, la colocación, el empuje, la tracción o el desplazamiento, que por sus características o condiciones ergonómicas inadecuadas entrañe riesgos, en particular dorsolumbares, para los trabajadores (RD 487/1997).

Se considera que la manipulación manual de toda carga que pese más de 3 kg puede entrañar un riesgo dorsolumbar no tolerable, ya que, a pesar de ser una carga bastante ligera, si se manipula en condiciones ergonómicas desfavorables (alejada del cuerpo, con posturas inadecuadas, muy frecuentemente, en condiciones ambientales desfavorables, con suelos inestables, etc.), podría generar un riesgo. La manipulación manual de cargas menores de 3 kg también podría generar riesgos de trastornos musculoesqueléticos en los miembros superiores debidos a esfuerzos repetitivos, pero no se contemplan en el RD 487/1997 como tareas con riesgos dorsolumbares. Las cargas que pesen más de 25 kg muy probablemente constituyan un riesgo en sí mismas, aunque no existan otras condiciones ergonómicas desfavorables.

Además de los anteriores valores de peso, la GT manipulación manual de cargas tiene en cuenta otros factores como el tamaño de la carga, el tipo de agarre de la misma, la realización de giros con el tronco, la frecuencia de manipulación, el peso total transportado diariamente, la distancia de transporte, etc. En dicha guía se expone un método para identificar las tareas o situaciones donde exista un riesgo no tolerable y por tanto deban ser mejoradas o rediseñadas. También se explica el método más adecuado para levantar una carga.

En la NTP 477, se presenta la ecuación del NIOSH que permite identificar los riesgos de lumbalgias asociados a la carga física por manejo manual de cargas. La ecuación tiene en cuenta varios factores: la carga levantada, la distancia vertical, distancia horizontal, la posición en la que debe cogerse la carga, el manejo asimétrico, la frecuencia de los levantamientos y la calidad del agarre.

Sin perjuicio de su posible aplicación en distintos ámbitos, cabe remarcar que estos métodos de evaluación son más fáciles de aplicar en industrias (donde el proceso y condiciones son siempre los mismos y por ello se conocen mejor los datos necesarios) que en las obras de construcción, donde las condiciones son continuamente cambiantes.

Concretamente, en las obras de construcción, el trabajo en zanjas implica una carga física elevada en la que las lesiones, los trastornos musculoesqueléticos y los accidentes por sobreesfuerzo ocupan un importante lugar debido a las posturas, movimientos, repetitividad de esfuerzos musculares y manipulación manual de cargas. En la NTP 820 se tratan estos temas con más detalle.

Según el RD 487/1997, el empresario está obligado a adoptar las medidas técnicas, como la automatización de los procesos o el empleo de equipos mecánicos, u organizativas necesarias para evitar la manipulación manual de las cargas. Cuando la manipulación manual no se pueda evitar, el empresario deberá evaluar y reducir los riesgos que implica dicha manipulación.

Según los expertos entrevistados, las lesiones dorsolumbares son muy comunes en la construcción. Los yeseros son los trabajadores de la construcción más afectados por este tipo de lesiones.

A.1.24. Problemas osteoarticulares – Trabajos con exposición a vibraciones mecánicas

La exposición a vibraciones mecánicas está asociada a la aparición de determinadas patologías: problemas vasculares, osteoarticulares, nerviosos o musculares principalmente; además de tener efecto sobre el confort de los trabajadores (GT vibraciones).

Una de las principales fuentes de exposición a vibraciones es la utilización de máquinas, ya sean portátiles guiadas a mano que transmiten vibraciones al sistema mano-brazo o móviles que transmiten vibraciones al cuerpo entero (GT vibraciones). En el RD 1311/2005 se establecen los valores límite de exposición diaria.

Todo equipo de trabajo que entrañe riesgos por vibraciones deberá disponer de las protecciones o dispositivos adecuados para limitar, en la medida de lo posible, su generación y propagación. La normativa aplicable a máquinas nuevas exige que el fabricante aplique medidas en el diseño, de manera que los riesgos debidos a vibraciones se reduzcan al nivel más bajo posible. En el caso de equipos de trabajo que ya estén en servicio se minimizará la transmisión de vibraciones a través de las estructuras, para lo que el equipo de trabajo se instalará sobre equipos antivibratorios y se utilizarán los equipos en condiciones óptimas de funcionamiento, para lo que es fundamental realizar un buen mantenimiento (GT equipos de trabajo).

A.1.25. Hipoacusia laboral o sordera – Trabajos con exposición al ruido

El ruido es un sonido no deseado que puede afectar el bienestar mental, la salud, los patrones de sueño o la habilidad para trabajar (Bakhoum y Brown, 2012). Puede dar lugar a efectos tanto de tipo auditivo como de tipo fisiológico y comportamental (malestar, hipertensión, etc.). El impacto del ruido sobre la función auditiva es el efecto mejor documentado.

El ruido presente en el entorno laboral puede dar lugar a alteraciones auditivas temporales (fatiga auditiva) o permanentes (hipoacusia o sordera). Las lesiones dependen de factores como: la calidad del ruido; el espectro de frecuencias; la intensidad, emergencia y ritmo; la duración de la exposición; la vulnerabilidad individual y la interacción con otras exposiciones. No es posible determinar, de forma universal, cuál es el nivel de ruido por debajo del cual no se producirán molestias, ya que, como se ha visto, éstas dependen de múltiples factores, en especial los individuales (GT ruido).

Todo equipo de trabajo que entrañe riesgos por ruido deberá disponer de las protecciones o dispositivos para limitar su generación y propagación. La normativa aplicable a máquinas nuevas exige que el fabricante aplique las medidas adecuadas en el diseño, de manera que los riesgos que resulten de la emisión de ruido se reduzcan al nivel más bajo posible. En el caso de equipos de trabajo que ya estén en servicio se minimizará la transmisión del ruido y se utilizarán los equipos de trabajo en condiciones óptimas de funcionamiento para lo cual es fundamental realizar un buen mantenimiento (GT equipos de trabajo).

A.1.26. Enfermedades descompresivas – Trabajos en condiciones hiperbáricas

Las enfermedades descompresivas son las producidas como consecuencia de haber estado sometido a una presión superior a la ambiental habitual por un periodo de tiempo determinado, respirando un gas inerte y volver a la presión ambiental previa u otra presión inferior a la de trabajo. A diferencia de los accidentes disbáricos (riesgo 7), en este apartado se hace referencia a las enfermedades producidas, no por la realización de un solo trabajo, sino por la acumulación de horas en condiciones hiperbáricas que acaban generando alguna enfermedad.

De acuerdo con los expertos entrevistados, en general, con los años se va deteriorando el organismo de los buzos por exceso de nitrógeno acumulado. Los buzos tienen limitado el trabajo a 3 horas diarias y solamente pueden trabajar hasta cierta edad. Los que trabajan por horas suelen excederse del límite, con el consiguiente deterioro su sistema óseo. Si cumplen los horarios establecidos también acaban sufriendo la enfermedad, aunque aparece con más lentitud.

A.1.27. Enfermedades provocadas por el amianto – Trabajos con susceptibilidad de exposición al amianto

El amianto es un agente químico clasificado como cancerígeno de primera categoría según el RD 363/1995. Con el término “amianto” se designa un conjunto de silicatos fibrosos, sustancias de origen mineral de composición química variable, que en su rotura o trituración son susceptibles de liberar fibras, cosa que no ocurre si en su estado natural no se las manipula (GT amianto).

La comercialización y uso de amianto se ha ido limitando progresivamente hasta su total prohibición (Orden de 7 de diciembre de 2001), por lo que actualmente el amianto sólo se puede encontrar en los materiales y productos fabricados con anterioridad.

Actualmente, en la construcción, los trabajadores pueden estar expuestos a fibras de amianto en demoliciones y en trabajos de mantenimiento y reparación de construcciones en las que exista amianto (RD 396/2006). La exposición se produce principalmente a través de la vía respiratoria y, en consecuencia, los trabajadores estarán expuestos cuando haya fibras de amianto en suspensión en el aire (GT amianto).

Existen límites de exposición laboral para el amianto, que no deben considerarse como un valor que garantice la protección de la salud, ya que no se ha podido determinar el nivel por debajo del cual la exposición al amianto no entraña ningún riesgo de cáncer (GT amianto).

Antes del comienzo de cada trabajo con riesgo de exposición al amianto el empresario deberá elaborar un plan de trabajo en el que se describa la acción a ejecutar, la metodología a seguir y las medidas de prevención y protección técnicas y organizativas para que el trabajo se realice en condiciones de mínima exposición, con el fin de preservar la seguridad y salud de los trabajadores y de las personas que se pueden ver afectadas. En las NTP 796, NTP 815 y NTP 862 se explica la realización de los planes de trabajo para operaciones de demolición, retirada o mantenimiento de materiales con amianto.

A.1.28. Daños en la salud derivados de las radiaciones ionizantes – Trabajo con maquinaria generadora de radiaciones ionizantes

Se define como radiaciones ionizantes aquellas radiaciones compuestas de fotones o de partículas capaces de producir iones directa o indirectamente.

Todo equipo de trabajo que entrañe riesgos por radiaciones deberá disponer de las protecciones o dispositivos adecuados para limitar, en la medida de lo posible, la generación y propagación de estos agentes físicos (GT equipos de trabajo). En la NTP 614 se explican las medidas y normas de protección frente a las radiaciones ionizantes.

Algunos ejemplos de radiaciones ionizantes utilizadas en obra son (Construccions Rubau, *et al.*, 2007) las denominadas comúnmente como “Troxlers” o “CPN”:

- máquina de control de calidad de compactaciones y humedad del suelo
- máquina de control de calidad de las soldaduras

Existe un tipo de soldadura, especialmente indicada para aleaciones de aluminio, magnesio y acero inoxidable que presenta riesgos radiológicos por radiaciones ionizantes, es la denominada soldadura TIG (soldadura de arco de gas con electrodos de tungsteno toriado). En el trabajo con este tipo de electrodos debe afilarse la punta de los mismos varias veces, ya que después de un periodo de soldadura la punta se deforma. Los trabajadores que manipulan los electrodos de tungsteno están

potencialmente expuestos a radiaciones ionizantes. En la NTP 770 se relacionan una serie de medidas preventivas que deberían adoptarse.

Los trabajos con exposiciones a radiaciones ionizantes para los que la normativa específica obliga a la delimitación de zonas controladas o vigiladas son considerados trabajos que implican riesgos especiales para la seguridad y salud de los trabajadores por el Anexo II del RD 1627/1997. Los trabajos que impliquen la exposición a radiaciones ionizantes están sometidos a disposiciones preventivas específicas.

Entre las posibles fuentes de radiación no ionizante cabe destacar, por su extensión, los equipos de soldadura (GT equipos de trabajo). La soldadura por arco eléctrico genera radiaciones electromagnéticas, principalmente ultravioleta e infrarroja (NTP 904). Como medidas preventivas, se deben utilizar mamparas de separación de puestos de trabajo para proteger al resto de operarios. El soldador debe utilizar una pantalla facial con certificado de calidad para este tipo de soldadura (NTP 494).

A.1.29. Silicosis – Trabajos que produzcan concentraciones elevadas de polvo silíceo

La silicosis ha supuesto un grave problema para el sector minero, generando líneas de investigación para el control del polvo responsable. En el sector de la construcción la exposición a polvos de sílice se daría en algunos casos de excavación de túneles.

En la NTP 257 se exponen diferentes métodos de control y eliminación de polvo lo más cerca posible del punto de generación en operaciones de perforación.

Los trabajos que produzcan concentraciones elevadas de polvo silíceo se consideran actividades o procesos con riesgos especiales según el Anexo I del RD 39/1997.

A.2. LEGISLACIÓN, GUÍAS TÉCNICAS, NOTAS TÉCNICAS Y OTROS DOCUMENTOS DE REFERENCIA UTILIZADOS EN LA DEFINICIÓN DE CADA RIESGO

La tabla A.2 se ha elaborado para mostrar las principales referencias utilizadas en la definición de cada riesgo. Se ha analizado la versión consolidada (actualizada) de la legislación. La versión consolidada ya contempla las modificaciones de legislaciones posteriores que la afectan, aunque los nombres de estas legislaciones posteriores no se hayan incluido en la tabla. Para consultar las referencias anteriores y posteriores de la legislación, ver tabla A.3.

Tabla A.2. Relación de la legislación europea y española, guías técnicas, notas técnicas y otra documentación de aplicación en la seguridad y salud de la construcción utilizada como referencia en la determinación de los distintos riesgos.

1. Caída de personas a distinto nivel – Trabajos en altura o en profundidad con desnivel superior a 2 m

Directiva 92/57/CEE
 Directiva 92/58/CEE
 Directiva 95/63/CE
 Real Decreto 39/1997
 Real Decreto 485/1997
 Real Decreto 1627/1997
 Real Decreto 2177/2004
 Guía Técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relativos a la utilización de equipos de trabajo
 Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relativos a las obras de construcción
 NTP 123: Barandillas
 NTP 124: Redes de seguridad
 NTP 167: Aparejos, cabrias y garrucha
 NTP 197: Desplazamientos de personas sobre grúas-torre
 NTP 202: Andamios de borriquetas
 NTP 239: Escaleras manuales
 NTP 448: Trabajos sobre cubiertas de materiales ligeros
 NTP 530: Andamios colgados móviles de accionamiento manual (I): normas constructivas
 NTP 531: Andamios colgados móviles de accionamiento manual (II): normas de montaje y utilización
 NTP 532: Andamios colgados móviles de accionamiento manual (III): aparatos de elevación y de maniobra
 NTP 634: Plataformas elevadoras móviles de personal
 NTP 669: Andamios de trabajo prefabricados (I): normas constructivas
 NTP 670: Andamios de trabajo prefabricados (II): montaje y utilización
 NTP 682: Seguridad en trabajos verticales (I): equipos
 NTP 683: Seguridad en trabajos verticales (II): técnicas de instalación
 NTP 684: Seguridad en trabajos verticales (III): técnicas operativas
 NTP 695: Torres de trabajo móviles (I): normas constructivas
 NTP 696: Torres de trabajo móviles (II): montaje y utilización
 NTP 734: Torres de acceso (I): normas constructivas
 NTP 735: Torres de acceso (II): montaje y utilización
 NTP 803: Encofrado horizontal: protecciones colectivas (I)
 NTP 804: Encofrado horizontal: protecciones colectivas (II)
 NTP 816: Encofrado horizontal: protecciones individuales contra caídas de altura
 NTP 834: Encofrado vertical. Muros a dos caras, pilares, muros a una cara (I)
 NTP 835: Encofrado vertical. Muros a dos caras, pilares, muros a una cara (II)
 NTP 836: Encofrado vertical. Sistemas trepantes (I)
 NTP 837: Encofrado vertical. Sistemas trepantes (II)
 La prevención de riesgos laborales en el sector de la construcción

<p>2. Contacto eléctrico directo o indirecto – Trabajos eléctricos, próximos a líneas eléctricas o con maquinaria eléctrica en condiciones húmedas</p>
<p>Directiva 92/57/CEE Directiva 95/63/CE Real Decreto 39/1997 Real Decreto 1215/1997 Real Decreto 1627/1997 Real Decreto 614/2001 Real Decreto 842/2002 Real Decreto 223/2008 Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relativos a la utilización de los equipos de trabajo Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relativos a las obras de construcción Guía técnica para la evaluación y prevención del riesgo eléctrico NTP 72: Trabajos con elementos de altura en presencia de líneas eléctricas aéreas NTP 121: Hormigonera NTP 869: Grúas hidráulicas articuladas sobre camión (II)</p>
<p>3. Quemaduras por incendio y explosión debido a rotura accidental de tubería – Trabajos en proximidad de conducciones de combustibles</p>
<p>Directiva 92/57/CEE Directiva 95/63/CE Directiva 1999/92/CE Real Decreto 363/1995 Real Decreto 1215/1997 Real Decreto 1627/1997 Real Decreto 681/2003 Guía Técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relativos a la utilización de equipos de trabajo Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relativos a las obras de construcción NTP 369: Atmósferas potencialmente explosivas: instalaciones eléctricas NTP 826: El documento de protección contra explosiones</p>
<p>4. Inhalación de gas – Trabajos cerca de tuberías de gas</p>
<p>Directiva 92/57/CEE Directiva 95/63/CE Directiva 1999/92/CE Real Decreto 1215/1997 Real Decreto 1627/1997 Real Decreto 681/2003 Guía Técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relativos a la utilización de equipos de trabajo Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relativos a las obras de construcción</p>
<p>5. Asfixia causada por sepultamiento por desprendimiento de materiales – Movimiento de tierras, excavaciones, pozos, trabajos subterráneos y túneles</p>
<p>Directiva 92/57/CEE Directiva 92/104/CEE</p>

<p>Real Decreto 863/1985 Real Decreto 39/1997 Real Decreto 1389/1997 Real Decreto 1627/1997 Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relativos a las obras de construcción NTP 278: Zanjas: prevención del desprendimiento de tierras NTP 905: Seguridad en trabajos con tuneladoras (I) NTP 906: Seguridad en trabajos con tuneladoras (II)</p>
<p>6. Proyección de partículas y explosión accidental – Voladuras en excavaciones, pozos, trabajos subterráneos y túneles</p>
<p>Directiva 92/57/CEE Directiva 93/15/CEE Directiva 1999/45/CE Real Decreto 863/1985 Real Decreto 363/1995 Real Decreto 39/1997 Real Decreto 1627/1997 Real Decreto 230/1998 Real Decreto 255/2003 Real Decreto 277/2005</p>
<p>7. Accidente disbárico o por descompresión – Trabajos en condiciones hiperbáricas</p>
<p>Directiva 92/57/CEE Orden 20 de Enero de 1956 Real Decreto 39/1997 Orden 14 de Octubre 1997 Real Decreto 1627/1997 NTP 905: Seguridad en trabajos con tuneladoras (I) NTP 906: Seguridad en trabajos con tuneladoras (II) Curs de formació en prevenció de riscos en treballs hiperbàrics en les obres de túnels mitjançant tuneladores</p>
<p>8. Golpes o atrapamiento por movimiento o desprendimiento de carga – Manejo de cargas mediante medios mecánicos</p>
<p>Directiva 95/63/CE Real Decreto 1215/1997 Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relativos a la utilización de equipos de trabajo NTP 77: BATEAS - Paletas y plataformas para cargas unitarias NTP 125: Grúa torre NTP 208: Grúa móvil NTP 221: Eslingas de cables de acero NTP 701: Grúas-torre. Recomendaciones de seguridad en su manipulación NTP 713: Carretillas elevadoras automotoras (I): conocimientos básicos para la prevención de riesgos NTP 714: Carretillas elevadoras automotoras (II): principales peligros y medidas preventivas NTP 715: Carretillas elevadoras automotoras (III): mantenimiento y utilización NTP 736: Grúas tipo puente (I): generalidades NTP 737: Grúas tipo puente (II): Utilización. Formación de operadores</p>

<p>NTP 738: Grúas tipo puente (III). Montaje, instalación y mantenimiento</p> <p>NTP 824: Clasificación de equipos utilizados para la elevación de cargas, con maquinaria de elevación</p> <p>NTP 841: Eslingas textiles (I)</p> <p>NTP 842: Eslingas textiles (II)</p> <p>NTP 866: Eslingas de cables de acero</p> <p>NTP 868: Grúas hidráulicas articuladas sobre camión (I)</p> <p>NTP 869: Grúas hidráulicas articuladas sobre camión (II)</p> <p>La prevenció de riscos laborals en el sector de la construcció</p>
<p>9. Golpes en extremidades superiores o inferiores – Manejo manual de cargas</p>
<p>Directiva 90/269/CEE</p> <p>Real Decreto 487/1997</p> <p>Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relativos a la manipulación manual de cargas</p> <p>NTP 77: BATEAS - Paletas y plataformas para cargas unitarias</p> <p>NTP 78: Aparejos manuales</p> <p>NTP 167: Aparejos, cabrias y garrucha</p> <p>NTP 319: Carretillas manuales: transpaletas manuales</p> <p>NTP 719: Encofrado horizontal. Puntales telescópicos de acero</p>
<p>10. Atropello o golpes debidos a maquinaria o vehículos pesados – Trabajos con maquinaria o vehículos pesados</p>
<p>Directiva 92/57/CEE</p> <p>Directiva 95/63/CE</p> <p>Real Decreto 1215/1997</p> <p>Real Decreto 1627/1997</p> <p>Guía Técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relativos a la utilización de equipos de trabajo</p> <p>NTP 93: Camión hormigonera</p> <p>NTP 122: Retroexcavadora</p> <p>NTP 126: Máquinas para movimiento de tierra</p> <p>NTP 235: Medidas de seguridad en máquinas: criterios de selección</p> <p>NTP 325: Cuestionario de chequeo para el control de riesgo de atrapamiento en máquinas</p> <p>NTP 434: Superficies de trabajo seguras (I)</p> <p>La prevenció de riscos laborals en el sector de la construcció</p>
<p>11. Cortes, heridas y golpes debido a maquinaria no pesada – Trabajos con maquinaria no pesada o herramientas manuales que cortan, perforan o dan golpes</p>
<p>Directiva 95/63/CE</p> <p>Real Decreto 1215/1997</p> <p>Real Decreto 2177/2004</p> <p>Guía Técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relativos a la utilización de equipos de trabajo</p> <p>NTP 92: Sierra de cinta</p> <p>NTP 96: Sierra circular para construcción. Dispositivos de protección</p> <p>NTP 133: Tronzadora – Ingletadora</p> <p>NTP 149: Plegadora de chapa</p> <p>NTP 235: Medidas de seguridad en máquinas: criterios de selección</p> <p>NTP 281: Amoladoras angulares</p> <p>NTP 391: Herramientas manuales (I): condiciones generales de seguridad</p>

<p>NTP 392: Herramientas manuales (II): condiciones generales de seguridad NTP 393: Herramientas manuales (III): condiciones generales de seguridad NTP 631: Riesgos en la utilización de equipos y herramientas portátiles, accionados por aire comprimido NTP 882: Guantes de protección contra riesgos mecánicos La prevenció de riscos laborals en el sector de la construcció</p>
<p>12. Quemaduras – Soldadura, corte oxiacetilénico y adhesión de lámina asfáltica al soporte mediante soplete</p>
<p>NTP 494: Soldadura eléctrica al arco: normas de seguridad NTP 495: Soldadura oxiacetilénica y oxicorte: normas de seguridad NTP 904: Arco eléctrico: estimación de la energía calorífica incidente sobre un trabajador</p>
<p>13. Golpes por proyección o caída de elementos sobre trabajadores – Derribo o demolición manual, mecánica o mediante explosivos; perforación de barrenos previa a la voladura de un desmonte y posterior saneamiento y reconocimiento del terreno</p>
<p>Directiva 92/57/CEE Real Decreto 1627/1997 NTE-ADD/1975</p>
<p>14. Intoxicaciones por polvo o tóxicos – Derribos o demoliciones generales o de hospitales, industrias, mataderos o cualquier otro lugar que pueda contener sustancias tóxicas por medios manuales, mecánicos o explosivos</p>
<p>Directiva 92/57/CEE Directiva 95/30/CE Directiva 98/24/CE Directiva 1999/45/CE Directiva 2000/39/CE Real Decreto 363/1995 Real Decreto 39/1997 Real Decreto 664/1997 Real Decreto 1627/1997 Real Decreto 374/2001 Real Decreto 255/2003 NTE-ADD/1975 Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con la exposición a agentes biológicos Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos presentes en los lugares de trabajo relacionados con agentes químicos</p>
<p>15. Asfixia o intoxicaciones en espacios confinados – Trabajos en espacios confinados</p>
<p>Directiva 92/57/CEE Directiva 93/15/CEE Directiva 93/88/CEE Directiva 95/30/CE Directiva 2000/39/CE Real Decreto 39/1997 Real Decreto 664/1997 Real Decreto 1627/1997</p>

<p>Real Decreto 230/1998 Real Decreto 374/2001 Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con la exposición a agentes biológicos Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relativos a las obras de construcción Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos presentes en los lugares de trabajo relacionados con agentes químicos NTP 7: Soldadura. Prevención de Riesgos Higiénicos NTP 148: Riesgos higiénicos por isocianatos NTP 164: Colas y adhesivos. Tipos y riesgos higiénicos NTP 223: Trabajos en recintos confinados NTP 494: Soldadura eléctrica al arco: normas de seguridad NTP 495: Soldadura oxiacetilénica y oxicorte: normas de seguridad Curs de formació en prevenció de riscos en treballs hiperbàrics en les obres de túnels mitjançant tuneladores</p>
<p>16. Ahogo – Trabajos en zonas con riesgo de avenidas</p>
<p>Directiva 92/57/CEE Real Decreto 39/1997 Real Decreto 1627/1997 Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relativos a las obras de construcción</p>
<p>17. Colisión o atropello debido a tráfico externo a la obra – Trabajo en zonas con tráfico externo a la obra</p>
<p>Orden 31 agosto 1987 Norma de carreteras 8,3-IC Señalización de Obras Señalización móvil de obras Seguretat en els treballs en les vies públiques interurbanes - Full monogràfic 5</p>
<p>18. Accidente de tráfico – Transporte de elementos y materiales a obra</p>
<p>Directiva 95/63/CE Real Decreto Legislativo 339/1990 Real Decreto 1215/1997 Real Decreto 1428/2003 Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relativos a la utilización de equipos de trabajo</p>
<p>19. Riesgo estructural o riesgo macro – Operaciones o estructuras complejas</p>
<p>Directiva 92/57/CEE Directiva 95/63/CE Real Decreto 1215/1997 Real Decreto 1627/1997 Real Decreto 604/2006 Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relativos a la utilización de equipos de trabajo NTP 208: Grúa móvil NTP 701: Grúas-torre. Recomendaciones de seguridad en su manipulación NTP 719: Encofrado horizontal. Puntales telescópicos de acero</p>

20. Caída de personas al mismo nivel – Todos los trabajos
<p>Directiva 92/57/CEE Real Decreto 1627/1997 Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relativos a las obras de construcción NTP 434: Superficies de trabajo seguras (I) NTP 435: Superficies de trabajo seguras (II) NTP 481: Orden y limpieza de lugares de trabajo</p>
21. Golpe de calor, lesiones por frío y quemaduras por radiación solar – Trabajos a la intemperie en condiciones climáticas adversas
<p>Directiva 92/57/CEE Real Decreto 1627/1997 Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relativos a las obras de construcción NTP 279: Ambiente térmico y deshidratación El trabajo en ambientes calurosos - quaderns de prevenció</p>
22. Aumento de probabilidad de producirse algún siniestro – Trabajo nocturno o en condiciones de visibilidad reducida
NTP 434: Superficies de trabajo seguras (I)
<u>Enfermedades profesionales</u>
23. Lesiones dorsolumbares – Manipulación manual de cargas
<p>Directiva 90/269/CEE Real Decreto 487/1997 Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relativos a la manipulación manual de cargas NTP 477: Levantamiento manual de cargas: ecuación del NIOSH NTP 820: Ergonomía y construcción: trabajo en zanjás</p>
24. Problemas osteoarticulares – Trabajos con exposición a vibraciones mecánicas
<p>Directiva 95/63/CE Directiva 2002/44/CE Real Decreto 1215/1997 Real Decreto 1311/2005 Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relativos a la utilización de equipos de trabajo Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con las vibraciones mecánicas NTP 122: Retroexcavadora NTP 126: Máquinas para movimiento de tierra</p>
25. Hipoacusia laboral o sordera – Trabajos con exposición al ruido
<p>Directiva 95/63/CE Directiva 2003/10/CE Real Decreto 1215/1997 Real Decreto 286/2006 Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relativos a la utilización</p>

de equipos de trabajo Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con la exposición de los trabajadores al ruido
26. Enfermedades descompresivas – Trabajos en condiciones hiperbáricas
Las mismas referencias que en los accidentes disbáricos (punto 7)
27. Enfermedades provocadas por el amianto – Trabajos con susceptibilidad de exposición al amianto
Directiva 1999/77/CE Directiva 2003/18/CE Directiva 2004/37/CE Directiva 2009/148/CE Real Decreto 363/1995 Real Decreto 665/1997 Orden de 7 de diciembre de 2001 Real Decreto 396/2006 Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con la exposición durante el trabajo a agentes cancerígenos o mutágenos Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con la exposición al amianto NTP 796: Amianto: planes de trabajo para operaciones de retirada o mantenimiento NTP 815: Planes de trabajo con amianto: orientaciones prácticas para su realización NTP 862: Operaciones de demolición, retirada o mantenimiento con amianto: ejemplos prácticos
28. Daños en la salud derivados de las radiaciones ionizantes – Trabajo con maquinaria generadora de radiaciones ionizantes
Directiva 92/57/CEE Directiva 95/63/CE Directiva 96/29/Euratom Directiva 2003/122/Euratom Real Decreto 1215/1997 Real Decreto 1627/1997 Real Decreto 783/2001 Real Decreto 229/2006 Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relativos a la utilización de equipos de trabajo NTP 494: Soldadura eléctrica al arco: normas de seguridad NTP 614: Radiaciones ionizantes: normas de protección NTP 770: Riesgos radiológicos del uso de electrodos de tungsteno toriados en la soldadura de arco (TIG) NTP 904: Arco eléctrico: estimación de la energía calorífica incidente sobre un trabajador La prevenció de riscos laborals en el sector de la construcció
29. Silicosis – Trabajos que produzcan concentraciones elevadas de polvo silíceo
Real Decreto 39/1997 NTP 257: Perforación de rocas: eliminación de polvo

A.3. LEGISLACIÓN EUROPEA Y ESPAÑOLA SOBRE SEGURIDAD Y SALUD CONSULTADA

La tabla A.3 se ha elaborado a partir de toda la legislación europea y española sobre seguridad y salud consultada, incluyendo la legislación más general que no se traduce directamente en un riesgo concreto de los enumerados anteriormente. Primero se lista la legislación europea y, a continuación, la legislación española; ambas acompañadas de un análisis jurídico.

Tabla A.3. Legislación europea y española sobre seguridad y salud consultada.

Nombre abreviado	Legislación europea	Análisis jurídico
DIRECTIVA 89/391/CEE	Directiva del Consejo de 12 de junio de 1989 relativa a la aplicación de medidas para promover la mejora de la seguridad y de la salud de los trabajadores en el trabajo.	Transpuesta por: Ley 31/1995; Afectada por: Reglamento (CE) nº 1882/2003, Directiva 2007/30/CE, Reglamento (CE) nº 1137/2008.
DIRECTIVA 89/655/CEE (derogada)	Directiva del Consejo de 30 de noviembre de 1989 relativa a las disposiciones mínimas de seguridad y de salud para la utilización por los trabajadores en el trabajo de los equipos de trabajo.	Transpuesta por: Real Decreto 1215/1997; Afectada por: Directiva 2001/45/CE, Directiva 95/63/CE, Directiva 2007/30/CE; Derogada por: Directiva 2009/104; Codificada por: Directiva 2009/104/CE.
DIRECTIVA 89/656/CEE	Directiva del Consejo de 30 de noviembre de 1989 relativa a las disposiciones mínimas de seguridad y de salud para la utilización por los trabajadores en el trabajo de equipos de protección individual (tercera Directiva específica con arreglo al apartado 1 del artículo 16 de la Directiva 89/391/CEE).	Transpuesta por: Real Decreto 773/1997; Afectada por: Directiva 2007/30/CE.
DIRECTIVA 89/686/CEE	Directiva del Consejo de 21 de diciembre de 1989 sobre aproximación de las legislaciones de los Estados miembros relativas a los equipos de protección individual.	Transpuesta por: Real Decreto 1407/1992; Afectada por: Directiva 93/68/CEE, Directiva 93/95/CEE, Directiva 96/58/CE, Reglamento (CE) nº 1882/2003.
DIRECTIVA 90/269/CEE	Directiva 90/269/CEE, de 29 de mayo de 1990, establece las disposiciones mínimas de seguridad y de salud relativas a la manipulación manual de cargas que entrañe riesgos, en particular dorsolumbares, para los trabajadores.	Transpuesta por: Real Decreto 487/1997; Afectada por: Directiva 2007/30/CE.
DIRECTIVA 90/394/CEE (derogada)	Directiva 90/394/CEE, de 28 de junio, relativa a la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes cancerígenos durante el trabajo (Sexta Directiva específica con arreglo al apartado 1 del artículo 16 de la Directiva 89/391/CEE).	Transpuesta por: Real Decreto 665/1997; Afectada por: Directiva 1999/38/CE (Transpuesta por: Real Decreto 349/2003), Directiva 97/42/CE, Rectificación DO L 37 de 12.2.2000 p. 35 (1999/38/CE); Derogada por: Directiva 2004/37/CE.
DIRECTIVA 90/679/CEE (derogada)	Directiva 90/679/CEE del Consejo, de 26 de noviembre de 1990, sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes biológicos durante el trabajo (Séptima directiva específica con arreglo al apartado 1 del artículo 16 de la Directiva 89/391/CEE).	Transpuesta por: Real Decreto 664/1997; Afectada por: Directiva 95/30/CE, Directiva 93/88/CEE, Directiva 97/65/CE, Directiva 97/59/CE; Derogada por: Directiva 2000/54/CE.
DIRECTIVA 91/383/CEE	Directiva 91/383/CEE del Consejo, de 25 de junio de 1991, por la que se completan las medidas tendentes a promover la mejora de la seguridad y de la salud en el trabajo de los trabajadores con una relación laboral de duración determinada o de empresas de trabajo temporal.	Transpuesta por: Ley 31/1995; Afectada por: Directiva 2007/30/CE.

DIRECTIVA 92/57/CEE	Directiva 92/57/CEE del Consejo de 24 de junio de 1992 relativa a las disposiciones mínimas de seguridad y de salud que deben aplicarse en las obras de construcción temporales o móviles (octava Directiva específica con arreglo al apartado 1 del artículo 16 de la Directiva 89/391/CEE).	Transpuesta por: Real Decreto 1627/1997; Afectada por: Directiva 2007/30/CE, Rectificación DO L 33 de 9.2.1993.
DIRECTIVA 92/58/CEE	Directiva 92/58/CEE del Consejo, de 24 de junio de 1992, relativa a las disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo (novena Directiva particular con arreglo a lo dispuesto en el apartado 1 del artículo 16 de la Directiva 89/391/CEE).	Transpuesta por: Real Decreto 485/1997; Afectada por: Directiva 2007/30/CE.
DIRECTIVA 92/85/CEE	Directiva 92/85/CEE del Consejo, de 19 de octubre de 1992, relativa a la aplicación de medidas para promover la mejora de la seguridad y de la salud en el trabajo de la trabajadora embarazada, que haya dado a luz o en período de lactancia (décima Directiva específica con arreglo al apartado 1 del artículo 16 de la Directiva 89/391/CEE).	Transpuesta por: Real Decreto 298/2009, Ley 31/1995; Afectada por: Directiva 2007/30/CE.
DIRECTIVA 92/104/CEE	Directiva 92/104/CEE del Consejo de 3 de diciembre de 1992 relativa a las disposiciones mínimas destinadas a mejorar la protección en materia de seguridad y de salud de los trabajadores de las industrias extractivas a cielo abierto o subterráneas (duodécima Directiva específica con arreglo al apartado 1 del artículo 16 de la Directiva 89/391/CEE).	Transpuesta por: Real Decreto 1389/1997; Afectada por: Directiva 2007/30/CE.
DIRECTIVA 93/15/CEE	Directiva 93/15/CEE del Consejo de 5 de abril de 1993, relativa a la armonización de las disposiciones sobre la puesta en el mercado y el control de los explosivos con fines civiles.	Transpuesta por: Real Decreto 230/1998; Afectada por: Reglamento (CE) nº 1882/2003, Reglamento (CE) nº 219/2009.
DIRECTIVA 93/88/CEE	Directiva 93/88/CEE del Consejo de 12 de octubre de 1993 por la que se modifica la Directiva 90/679/CEE sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes biológicos durante el trabajo (Séptima Directiva específica con arreglo al apartado 1 del artículo 16 de la Directiva 89/391/CEE)	Transpuesta por: Real Decreto 664/1997; Afectada por: Directiva 90/679/CEE.
DIRECTIVA 94/33/CE	Directiva 94/33/CE del Consejo, de 22 de junio de 1994, relativa a la protección de los jóvenes en el trabajo.	Transpuesta por: Ley 31/1995; Afectada por: Directiva 2007/30/CE.
DIRECTIVA 95/30/CE	Directiva 95/30/CE de la Comisión, de 30 de junio de 1995, por la que se adapta al progreso técnico la Directiva 90/679/CEE del Consejo, sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes biológicos durante el trabajo (séptima Directiva específica con arreglo al apartado 1 del artículo 16 de la Directiva 89/391/CEE).	Transpuesta por: Real Decreto 664/1997; Afectada por: Directiva 90/679/CEE.
DIRECTIVA 95/63/CE	Directiva 95/63/CE del Consejo, de 5 de diciembre de 1995, por el que se modifica la Directiva 89/655/CEE relativa a las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores en el trabajo de los equipos de trabajo (segunda Directiva específica con arreglo al apartado 1 del artículo 16 de la Directiva 89/391/CEE).	Transpuesta por: Real Decreto 1215/1997; Afectada por: Directiva 89/655.

DIRECTIVA 96/29/Euratom	Directiva 96/29/Euratom del Consejo de 13 de mayo de 1996 por la que se establecen las normas básicas relativas a la protección sanitaria de los trabajadores y de la población contra los riesgos que resultan de las radiaciones ionizantes.	Transpuesta por: Real Decreto 783/2001; Deroga: Directiva 84/467, Directiva 80/836, Directiva 76/579, Directiva 66/45, Directiva de 5 de marzo (DOCE NUM. 57, de 6.7.1962), Directiva de 2 de febrero (DOCE NUM. 11, de 20.2.1959).
DIRECTIVA 96/82/CE	Directiva 96/82/CE del Consejo de 9 de diciembre de 1996 relativa al control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas.	Transpuesta por: Real Decreto 1254/1999; Deroga: Directiva 82/501; Afectada por: Reglamento (CE) nº 1882/2003, Directiva 2003/105/CE, Reglamento (CE) nº 1137/2008, Rectificación DO L 73 de 12.3.1998 p. 51.
DIRECTIVA 98/24/CE	Directiva 98/24/CE del Consejo de 7 de abril de 1998 relativa a la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo (decimocuarta Directiva específica con arreglo al apartado 1 del artículo 16 de la Directiva 89/391/CEE)	Transpuesta por: Real Decreto 374/2001; Afectada por: Directiva 2007/30/CE.
DIRECTIVA 1999/45/CE	Directiva 1999/45/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 31 de mayo de 1999 sobre la aproximación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas de los Estados miembros relativas a la clasificación, el envasado y el etiquetado de preparados peligrosos.	Transpuesta por: Real Decreto 255/2003; Deroga a: Directiva 96/65, Directiva 93/18, Directiva 91/442, Directiva 90/492, Directiva 90/35, Directiva 89/178, Directiva 88/379, Directiva 78/631; Afectada por: Directiva 2001/60/CE, Reglamento (CE) nº 1882/2003, Directiva 2004/66/CE, Directiva 2006/8/CE, Directiva 2006/96/CE, Reglamento 1907/2006/CE, Reglamento (CE) nº 1137/2008, Reglamento (CE) nº 1272/2008, Rectificación DO L 6 de 10.1.2002 p. 70, Rectificación DO L 43 de 15.2.2007 p. 42, Rectificación DO L 136 de 29.5.2007 p. 3.
DIRECTIVA 1999/77/CE	Directiva 1999/77/CE de la Comisión de 26 de julio de 1999 por la que se adapta al progreso técnico por sexta vez el anexo I de la Directiva 76/769/CEE del Consejo relativa a la aproximación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas de los Estados miembros que limitan la comercialización y el uso de determinadas sustancias y preparados peligrosos (amianto)	Traspuesta por: Orden de 7 de diciembre de 2001.
DIRECTIVA 1999/92/CE	Directiva 1999/92/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 1999, relativa a las disposiciones mínimas para la mejora de la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores expuestos a los riesgos derivados de atmósferas explosivas.	Transpuesta por: Real Decreto 681/2003; Afectada por: Directiva 2007/30/CE, Rectificación DO L 134 de 7.6.2000 p. 36 (1999/92/CE).
DIRECTIVA 2000/39/CE	Directiva 2000/39/CE de la Comisión de 8 de junio de 2000 por la que se establece una primera lista de valores límite de exposición profesional indicativos en aplicación de la Directiva 98/24/CE del Consejo relativa a la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo.	Transpuesta por: Real Decreto 374/2001; Deroga a: Directiva 96/94; Afectada por: Directiva 2006/15/CE, Directiva 2009/161/UE.
DIRECTIVA 2002/44/CE	Directiva 2002/44/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 25 de junio de 2002 sobre las disposiciones mínimas de seguridad y de salud relativas a la exposición de los trabajadores a los riesgos derivados de los agentes físicos (vibraciones) (decimosexta Directiva específica con arreglo al apartado 1 del artículo 16 de la Directiva 89/391/CEE).	Transpuesta por: Real Decreto 1311/2005; Afectada por: Directiva 2007/30/CE, Reglamento (CE) nº 1137/2008.

DIRECTIVA 2003/10/CE	Directiva 2003/10/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 6 de febrero de 2003, sobre las disposiciones mínimas de seguridad y de salud relativas a la exposición de los trabajadores a los riesgos derivados de los agentes físicos (ruido) (decimoséptima Directiva específica con arreglo al apartado 1 del artículo 16 de la Directiva 89/391/CEE).	Transpuesta por: Real Decreto 286/2006; Deroga a: Directiva 86/188; Afectada por: Directiva 2007/30/CE, Reglamento (CE) nº 1137/2008.
DIRECTIVA 2003/18/CE	Directiva 2003/18/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 27 de marzo de 2003, por la que se modifica la Directiva 83/477/CEE del Consejo sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al amianto durante el trabajo.	Transpuesta por: Real Decreto 396/2006.
DIRECTIVA 2003/122/Euratom	Directiva 2003/122/Euratom del Consejo, de 22 de diciembre de 2003, sobre el control de las fuentes radiactivas selladas de actividad elevada y de las fuentes huérfanas.	Transpuesta por: Real Decreto 229/2006.
DIRECTIVA 2004/37/CE	Directiva 2004/37/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 29 de abril de 2004, relativa a la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes carcinógenos o mutágenos durante el trabajo (Sexta Directiva específica con arreglo al apartado 1 del artículo 16 de la Directiva 89/391/CEE del Consejo) (Versión codificada).	Deroga a: Directiva 90/394; Afectada por: Corrección de errores de la Directiva 2004/37/CE DO L 229 de 29.6.2004 p. 23/34 y DO L 204 de 4.8.2007 p. 28/28 (1ª y 2ª corrección).
DIRECTIVA 2006/42/CE	Directiva 2006/42/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 17 de mayo de 2006, relativa a las máquinas y por la que se modifica la Directiva 95/16/CE (refundición).	Transpuesta por: Real Decreto 1644/2008; Afecta a: Directiva 95/16/CE; Afectada por: Reglamento (CE) nº 596/2009, Directiva 2009/127/CE, Rectificación DO L 76 de 16.3.2007.
DIRECTIVA 2006/121/CE	Directiva 2006/121/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 18 de diciembre de 2006, por la que se modifica la Directiva 67/548/CEE del Consejo, relativa a la aproximación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas en materia de clasificación, embalaje y etiquetado de las sustancias peligrosas, para adaptarla al Reglamento (CE) nº 1907/2006, relativo al registro, la evaluación, la autorización y la restricción de las sustancias y preparados químicos (REACH), y por el que se crea la Agencia Europea de Sustancias y Preparados Químicos.	Transpuesta por: Real Decreto 1802/2008; Afecta a: Directiva 67/548; Afectada por: Corrección de errores de la Directiva 2006/121/CE.
DIRECTIVA 2009/104/CE	Directiva 2009/104/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de septiembre de 2009, relativa a las disposiciones mínimas de seguridad y de salud para la utilización por los trabajadores en el trabajo de los equipos de trabajo (segunda Directiva específica con arreglo al artículo 16, apartado 1, de la Directiva 89/391/CEE) (Versión codificada).	Deroga a: Directiva 2007/30, Directiva 89/655.
DIRECTIVA 2009/148/CE	Directiva 2009/148/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de noviembre de 2009, sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al amianto durante el trabajo.	Deroga a: Directiva 2007/30, Directiva 98/24, Directiva 83/477.

Nombre abreviado	Legislación española	Análisis jurídico
ORDEN 20 enero 1956	Orden de 20 de enero de 1956, por la que se aprueba el Reglamento de higiene y seguridad social en los trabajos realizados en cajones con aire comprimido.	-
ORDEN 9 marzo 1971	Orden de 9 de marzo de 1971 por la que se aprueba la Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el Trabajo.	Afecta a: Orden de 31 de enero de 1940; Afectada por: Real Decreto 349/2003, Real Decreto 614/2001, Real Decreto 1215/1997, Real Decreto 773/1997, Real Decreto 665/1997, Real Decreto 664/1997, Real Decreto 486/1997, Ley 31/1995, Real Decreto 1316/1989.
ORDEN NTE-ADD/1975	Orden por la que se aprueba la norma tecnológica de la edificación NTE-ADD/1975, «Acondicionamiento del terreno, Desmontes: Demoliciones».	-
RD 863/1985	Real Decreto 863/1985, de 2 de abril, por el que se aprueba el reglamento general de normas básicas de seguridad minera.	Afectado por: Real Decreto 249/2010, Real Decreto 150/1996, Orden de 16 de abril de 1990, Orden de 27 de marzo de 1990, Orden de 22 de marzo de 1988, Corrección de errores en BOE Núm. 302 de 18 de diciembre de 1985; Instrucción Técnica Complementaria: Orden de 19 de abril de 1994.
ORDEN 31 agosto 1987	Orden de 31 de agosto de 1987 sobre señalización, balizamiento, defensa, limpieza y terminación de obras fijas en vías fuera de poblado.	Afecta a: Orden de 14 de marzo de 1960; Instrucción Técnica Complementaria: Norma de carreteras 8.3-IC Señalización de Obras
RD 1406/1989	Real Decreto 1406/1989, de 10 de noviembre, por el que se imponen limitaciones a la comercialización y al uso de ciertas sustancias y preparados peligrosos.	Transpone: Directiva 85/610/CEE, Directiva 85/467/CEE, Directiva 83/478/CEE, Directiva 83/264/CEE, Directiva 82/806/CEE, Directiva 79/663/CEE, Directiva 76/769/CEE (derogada); Afectado por: Orden PRE/222/2009, Orden PRE/374/2008, Orden PRE/2772/2007, Orden PRE/985/2007, Real Decreto 1114/2006, Orden PRE/2744/2006, Orden PRE/2743/2006, Orden PRE/1933/2005, Orden PRE/3159/2004, Orden PRE/1954/2004, Orden PRE/1895/2004, Orden PRE/0473/2004, Orden PRE/2277/2003, Orden PRE/0730/2003, Orden PRE/0375/2003, Orden PRE/2666/2002, Orden PRE/1624/2002, Orden de 7 de diciembre de 2001 (Transpone Directiva 1999/77/CE), Orden de 25 de octubre de 2000, Orden de 6 de julio de 2000, Orden de 24 de marzo de 2000, Orden de 11 de febrero de 2000, Orden de 15 de diciembre de 1998, Orden de 15 de julio de 1998, Orden de 14 de mayo de 1998, Orden de 1 de febrero de 1996, Orden de 30 de diciembre de 1993, Orden de 31 de agosto de 1992, Orden de 11 de diciembre de 1990, Corrección de errores en BOE núm. 297.

RDL 339/1990	Real Decreto Legislativo 339/1990, de 2 de marzo, por el que se aprueba el texto articulado de la Ley sobre Tráfico, Circulación de Vehículos a Motor y Seguridad Vial.	Deroga a: Ley 85/1967, Ley 47/1959; Afectado por: Ley 17/2012, Real Decreto 776/2011, Real Decreto 303/2011, Ley 25/2009, Ley 18/2009, Real Decreto 818/2009, Ley Orgánica 15/2007, Ley 17/2005, Real Decreto 1428/2003, Ley 19/2001, Resolución de 22 de octubre de 2001, Ley 55/1999, Ley 43/1999, Ley 11/1999, Real Decreto 2822/1998, Ley 59/1997, Real Decreto-Ley 12/1997, Real Decreto 772/1997, Ley 5/1997, Real Decreto 320/1994, Real Decreto 13/1992, Corrección de errores en BOE núm. 185.
RD 1407/1992	Real Decreto 1407/1992, de 20 de noviembre, por el que se regulan las condiciones para la comercialización y libre circulación intracomunitaria de los equipos de protección individual.	Transpone: Directiva 89/686/CEE; Afecta a: Orden de 17 de mayo de 1974; Afectado por: Orden de 20 de febrero de 1997, Resolución de 25 de abril de 1996, Real Decreto 159/1995, Orden de 16 de mayo de 1994, Corrección de erratas en BOE 47.
LEY 14/1994	Ley 14/1994, de 1 de junio, por la que se regulan las Empresas de Trabajo Temporal.	Afectada por: Ley 35/2010, Real Decreto-Ley 10/2010, Ley 43/2006, Real Decreto-Ley 5/2006, Ley 12/2001, Real Decreto-Ley 5/2001, Ley 14/2000, Real Decreto Legislativo 5/2000, Ley 45/1999, Ley 29/1999, Real Decreto 216/1999, Ley 50/1998, Ley 63/1997, Real Decreto-Ley 8/1997, Real Decreto Legislativo 2/1995, Real Decreto 4/1995.
RD 363/1995	Real Decreto 363/1995, de 10 de marzo de 1995, por el que se regula la Notificación de Sustancias Nuevas y Clasificación, Envasado y Etiquetado de Sustancias Peligrosas.	Transpone: Directiva 93/112/CEE, Directiva 93/105/CEE, Directiva 93/90/CEE, Directiva 93/72/CEE, Directiva 93/67/CEE, Directiva 93/21/CEE, Directiva 92/69/CEE, Directiva 92/37/CEE, Directiva 92/32/CEE, Directiva 91/410/CEE, Directiva 88/302/CEE; Afecta a: Orden de 9 de diciembre de 1992, Orden de 29 de noviembre de 1990, Orden de 13 de noviembre de 1989, Orden de 7 de septiembre de 1988, Real Decreto 725/1988, Orden de 14 de marzo de 1988, Real Decreto 2216/1985, Real Decreto 1078/1993; Afectado por: Real Decreto 717/2010, Ley 8/2010, Real Decreto 1802/2008 (transpone la Directiva 2006/121/CE), Orden PRE/1244/2006, Real Decreto 255/2003, Real Decreto 99/2003, Orden PRE/2317/2002, Real Decreto 507/2001, Orden de 5 de abril de 2001, Orden de 5 de octubre de 2000, Orden de 16 de julio de 1999, Orden de 11 de septiembre de 1998, Orden de 30 de junio de 1998, Real Decreto 700/1998, Orden de 21 de febrero de 1997, Orden de 13 de septiembre de 1995.

RDL 1/1995	Real Decreto Legislativo 1/1995, de 24 de marzo, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley del Estatuto de los Trabajadores.	Afecta a: Ley 4/1995, Ley 42/1994, Ley 11/1994, Ley 10/1994, Ley 36/1992, Ley 8/1992, Ley 2/1991, Ley 4/1990, Ley 3/1989, Ley 8/1988, Ley 32/1984, Ley 4/1983, Ley 8/1980; Afectado por: Ley 22/2003, Decreto Ley 14/2011, Real Decreto-Ley 10/2011, Ley 27/2011, Sentencia 75/2011, Real Decreto-Ley 7/2011, Ley 39/2010, Ley 35/2010, Real Decreto-Ley 10/2010, Ley 9/2009, Ley 40/2007, Ley 38/2007, Ley Orgánica 3/2007, Ley 43/2006, Real Decreto-Ley 5/2006, Ley 14/2005, Sentencia 253/2004, Ley Orgánica 1/2004, Ley 45/2002, Ley 35/2002, Ley 33/2002, Real Decreto-Ley 5/2002, Real Decreto-Ley 16/2001, Ley 12/2001, Real Decreto-Ley 5/2001, Ley 14/2000, Real Decreto Legislativo 5/2000, Ley 55/1999, Ley 39/1999, Ley 24/1999, Ley 50/1998, Real Decreto-Ley 15/1998, Ley 63/1997, Ley 60/1997, Real Decreto-Ley 8/1997, Ley 13/1996, Ley 31/1995, Real Decreto 735/1995.
LEY 31/1995	Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales - LPRL.	Transpone: Directiva 89/391/CEE, Directiva 94/33/CE, Directiva 92/85/CEE, Directiva 91/383/CEE; Afecta a: Ley 8/1988, Orden de 9 de marzo de 1971, Decreto 432/1971, Decreto de 26 de julio de 1957, Real Decreto Legislativo 1/1995, Orden de 9 de marzo de 1971; Afectada por: Ley 32/2010, Ley 25/2009, Ley Orgánica 3/2007, Ley 31/2006, Ley 30/2005, Ley 54/2003, Real Decreto Legislativo 5/2000, Ley 39/1999, Ley 50/1998; Guía técnica relacionada: Guía técnica para la integración de la prevención de riesgos laborales en el sistema general de gestión de la empresa.
RD 39/1997	Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención.	Afecta a: Orden de 21 de noviembre de 1959, Decreto 1036/1959; Afectado por: Real Decreto 337/2010, Real Decreto 298/2009, Real Decreto 604/2006, Real Decreto 688/2005, Real Decreto 780/1998; Guía técnica relacionada: Guía técnica para la integración de la prevención de riesgos laborales en el sistema general de gestión de la empresa.
RD 485/1997	Real Decreto 485/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo.	Transpone: Directiva 92/58/CEE; Afecta a: Real Decreto 1403/1986; Guía técnica relacionada: Guía técnica sobre señalización de seguridad y salud en el trabajo.
RD 487/1997	Real Decreto 487/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la manipulación manual de cargas que entrañe riesgos, en particular dorsolumbares, para los trabajadores.	Transpone: Directiva 90/269/CEE; Afecta a: Orden de 2 de junio de 1961, Decreto de 15 de noviembre de 1935; Guía técnica relacionada: Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relativos a la manipulación manual de cargas.
RD 664/1997	Real Decreto 664/1997, de 12 de mayo, sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes biológicos durante el trabajo.	Transpone: Directiva 95/30/CE, Directiva 93/88/CEE, Directiva 90/679/CEE (derogada); Afecta a: Orden de 9 de marzo de 1971; Afectado por: Orden de 25 de marzo de 1998; Guía técnica relacionada: Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con la exposición a agentes biológicos.

RD 665/1997	Real Decreto 665/1997, de 12 de mayo, sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes cancerígenos durante el trabajo.	Transpone: Directiva 90/394/CEE (derogada); Afecta a: Orden de 9 de marzo de 1971; Afectado por: Real Decreto 349/2003 (Transpone: Directiva 1999/38/CE), Real Decreto 1124/2000; Guía técnica relacionada: Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con la exposición durante el trabajo a agentes cancerígenos o mutágenos.
RD 773/1997	Real Decreto 773/1997, de 30 de mayo, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual.	Transpone: Directiva 89/656/CEE; Afecta a: Orden de 9 de marzo de 1971; Afectado por: Corrección de erratas en BOE núm. 171; Guía técnica relacionada: Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos para la utilización por los trabajadores en el trabajo de equipos de protección individual.
RD 1215/1997	Real Decreto 1215/1997, de 18 de julio por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo.	Transpone: Directiva 95/63/CE, Directiva 89/655/CEE (derogada); Afecta a: Orden de 9 de marzo de 1971; Afectado por: Real Decreto 2177/2004; Guía técnica relacionada: Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relativos a la utilización de los equipos de trabajo.
RD 1389/1997	Real Decreto 1389/1997, de 5 de septiembre, por el que se aprueban las disposiciones mínimas destinadas a proteger la seguridad y la salud de los trabajadores en las actividades mineras.	Transpone: Directiva 92/104/CEE.
ORDEN 14 octubre 1997	Orden de 14 de octubre de 1997 por la que se aprueban las normas de seguridad para el ejercicio de actividades subacuáticas.	Afectada por: Orden de 20 de julio de 2000, Resolución de 20 de enero de 1999.
RD 1627/1997	Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y de salud en las obras de construcción.	Transpone: Directiva 92/57/CEE; Afecta a: Real Decreto 555/1986; Afectado por: Real Decreto 337/2010, Real Decreto 1109/2007, Real Decreto 604/2006, Real Decreto 2177/2004; Guía técnica relacionada: Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relativos a las obras de construcción.
RD 230/1998	Real Decreto 230/1998, de 16 de febrero, por el que se aprueba el Reglamento de explosivos.	Transpone: Directiva 93/15/CEE; Afecta a: Real Decreto 2114/1978; Afectado por: Real Decreto 563/2010, Real Decreto 248/2010, Orden PRE/1263/2009, Orden PRE/174/2007, Orden PRE/848/2006, Orden PRE/252/2006, Real Decreto 277/2005 (Transpone la Directiva 2004/57/CE), Resolución de 22 de octubre de 2001, Resolución de 22 de octubre de 2001, Corrección de errores en BOE núm. 157.
RD 216/1999	Real Decreto 216/1999, de 5 de febrero, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud en el trabajo de los trabajadores en el ámbito de las empresas de trabajo temporal.	-
RD 1254/1999	Real Decreto 1254/1999, de 16 de julio, por el que se aprueban medidas de control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas.	Transpone: Directiva 96/82/CE; Afecta a: Real Decreto 952/1990, Real Decreto 886/1988; Afectado por: Sentencia del TS, Real Decreto 948/2005, Real Decreto 119/2005, Corrección de errores en BOE núm. 264.

RDL 5/2000	Real Decreto Legislativo 5/2000, de 4 de agosto, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley sobre Infracciones y Sanciones en el Orden Social.	Afecta a: Ley 45/1999, Ley 27/1999, Ley 10/1997, Ley 31/1995, Real Decreto Legislativo 1/1995, Ley 14/1994, Ley 8/1988; Afectado por: Real Decreto-Ley 14/2011, Ley 27/2011, Ley 26/2011, Real Decreto-Ley 5/2011, Real Decreto-Ley 3/2011, Ley 35/2010, Ley 32/2010, Real Decreto-Ley 10/2010, Ley 26/2009, Ley 2/2008, Ley 44/2007, Ley 38/2007, Ley Orgánica 3/2007, Real Decreto 306/2007, Ley 43/2006, Ley 40/2006, Ley 32/2006, Ley 31/2006, Real Decreto-Ley 5/2006, Ley 62/2003, Ley 54/2003, Ley 52/2003, Ley 45/2002, Real Decreto-Ley 5/2002, Ley 24/2001, Resolución de 16 de octubre de 2001, Ley 12/2001, Ley 14/2000, Corrección de errores en BOE núm. 228.
RD 374/2001	Real Decreto 374/2001, de 6 de abril, sobre la protección de la salud y seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo.	Transpone: Directiva 2000/39/CE, Directiva 98/24/CE; Afecta a: Real Decreto 88/1990, Orden de 9 de abril de 1986, Decreto 2414/1961; Afectado por: Corrección de erratas BOE núm. 149, Corrección de erratas BOE núm. 129; Guía técnica relacionada: Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con agentes químicos.
RD 614/2001	Real Decreto 614/2001, de 8 de junio, sobre disposiciones mínimas para la protección de la salud y seguridad de los trabajadores frente al riesgo eléctrico.	Afecta a: Orden de 9 de marzo de 1971; Guía técnica relacionada: Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con la protección frente al riesgo eléctrico.
RD 783/2001	Real Decreto 783/2001, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento sobre protección sanitaria contra radiaciones ionizantes.	Transpone: Directiva 96/29/Euratom; Afecta a: Real Decreto 53/1992, Real Decreto 1836/1999; Afectado por: Real Decreto 1439/2010.
ORDEN 7 diciembre 2001	Orden de 7 de diciembre de 2001 por la que se modifica el anexo I del Real Decreto 1406/1989, de 10 de noviembre, por el que se imponen limitaciones a la comercialización y al uso de ciertas sustancias y preparados peligrosos.	Transpone: Directiva 1999/77/CE; Afecta a: Real Decreto 1406/1989.
RD 842/2002	Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento electrotécnico para baja tensión.	Afecta a: Decreto 2413/1973; Afectado por: Real Decreto 560/2010, Sentencia del TS de 17 de febrero de 2004.
RD 255/2003	Real Decreto 255/2003, de 28 de febrero de 2003, por el que se aprueba el Reglamento sobre clasificación, envasado y etiquetado de preparados peligrosos.	Transpone: Directiva 2001/60/CE, Directiva 2001/58/CE, Directiva 99/45/CE; Afecta a: Real Decreto 1425/1998, Real Decreto 363/1995, Real Decreto 1078/1993, Real Decreto 3349/1983; Afectado por: Orden PRE/3/2006, Orden PRE/164/2007, Orden PRE/1648/2007, Real Decreto 1802/2008, Ley 8/2010, Real Decreto 717/2010, Corrección de errores en BOE núm. 56.
RD 681/2003	Real Decreto 681/2003, de 12 de junio, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores expuestos a los riesgos derivados de atmósferas explosivas en el lugar de trabajo.	Transpone: Directiva 1999/92/CE; Guía técnica relacionada: Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos derivados de atmósferas explosivas en el lugar de trabajo.
RD 1428/2003	Real Decreto 1428/2003, de 21 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento General de Circulación para la aplicación y desarrollo del texto articulado de la Ley sobre tráfico, circulación de vehículos a motor y seguridad vial, aprobado por el Real Decreto Legislativo 339/1990, de 2 de marzo.	Deroga: Real Decreto 13/1992, Decreto de 25 de septiembre de 1934 (Gazeta); Afecta a: Real Decreto Legislativo 339/1990; Afectado por: Real Decreto 303/2011, Resolución de 1 de junio de 2009, Real Decreto 965/2006.

RD 171/2004	Real Decreto 171/2004, de 30 de enero, por el que se desarrolla el artículo 24 de la Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales, en materia de coordinación de actividades empresariales.	Afectado por: Corrección de errores del Real Decreto 171/2004.
RD 2177/2004	Real Decreto 2177/2004, de 12 de noviembre, por el que se modifica el Real Decreto 1215/1997, de 18 de julio, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo, en materia de trabajos temporales en altura.	Transpone: Directiva 2001/45/CE; Afecta a: Orden de 20 de mayo de 1952, Orden de 31 de enero de 1940, Real Decreto 1627/1997, Real Decreto 1215/1997, Real Decreto 486/1997.
RD 277/2005	Real Decreto 277/2005, de 11 de marzo, por el que se modifica el Reglamento de Explosivos, aprobado por el Real Decreto 230/1998, de 16 de febrero.	Transpone: Directiva 2004/57/CE; Afecta a: Real Decreto 230/1998, Real Decreto 2364/1994.
RD 1311/2005	Real Decreto 1311/2005, de 4 de noviembre, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores frente a los riesgos derivados o que puedan derivarse de la exposición a vibraciones mecánicas.	Transpone: Directiva 2002/44/CE; Afectado por: Real Decreto 330/2009; Guía técnica relacionada: Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con las vibraciones mecánicas.
RD 229/2006	Real Decreto 229/2006, de 24 de febrero, sobre el control de fuentes radiactivas encapsuladas de alta actividad y fuentes huérfanas.	Transpone: Directiva 2003/122/EURATOM; Afectado por: Real Decreto 1308/2011.
RD 286/2006	Real Decreto 286/2006, de 10 de marzo, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido.	Transpone: Directiva 2003/10/CE; Afecta a: Real Decreto 1316/1989; Afectado por: Corrección de errores en BOE núm. 71, Corrección de erratas en BOE núm. 62; Guía técnica relacionada: Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con la exposición al ruido.
RD 396/2006	Real Decreto 396/2006, de 31 de marzo, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud aplicables a los trabajos con riesgo de exposición al amianto.	Transpone: Directiva 2003/18/CE; Afecta a: Orden de 26 de julio de 1993, Resolución de 20 de febrero de 1989, Orden de 22 de diciembre de 1987, Resolución de 8 de septiembre de 1987, Orden de 7 de enero de 1987, Orden de 31 de octubre de 1984; Guía técnica relacionada: Guía técnica para la evaluación y prevención de la exposición al amianto durante el trabajo.
RD 604/2006	Real Decreto 604/2006, de 19 de mayo, por el que se modifican el Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención, y el Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción.	Afecta a: Real Decreto 39/1997, Real Decreto 1627/1997.
LEY 32/2006	Ley 32/2006, de 18 de octubre, reguladora de la subcontratación en el Sector de la Construcción.	Afecta a: Real Decreto Legislativo 5/2000; Afectada por: Ley 25/2009.
RD 1299/2006	Real Decreto 1299/2006, de 10 de noviembre, por el que se aprueba el cuadro de enfermedades profesionales en el sistema de la Seguridad Social y se establecen criterios para su notificación y registro.	Afecta a: Real Decreto 1995/1978, Decreto 3772/1972.
RD 597/2007	Real Decreto 597/2007, de 4 de mayo, sobre publicación de las sanciones por infracciones muy graves en materia de prevención de riesgos laborales.	Afectado por: Real Decreto 637/2010.

RD 1109/2007	Real Decreto 1109/2007, de 24 de agosto, por el que se desarrolla la Ley 32/2006, de 18 de octubre, reguladora de la subcontratación en el Sector de la Construcción.	Afecta a: Real Decreto 1627/1997; Afectado por: Real Decreto 337/2010, Real Decreto 327/2009, Corrección de errores en BOE núm. 219.
RD 223/2008	Real Decreto 223/2008, de 15 de febrero, por el que se aprueban el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión y sus instrucciones técnicas complementarias ITC-LAT 01 a 09.	Afecta a: Decreto 3151/1968; Afectado por: Real Decreto 560/2010, Corrección de errores en BOE núm. 174, Corrección de erratas en BOE núm. 120.
RD 1644/2008	Real Decreto 1644/2008, de 10 de octubre, por el que se establecen las normas para la comercialización y puesta en servicio de las máquinas.	Transpone: Directiva 2006/42/CE; Afecta a: Real Decreto 56/1995, Real Decreto 1435/1992, Orden de 23 de mayo de 1977, Real Decreto 1314/1997.

Anexo B

Impacto ambiental

El presente anexo incluye:

- Una explicación y justificación de los criterios, subcriterios e indicadores definidos especialmente para la metodología mediante un análisis de la legislación europea y española relacionada y entrevistas a expertos (cuarta ronda de entrevistas). En los casos en los que ha sido posible encontrar indicadores de impacto en artículos científicos y publicaciones técnicas, éstos se comparan con los indicadores definidos para la nueva metodología. También se indica, para la mayoría de indicadores, futuras líneas de investigación.
- Una tabla resumen donde se lista toda la legislación europea y española sobre impacto medioambiental consultada incluyendo la legislación más general que no se traduce directamente en algún criterio o subcriterio, además de un análisis jurídico (tabla B.20).

B.1. CRITERIOS, SUBCRITERIOS E INDICADORES DE IMPACTO AMBIENTAL CONSIDERADOS

B.1.1. Consumo de recursos

Se busca hacer un uso de recursos racional y sostenible en el ciclo de la construcción, aumentando la reutilización y el reciclaje y minimizando el consumo de energía.

B.1.1.1. Consumo de materiales

Los materiales son uno de los principales consumidores de recursos y, a la vez, son esenciales en la construcción. Por estos motivos, es necesario que la construcción haga una evaluación medioambiental a la hora de elegirlos. La mayoría de las estrategias desarrolladas para una selección óptima de los materiales se basan en las propiedades físicas o mecánicas. Solamente algunas metodologías se basan en las implicaciones medioambientales (Bakhoun y Brown, 2012).

A mayor cantidad de materiales consumidos, mayor impacto medioambiental. Como indicador del consumo de materiales se contabiliza el peso de todos los materiales que se empleen en la construcción de la obra que tengan un consumo igual o superior a 1 tonelada. Los materiales con consumo inferior pueden omitirse. La comparación con la tonelada se realiza una vez se haya sumado el peso de los distintos elementos hechos de un mismo material (por ejemplo, para el acero, una vez se haya sumado el acero de armar, más el acero de pretensar, el acero estructural y el acero de los elementos auxiliares como puntales y encofrados).

Las tierras del movimiento de tierras no se consideran como material de construcción a efectos del presente indicador. El impacto ambiental del movimiento de tierras ya queda recogido en los indicadores de afección a entornos sensibles.

Siguiendo el ejemplo de los indicadores definidos en algunas publicaciones (CIRIA, 1999; Bakhoum y Brown, 2012; y Spencer *et al.*, 2012), en el indicador de la nueva metodología se valora por igual el impacto del consumo de los distintos recursos materiales, es decir, a igualdad de peso, se considera que el consumo de los distintos materiales tiene el mismo impacto ambiental y, por lo tanto, el peso de los distintos materiales consumidos puede sumarse directamente, sin ponderar. Como futuras líneas de investigación, podrían ponderarse los pesos de los distintos materiales dando mayor importancia a los materiales con menores reservas locales o globales y con menor capacidad de renovación. En ese caso no habría que confundir los dos tipos de pesos que existirían en este indicador: el peso del material consumido, que se mide en toneladas, y el peso o importancia relativa de cada tipo de material, que se mide en unidades porcentuales.

En Spencer *et al.* (2012), se utiliza como indicador las toneladas de material por metro cuadrado de cubierta de puente. Para la presente metodología se ha optado por considerar el peso total de materiales consumidos y no por unidad construida ya que se considera que el valor absoluto es relevante, es decir, que a mayor peso de material consumido y mayor dimensión de la obra, mayor impacto medioambiental.

En la metodología de la tesis se contabilizan tanto los materiales que pasan a formar parte de la estructura o elemento que se está construyendo (hormigón, acero, asfalto, etc.) como los materiales de los elementos que se utilizan en los procedimientos u operaciones principales o auxiliares de la obra (acero de los andamios o puntales, madera de los encofrados, etc.) siempre que se utilicen en cantidad igual o superior a una tonelada.

En fases tempranas de diseño deberían establecerse objetivos para el contenido en materiales reciclados y este contenido debería ser especificado por los ingenieros (Kestner *et al.*, 2010). La utilización de materiales de construcción reciclados o reutilizados y elementos auxiliares reutilizables evita los impactos de la extracción y manufactura de materia prima. Por ello, el indicador de consumo de materiales debe ser sensible a estas prácticas y, por tanto, premiarlas. En CIRIA (1999) se proponían varios indicadores al respecto: ratio de áridos reciclados respecto a los áridos totales utilizados, peso total de áridos primarios (no reutilizados o reciclados) utilizados en la obra y peso total de materiales reciclados o reutilizados empleados en la obra. En CIRIA (2001) se proponía como indicador el porcentaje de áridos reciclados utilizados, lo que deja fuera de consideración cualquier otro material reciclado que se utilice en la obra. En Bakhoum y Brown (2012) cuentan el porcentaje de materiales reciclados y reutilizados, además del índice de reciclabilidad de la estructura acabada. En Spencer *et al.* (2012) no se explica claramente como calculan el indicador sobre la utilización de materiales reciclados; solamente comentan que se basan en una serie de preguntas sobre el porcentaje de acero reciclado, el reemplazo de cemento utilizado y su idoneidad para un proyecto en particular.

Para la presente metodología, se ha preferido integrar todas estas informaciones en un sólo indicador de consumo de materiales. A continuación se explican posibles formas de considerar y premiar el reciclaje y la reutilización de materiales a través del indicador.

Los materiales reciclados o reutilizados que pasan a formar parte del elemento o estructura que se está construyendo pueden contabilizarse con un consumo inferior al consumo real en peso, por ejemplo, podría contabilizarse solamente un porcentaje del peso real de material reciclado o reutilizado consumido. El porcentaje utilizado depende de cuánto se quiera premiar la práctica del reciclaje o reutilización: a menor porcentaje contabilizado, más premiado el reciclaje; por ejemplo, podría contabilizarse la mitad del peso del material reciclado.

El porcentaje del material reciclado que se contabiliza en el indicador puede ser igual para todos los materiales o, por el contrario, depender del material en función de:

- La disponibilidad y reservas globales y locales del material.
- Posibilidad y grado de renovación o formación del recurso material.
- Porcentajes medios actuales de reciclaje, para favorecer el reciclaje de materiales con menores porcentajes de reciclado. Por ejemplo, el acero estructural, normalmente, ya tiene un porcentaje significativo de material reciclado, a diferencia de los áridos reciclados en el hormigón, que apenas se utilizan.

Considerando que, en España, los porcentajes de reciclaje de materiales de construcción son muy bajos, para la presente metodología, el peso de material reciclado utilizado en la obra no se incluye en el recuento de material consumido; es decir, se contabiliza solamente la parte no reciclada del material. Por ejemplo, si tenemos un hormigón con el 40% de los áridos gruesos reciclados y suponemos que un 50% del peso del hormigón son áridos gruesos, tendremos que un 20% del peso del hormigón es reciclado y, de cara al indicador de material consumido, se contabilizará solamente el 80% del peso del hormigón (la parte no reciclada del hormigón). De esta forma se quiere premiar y potenciar cualquier esfuerzo que se haga hacia la utilización de materiales reciclados en la construcción.

En el caso de materiales reutilizados que pasan a formar parte definitiva de la obra (como, por ejemplo, tejas, ladrillos, cerámica, etc.), se procede de la misma forma que con los materiales reciclados, no se contabiliza su peso.

Como futuras líneas de investigación y a medida que vaya aumentando el uso de materiales reciclados en la construcción, se puede optar por, en vez de no contabilizar el consumo de material reciclado utilizado, contabilizar un porcentaje según el tipo de material teniendo en cuenta los factores arriba enumerados (disponibilidad local y global del material, grado de renovación, porcentaje actual de reciclaje del material, etc.). Por ejemplo, como la utilización de acero reciclado es mucho más frecuente que la utilización de árido reciclado, comparativamente, habría que premiar más la utilización de árido reciclado. Una forma de hacerlo, por ejemplo, sería no contabilizando el árido reciclado utilizado y contabilizando la mitad del acero reciclado utilizado.

Para premiar el uso de elementos auxiliares reutilizables (como, por ejemplo, encofrados, andamios, etc.) se contabiliza su peso real dividido por el número de veces que se puede reutilizar durante toda su vida útil y multiplicado por el número de veces que se utiliza en la obra, es decir, su peso real por el porcentaje de utilización en la obra respecto al total de utilizaciones posibles. Si, por ejemplo, un encofrado de acero que puede utilizarse un total de 10 veces y pesa 2 toneladas, se utiliza 5 veces

en la obra, el peso a considerar será $2 \text{ t} \times 5/10 = 1 \text{ t}$. Únicamente se contabilizan los elementos auxiliares que representan un peso igual o superior a una tonelada.

El uso racional de los productos de madera es esencial para preservar la cobertura arbórea y los beneficios que conlleva. Los bosques son hábitats de gran importancia y juegan un papel relevante en los ciclos climático e hidrológico. Por ello, debe buscarse que toda la madera consumida en obra disponga de la certificación FSC (Forest Stewardship Council) que garantiza una gestión forestal ambientalmente apropiada además de socialmente beneficiosa. En CIRIA (1999, 2001) contemplan un indicador que es el porcentaje de madera certificada por FSC frente al total de madera utilizada. Como se ha comentado anteriormente, para la presente metodología se ha optado por agrupar toda la información del mismo subcriterio, en este caso consumo de materiales, en un solo indicador, si es posible. Por ello, la madera que disponga de esta certificación no se contabiliza a efectos del presente indicador, es decir, solamente se contabiliza la madera que no disponga de la certificación FSC y se suma al resto de consumo de materiales.

La disminución del agua como recurso se ha convertido en una preocupación importante a medida que la demanda de agua se ha ido incrementando. Como muestra la bibliografía consultada (CIRIA, 1999, Bakhoum y Brown, 2012), aunque se sume el consumo de distintos materiales en un mismo indicador, el agua se considera en un indicador aparte de los otros materiales. En CIRIA (2001) se consideran como indicadores el consumo de agua en m^3 por unidad de facturación de las actividades de construcción y la capacidad de diseño de los sistemas de aguas grises y aguas de lluvia, en caso de obras de edificación. En CIRIA (1999) se considera el ratio de aguas grises respecto a las aguas limpias utilizadas. Para la presente metodología se integran estos dos aspectos en uno solo y solamente se considera el consumo de agua limpia en obra, sin incluir aguas grises a las que se les ha realizado algún tratamiento y se reutilizan en la misma obra. No se incluye el agua que pasa a formar parte de algún otro material (hormigón, mortero, etc.), pues el peso de esta agua ya se tiene en cuenta al contabilizar el peso del material que se ha producido. Se contabiliza el agua utilizada en operaciones de limpieza de maquinaria, curado del hormigón, riego de caminos, etc. Con el objetivo de integrar todo el consumo de materiales en un solo indicador, el consumo de aguas se contabiliza en peso y se suma al consumo de los otros materiales.

B.1.1.2. Consumo de energía

La energía total necesaria para construir la obra incluye los aspectos y fases que se muestran en la figura 6.3. e incluye todos los tipos de energía empleados: eléctrica, combustible fósil, biomasa, etc. Adicionalmente, podría considerarse la energía necesaria para la fabricación de la maquinaria, equipamiento y vehículos empleados en la obra. Esta energía no se ha incluido en la metodología porque no parece un dato relevante a la hora de discernir entre alternativas además de la dificultad en conseguir los datos.

En CIRIA (1999) ya se proponía como indicador de la gestión de la energía, la energía incorporada en los materiales de construcción. Sin embargo, aunque se sugería que

los constructores deberían pedir el consumo de energía a los proveedores de materiales, se advertía de la falta de datos y se sugería el peso del cemento utilizado y su consumo energético como indicador auxiliar. Algunas primeras publicaciones con algunos datos sobre el consumo de energía y emisiones de CO₂ en los materiales de construcción son las siguientes: Baird and Chan, 1983; Eaton y Amato, 1988 y The Institution of Structural Engineers, 1999. Actualmente la situación ha cambiado debido a la creciente preocupación por la escasez de recursos. Cada vez existe más información y bases de datos tanto sobre el consumo de energía como sobre la emisión de gases de efecto invernadero. En CIRIA (2001), se considera como indicador del diseño de la eficiencia energética del edificio, la eficiencia energética del proceso constructivo, sin indicar más detalles sobre su cálculo. En Bakhoum y Brown (2012), se considera como indicador, la energía en MJ debida a la obtención, manufactura y transporte de la materia prima, a la construcción y al uso, mantenimiento, demolición y vertido de la obra.

Energía consumida en la fabricación de los materiales de construcción

La energía empleada en la extracción y transporte de la materia prima, así como en la fabricación del material de construcción, permite discriminar entre materiales y entre procesos de fabricación con mayor o menor consumo de energía. Además, para un mismo material y proceso de fabricación, a mayor consumo de material, habrá mayor consumo de energía.

Se define como indicador el consumo de energía en la fabricación de todos los materiales de construcción utilizados en obra que tengan un consumo igual o superior a 10 GJ, incluyendo los materiales reciclados y reutilizados. Los materiales con consumo inferior pueden omitirse. En el caso de materiales no reciclados ni reutilizados el consumo de energía incluye la extracción de la materia prima, su transporte desde el punto de extracción hasta la fábrica y su manufactura. En el caso de materiales reciclados y reutilizados únicamente se contabiliza la energía empleada para que el reciclaje o reutilización sea posible (extracción de la construcción original, transporte y tratamiento en la planta de reciclaje) y no se contabiliza la energía empleada en las fases anteriores.

Inicialmente y de forma análoga al consumo de materiales, al definir el indicador de consumo de energía, se pensó en poner un peso mínimo de consumo de material para considerar el consumo de energía en la fabricación de dicho material. Sin embargo, como el consumo de energía por unidad de peso varía mucho según el material, poner un límite mínimo en el peso no tendría mucho sentido. Es más lógico poner un límite mínimo en el consumo de energía en la fabricación del material para contabilizar el material en el indicador. El límite establecido de 10 GJ corresponde, aproximadamente, a la energía consumida para la fabricación de 575 kg de barras de acero o 3,5 toneladas de asfalto o 13,3 toneladas de un hormigón promedio (valores calculados a partir de los datos publicados en Hammond y Jones, 2011).

Si la empresa suministradora de materiales dispone de los datos de consumo de energía en la fabricación de sus materiales y los puede proporcionar, se utilizarán

estos datos para el cómputo de consumo de energía ya que se tratará de los datos más realistas de acuerdo a la tecnología utilizada en la fabricación.

En caso contrario, si la empresa suministradora de materiales no dispone de datos de consumo de energía, no los proporciona o simplemente no se conoce cuál será la empresa suministradora, se tomarán los datos de consumo de energía recogidos en la tabla B.1, elaborada a partir del Inventory of carbon and energy, (Hammond y Jones, 2008, 2011), o de versiones más actualizadas que se publiquen en el futuro. El consumo de energía indicado en dicha tabla incluye toda la energía consumida desde la extracción de la materia prima hasta que el material sale por la puerta de la fábrica. Los datos que se muestran en la tabla se basan mayoritariamente en una recolección de datos de publicaciones revisadas por expertos. Aunque se dio preferencia a los datos del Reino Unido, debido a la escasez de datos, para la mayor parte de los materiales se han utilizado datos de otros países (valores medios europeos y mundiales) y, como consecuencia, los datos son de amplia aplicación en el sector de la construcción (Hammond y Jones, 2008).

La tabla B.1 contiene los siguientes materiales:

Acero	Cal	Latón	Plomo
Aislamiento	Caucho	Linóleo	Sellantes y adhesivos
Aluminio	Cemento	Madera	Suelo vinílico
Arcilla	Cerámica	Módulos fotovoltaicos	Titanio
Arena	Cobre	Moqueta	Varios
Áridos	Estaño	Papel	Ventanas
Asfalto	Hierro	Piedra	Vidrio
Betún	Hormigón	Pintura	Yeso
Bronce	Ladrillos	Plásticos	Zinc

Tabla B.1. Consumo de energía y emisiones de CO₂ y CO₂e en la fabricación de los materiales de construcción por unidad de peso elaborado a partir del Inventory of carbon and energy (Hammond y Jones, 2008, 2011).

INVENTARIO DE CARBONO Y ENERGÍA	Energía incorporada y emisión de carbono		
	EI (MJ/kg)	EC (kgCO ₂ /kg)	EC ¹ (kgCO ₂ e/kg)
Material			
Acero²			
General – Contenido promedio de acero reciclado en la Unión Europea (59%). Los datos no incluyen el corte final de los productos de acero en las dimensiones específicas o futuras actividades de fabricación.	20,1	1,37	1,46
Virgen	35,4	2,71	2,89
Reciclado	9,4	0,44	0,47
Barras - Contenido promedio de acero reciclado en la Unión Europea (59%)	17,4	1,31	1,4
Virgen	29,2	2,59	2,77
Reciclado	8,8	0,42	0,45
Hojas de acero enrolladas en bobina - Contenido promedio de acero reciclado en la Unión Europea (59%)	18,8	1,3	1,38

Virgen	32,8	2,58	2,74
Reciclado	No es una ruta típica de producción		
Hojas de acero galvanizado enrolladas en bobina - Contenido promedio de acero reciclado en la Unión Europea (59%)	22,6	1,45	1,54
Virgen	40	2,84	3,01
Acero estructural - Reciclado	13,1	0,68	0,72
Tubos- Contenido promedio de acero reciclado en la Unión Europea (59%)	19,8	1,37	1,45
Virgen	34,7	2,71	2,87
Reciclado	No es una ruta típica de producción		
Chapa de acero - Contenido promedio de acero reciclado en la Unión Europea (59%)	25,1	1,55	1,66
Virgen	45,4	3,05	3,27
Reciclado	No es una ruta típica de producción		
Perfiles de acero- Contenido promedio de acero reciclado en la Unión Europea (59%)	21,5	1,42	1,53
Virgen	38	2,82	3,03
Reciclado	10	0,44	0,47
Cable - Virgen	36,00 (?)	2,83 (?)	3,02
Inoxidable. Datos del tipo de acero más popular (304). El acero inoxidable no tiene rutas de producción separadas para virgen y reciclado.	56,7	6,15	
Aislamiento			
Aislamiento en general	45	1,86	-
Vidrio celular	27	-	-
Celulosa	0,94 - 3,3	-	-
Corcho	4	0,19	-
Fibra de vidrio (lana de vidrio)	28	1,35	-
Linaza (aislamiento)	39,5	1,7	-
Lana mineral	16,6	1,2	1,28
"Paper wool"	20,17	0,63	-
Poliestireno	Ver plásticos	Ver plásticos	-
Poliuretano	Ver plásticos	Ver plásticos	-
Lana de roca (los valores incluyen todo el ciclo de vida, desde la extracción hasta el vertido)	16,8	1,05	1,12
Lana de madera (suelta)	10,8	-	-
Lana de madera (tabla)	20	0,98	-
Lana (reciclada)	20,9	-	-
Aluminio			
General. Se ha asumido un ratio de 25,6% de extrusión, 55,7% laminado y 18,7% de fundición. Promedio mundial de contenido de reciclado del 33%.	155	8,24	9,16
Virgen	218	11,46	12,79
Reciclado	29	1,69	1,81
Productos de fundición. Promedio mundial de contenido de reciclado del 33%.	159	8,28	9,22
Virgen	226	11,7	13,1
Reciclado	25	1,35	1,45

Extruido. Promedio mundial de contenido de reciclado del 33%.	154	8,16	9,08
Virgen	214	11,2	12,5
Reciclado	34	1,98	2,12
Laminado. Promedio mundial de contenido de reciclado del 33%.	155	8,26	9,18
Virgen	217	11,5	12,8
Reciclado	28	1,67	1,79
Arcilla			
General (arcilla cocida)	3	0,23	0,24
Teja	6,5	0,45	0,48
Tubo de arcilla vitrificada DN 100 y DN 150	6,2	0,44	0,46
Tubo de arcilla vitrificada DN 200 y DN 300	7	0,48	0,5
Tubo de arcilla vitrificada DN 500	7,9	0,52	0,55
Arena			
General	0,081	0,0048	0,0051
Áridos			
General (grava o roca machacada)	0,083	0,0048	0,0052
Asfalto			
Asfalto, 4% de betún (en masa)	2,86	0,059	0,066
Asfalto, 5% de contenido de ligante	3,39	0,064	0,071
Asfalto, 6% de contenido de ligante	3,93	0,068	0,076
Asfalto, 7% de contenido de ligante	4,46	0,072	0,081
Asfalto, 8% de contenido de ligante	5	0,076	0,086
Betún			
General	51	0,38-0,43 (?)	0,43-0,55 (?)
Bronce			
General	69,0 (?)	3,73 (?)	4,0 (?)
Cal³			
General	5,3	0,76	0,78
Caucho			
General	91	2,66	2,85
Cemento			
General. Media de pesos del Reino Unido, 23% de adiciones de media.	4,5	0,73	0,74
Media de cemento Portland CEM I, 94% clínker	5,5	0,93	0,95
6-20% cenizas volantes (CEM II/A-V)	5,28 - 4,51	0,88 (6%) a 0,75 (20%)	0,89 - 0,76
21-35% cenizas volantes (CEM II/B-V)	4,45 - 3,68	0,74 - 0,61	0,75 - 0,62
21-35% escorias de alto horno (CEM II/B-S)	4,77 - 4,21	0,76 - 0,64	0,77 - 0,65
36-65% escorias de alto horno (CEM III/A)	4,17 - 3,0	0,63 - 0,38	0,64 - 0,39
66-80% escorias de alto horno (CEM II/B)	2,96 - 2,4	0,37 - 0,25	0,38 - 0,26
Paneles de fibrocemento - sin recubrimiento	10,4	1,09	-
Paneles de fibrocemento - (color) recubiertos	15,3	1,28	-
Mortero (1:3, cemento:arena)	1,33	0,208	0,221
Mortero (1:4)	1,11	0,171	0,182
Mortero (1:5)	0,97	0,146	0,156

Mortero (1:6)	0,85	0,127	0,136
Mortero (1:1/2:4 1/2 cemento:cal:arena)	1,34	0,2	0,213
Mortero (1:1:6)	1,11	0,163	0,174
Mortero (1:2:9)	1,03	0,145	0,155
Suelo estabilizado con 5% de cemento	0,68	0,06	0,061
Suelo estabilizado con 8% de estabilizante (6% de cemento y 2% de cal)	0,83	0,082	0,084
Cerámica			
General	10	0,66	0,7
Piezas de cerámica	20	1,07	1,14
Productos sanitarios	29	1,51	1,61
Baldosas y revestimientos	12	0,74	0,78
Cobre			
Tubos y láminas. Considerando un 37% de material reciclado (media mundial de 3 años).	42	2,6	2,71
Virgen	57	3,65	3,81
Reciclado	16,5	0,8	0,84
Reciclado de chatarra de alta calidad	18 (?)	1,1 (?)	
Reciclado de chatarra de baja calidad	50 (?)	3,1 (?)	
Estaño			
Lámina de acero con revestimiento de estaño	19,2 - 54,7	1,04 - 2,95	-
Estaño	250	13,5	14,47
Hierro			
General	25	1,91 (?)	2,03
Hormigón⁴			
General. Se recomienda no utilizar el valor general para el hormigón, con los valores específicos de los distintos tipos de hormigón se obtendrá una mayor precisión. Se ha asumido un contenido de cemento del 12% en masa. Para la obtención de estos valores se han utilizado las mezclas típicas (promedio en peso) de los hormigones del Reino Unido.	0,75	0,1	0,107
f _{ck} = 16 MPa (16/20 MPa)	0,7	0,093	0,1
f _{ck} = 20 MPa (20/25 MPa)	0,74	0,1	0,107
f _{ck} = 25 MPa (25/30 MPa)	0,78	0,106	0,113
f _{ck} = 28 MPa (28/35 MPa)	0,82	0,112	0,12
f _{ck} = 32 MPa (32/40 MPa)	0,88	0,123	0,132
f _{ck} = 40 MPa (40/50 MPa)	1	0,141	0,151

COMENTARIOS: La primera columna representa un hormigón estándar con cemento Portland CEM I. Las otras columnas son estimaciones basadas en la sustitución del contenido de cemento por cenizas volantes o escorias de alto horno.

% Reemplazo de cemento - Ceniza volante. El valor de 0% corresponde a un hormigón con CEM I.	EI (MJ/kg)			EC (kgCO ₂ /kg)			EC (kgCO ₂ e/kg)		
	0%	15%	30%	0%	15%	30%	0%	15%	30%
HM-6 (GEN 0)	0,55	0,52	0,47	0,071	0,065	0,057	0,076	0,069	0,061

HM-8 (GEN 1)	0,7	0,65	0,59	0,097	0,088	0,077	0,104	0,094	0,082
HM-12 (GEN 2)	0,76	0,71	0,64	0,106	0,098	0,087	0,114	0,105	0,093
HM-16 (GEN 3)	0,81	0,75	0,68	0,115	0,105	0,093	0,123	0,112	0,1
H-20 (RC 20/25)	0,86	0,81	0,73	0,124	0,114	0,101	0,132	0,122	0,108
H-25 (RC 25/30)	0,91	0,85	0,77	0,131	0,121	0,107	0,14	0,13	0,115
H-28 (RC 28/35)	0,95	0,9	0,82	0,139	0,129	0,116	0,148	0,138	0,124
H-32 (RC 32/40)	1,03	0,97	0,89	0,153	0,143	0,128	0,163	0,152	0,136
H-40 (RC 40/50)	1,17	1,1	0,99	0,176	0,164	0,146	0,188	0,174	0,155
% Reemplazo de cemento - Escorias de alto horno. El valor de 0% corresponde a un hormigón con CEM I.	0%	25%	50%	0%	25%	50%	0%	15%	30%
HM-6 (GEN 0)	0,55	0,48	0,41	0,071	0,056	0,042	0,076	0,06	0,045
HM-8 (GEN 1)	0,7	0,6	0,5	0,097	0,075	0,054	0,104	0,08	0,058
HM-12 (GEN 2)	0,76	0,62	0,55	0,106	0,082	0,061	0,114	0,088	0,065
HM-16 (GEN 3)	0,81	0,69	0,57	0,115	0,09	0,065	0,123	0,096	0,07
H-20 (RC 20/25)	0,86	0,74	0,62	0,124	0,097	0,072	0,132	0,104	0,077
H-25 (RC 25/30)	0,91	0,78	0,65	0,131	0,104	0,076	0,14	0,111	0,081
H-28 (RC 28/35)	0,95	0,83	0,69	0,139	0,111	0,082	0,148	0,119	0,088
H-32 (RC 32/40)	1,03	0,91	0,78	0,153	0,125	0,094	0,163	0,133	0,1
H-40 (RC 40/50)	1,17	1,03	0,87	0,176	0,144	0,108	0,188	0,153	0,115

HORMIGÓN ARMADO – Factores de corrección			
En caso de hormigón armado hay que añadir este valor al coeficiente del hormigón correspondiente por cada 100 kg de armado por m ³ de hormigón. Se utilizan múltiples de estos valores, por ejemplo, por 150 kg de acero, se utiliza un factor de 1,5 veces estos valores.	1,04	0,072	0,077
EJEMPLO: HA-25 (con 110 kg de acero por m ³ de hormigón)	1,92 MJ/kg (0,78 + 1,04*1,1)	0,185 kgCO ₂ /kg (0,106 + 0,072*1,1)	0,198 kgCO ₂ /kg (0,113 + 0,077*1,1)
HORMIGÓN PREFABRICADO – Factores de corrección			
En caso de prefabricados hay que añadir estos valores al coeficiente correspondiente según el tipo de hormigón utilizado	0,45	0,027	0,029
EJEMPLO: Prefabricado HA-40 (80kg de armado por m ³)	2,28 MJ/kg (1 + 0,45 + 1,04 * 0,8)	0,229 kgCO ₂ /kg (0,141 + 0,027 + 0,072 * 0,8)	0,242 kgCO ₂ /kg (0,151 + 0,029 + 0,077 * 0,8)
BLOQUES DE HORMIGÓN			
Bloque - 8 MPa de resistencia a compresión	0,59	0,059	0,063
Bloque - 10 MPa	0,67	0,073	0,078
Bloque - 12 MPa	0,72	0,082	0,088
Bloque - 13 MPa	0,83	0,1	0,107
Bloques de hormigón poroso	3,5	0,24 - 0,375	-
OTROS			
Hormigón reforzado con fibras	7,75 (?)	0,45 (?)	-
Hormigón con contenido muy alto en escorias de alto horno	0,66	0,049	0,05

INVENTARIO DE CARBONO Y ENERGÍA	Energía incorporada y emisión de carbono		
	EI = Energía incorporada EC = Emisión de carbono		
Material	EI (MJ/kg)	EC (kgCO ₂ /kg)	EC (kgCO ₂ e/kg)
Latón			
General	44	2,46 (?)	2,64 (?)
Virgen	80	4,47 (?)	4,80 (?)
Reciclado	20	1,12 (?)	1,20 (?)
Ladrillos			
General (ladrillo común)	3	0,23	0,24
Caliza	0,85	?	-
Linóleo			
General	25	1,21	-
Madera			
General. Estimado a partir del consumo de productos de madera en el Reino Unido en 2007.	10	0,71	0,72
Madera laminada encolada	12	0,84	0,87
Tablero de fibras con densidad superior a 800 kg/m ³	16	1,05	1,09
Chapa de madera laminada	9,5	0,63	0,65
MDF. Amplio rango de densidad (350-800 kg/m ³).	11 (?)	0,72	0,74
Tablero de partículas orientadas (OSB)	15	0,96	0,99
Tablero de partículas	14,5	0,84	0,86
Contrachapado	15	1,07	1,1
Madera dura serrada	10,4	0,86	0,87
Madera blanda	7,4	0,58	0,59
Tablero de partículas (mueble)	23	(?)	(?)
Módulos fotovoltaicos			
Monocristalino	4750	242	-
Policristalino	4070	208	-
De capa fina	1305	67	-
Moqueta			
Moqueta en general	74 (187 MJ/m ²)	3,9 (9,8kgCO ₂ /m ²)	-
Filtro (pelo y yute) como material inferior	19	0,97	-
Nylon (poliamida), peso del pelo 300 g/m ² . Peso total de la moqueta: 1477g/m ² . Superficie 100% nylon, tejido de lana en la parte posterior e hidróxido de aluminio a prueba de fuego en la base.	130 MJ/m ²	6,7 (GWP) por m ²	6,7 (GWP) por m ²
Nylon (poliamida), peso del pelo 500 g/m ² . Peso total: 1837 g/m ² .	180 MJ/m ²	9,7 (GWP) por m ²	9,7 (GWP) por m ²
Nylon (poliamida), peso del pelo 700 g/m ² . Peso total: 2147 g/m ² .	230 MJ/m ²	12,7 (GWP) por m ²	12,7 (GWP) por m ²
Nylon (poliamida), peso del pelo 900 g/m ² . Peso total: 2427 g/m ² .	277 MJ/m ²	15,6 (GWP) por m ²	15,6 (GWP) por m ²
Nylon (poliamida), peso del pelo 1100 g/m ² . Peso total: 2677 g/m ² .	327 MJ/m ²	18,4 (GWP) por m ²	18,4 (GWP) por m ²

Moqueta en losetas, nylon (poliamida), peso del pelo 300 g/m². Peso total: 4123 g/m ² . Superficie 100% nylon, cubierta posteriormente por una capa bituminosa e hidróxido de aluminio a prueba de fuego.	178 MJ/m ²	7,75 (GWP) por m ²	7,75 (GWP) por m ²
Moqueta en losetas, nylon (poliamida), peso del pelo 500 g/m². Peso total: 4373 g/m ² .	229 MJ/m ²	10,7 (GWP) por m ²	10,7 (GWP) por m ²
Moqueta en losetas, nylon (poliamida), peso del pelo 700 g/m². Peso total: 4623 g/m ² .	279 MJ/m ²	13,7 (GWP) por m ²	13,7 (GWP) por m ²
Moqueta en losetas, nylon (poliamida), peso del pelo 900 g/m². Peso total: 4873 g/m ² .	328 MJ/m ²	16,7 (GWP) por m ²	16,7 (GWP) por m ²
Moqueta en losetas, nylon (poliamida), peso del pelo 1100 g/m². Peso total: 5123 g/m ² .	378 MJ/m ²	19,7 (GWP) por m ²	19,7 (GWP) por m ²
Tereftalato de polietileno (PET)	106,5	5,56	-
Polipropileno	95,4	4,98	-
Poliuretano	72,1	3,76	-
Goma	67,5 - 140	3,61 - 7,48	-
Filtro saturado en la parte inferior (impregnado con asfalto o alquitrán)	31,7	1,65	-
Lana	106	5,53	-
Papel			
Cartón (para uso general en construcción)	24,8	1,29	-
Papel fino	28,2	1,49	-
EJEMPLO: 1 paquete de 500 hojas A4 de 80g/m²	70,5	3,73	-
Papel de pared	36,4	1,93	-
Piedra			
General	1,26 (?)	0,073 (?)	0,079
Granito	11	0,64	0,7
Caliza	1,5	0,087	0,09
Mármol	2	0,116	0,13
Baldosa de mármol	3,33	0,192	0,21
Arenisca	1,00 (?)	0,058 (?)	0,06
Esquisto	0,03	0,002	0,002
Pizarra	0,1 - 1,0	0,006 - 0,058	0,007 - 0,063
Pintura			
General. Las pinturas a base de agua representan un 70% del mercado y tienen una energía incorporada menor que las pinturas a base de disolvente.	70	2,42	2,91
EJEMPLO: una mano de pintura considerando una cobertura de 6,66 m ² por kg de pintura	10,5 MJ/m ²	0,36 kgCO ₂ /m ²	0,44 kgCO ₂ e/m ²
EJEMPLO: dos manos de pintura considerando una cobertura de 3,33 m ² por kg de pintura	21,0 MJ/m ²	0,73 kgCO ₂ /m ²	0,87 kgCO ₂ e/m ²
Pintura al agua	59	2,12	2,54
Pintura con disolventes	97	3,13	3,76
Plásticos			
General	80,5	2,73	3,31
ABS	95,3	3,05	3,76
Polietileno general	83,1	2,04	2,54
Resina de polietileno de alta densidad (HDPE)	76,7	1,57	1,93
Tubo de HDPE	84,4	2,02	2,52
Resina de polietileno de baja densidad (LDPE)	78,1	1,69	2,08
Película de LDPE	89,3	2,13	2,6

Nylon (poliamida) 6 Polímero	120,5	5,47	9,14
Nylon (poliamida) 6,6 Polímero	138,6	6,54	7,92
Policarbonato	112,9	6,03	7,62
Polipropileno, película orientada	99,2	2,97	3,43
Polipropileno, moldeado por inyección	115,1	3,93	4,49
Poliestireno expandido	88,6	2,55	3,29
Poliestireno para uso general	86,4	2,71	3,43
Poliestireno alto impacto	87,4	2,76	3,42
Poliestireno termoformado expandido	109,2	3,45	4,39
Espuma flexible de poliuretano	102,1	4,06	4,84
Espuma rígida de poliuretano	101,5	3,48	4,26
PVC General	77,2	2,61	3,1
Tubo de PVC	67,5	2,56	3,23
Lámina calandrada de PVC	68,6	2,61	3,19
PVC moldeado por inyección	95,1	2,69	3,3
Película de UPVC	69,4	2,57	3,16
Plomo			
General. Se asume una proporción de reciclado del 61%.	25,21	1,57	1,67
Virgen	49	3,18	3,37
Reciclado	10	0,54	0,58
Sellantes y adhesivos			
Resina epoxi	137	5,7	-
Sellador de masilla	62 - 200	-	-
Resina de melamina	97	4,19	-
Resina fenólica de formaldehido	88	2,98	-
Resina ureica de formaldehido	70	2,76	-
Suelo vinílico			
General	68,6	2,61	3,19
Baldosas de compuesto de vinilo	13,7	-	-
Titanio			
Virgen	361 - 745	19,2-39,6 (?)	20,6-42,5 (?)
Reciclado	258	13,7 (?)	14,7 (?)
Varios			
Hoja de silicato de calcio	2	0,13	-
Cenizas volantes	0,1	0,008	-
Gravilla	0,12	0,01	-
Piedra caliza molida	0,62	0,032	-
Lechada para la moqueta	30,8	-	-
Plástico reforzado con fibra de vidrio - GRP	100	8,1	-
Mandolite®	63	1,4	-
Teja con fibra mineral	37	2,7	-
Perlita expandida	10	0,52	-
Perlita natural	0,66	0,03	-
Polvo de cuarzo	0,85	0,02	-

Pequeñas piezas de madera para cubrir las paredes o techos	11,3	0,3	-
Escoria de alto horno	1,6	0,083	-
Baldosas de terrazo	1,4	0,12	-
Vermiculita expandida	7,2	0,52	-
Vermiculita natural	0,72	0,03	-
Vicuclad®	70	-	-
Tintura o barniz de madera	50	5,35	-
Ventanas	MJ por ventana	kgCO ₂ por ventana	
1,2mx1,2m ventanas con un solo vidrio, marco de madera	286 (?)	14,6 (?)	-
1,2m x1,2m doble vidrio (relleno con aire o argón):	--	--	-
Marco de aluminio	5470	279	-
Marco de PVC	2150 - 2470	110 - 126	-
Marco de aluminio con revestimiento de madera	950 - 1460	48 - 75	-
Marco de madera	230 - 490	12 - 25	-
El relleno con criptón añade:	510	26	-
El relleno con xenón añade:	4500	229	-
NOTA: Las emisiones de CO ₂ e son aproximadamente un 6% más altas que las emisiones de CO ₂ (para la mezcla de combustibles utilizada en el Reino Unido).			
Vidrio	MJ/kg	kgCO ₂ /kg	kgCO ₂ e/kg
Vidrio primario	15	0,86	0,91
Segunda elaboración de vidrio	11,5	0,55	0,59
Fibra de vidrio (lana de vidrio)	28	1,54	-
Vidrio templado	23,5	1,27	1,35
Yeso			
General (yeso)	1,8	0,12	0,13
Cartón-yeso	6,75	0,38	0,39
Zinc			
General contenido de reciclado del 30%	53,1	2,88	3,09
Virgen	72	3,9	4,18
Reciclado	9	0,49	0,52

(?) Valores difíciles de estimar con los datos disponibles, según la fuente de datos (Hammond y Jones, 2011).

- ¹ El CO₂ equivalente (CO₂e) incluye la emisión de CO₂ y otros gases de efecto invernadero.
- ² Según el Real Decreto 1370/2006, se pueden distinguir dos tipos de procesos para la fabricación del acero: la siderurgia integral y la siderurgia eléctrica con emisiones de CO₂ muy diferentes entre sí. Los valores de emisiones que se indican en el Real Decreto son de 2,02 tCO₂/t acero en la integral y 0,17 tCO₂/t acero en la eléctrica frente a los 2,71 y 0,44 respectivamente que se indican en el Inventory of carbon and energy, (Hammond y Jones, 2011). Por coherencia con los datos de los demás materiales, que se han tomado del Inventory of carbon and energy (Hammond y Jones, 2011), estos datos se han tomado de la misma fuente.
- ³ En la tabla se indican solamente las emisiones debidas a la combustión del combustible para la fabricación de la cal. A estas emisiones habría que añadirles las emisiones inevitables generadas en la reacción química para producir la cal (descarbonatación): la producción de una tonelada de cal requiere la emisión de 0,785 toneladas de CO₂; en caso

de la dolomía, serían 0,913 toneladas de CO₂ por tonelada de dolomía producida (Real Decreto 1370/2006).

- ⁴ La nomenclatura de los hormigones británica se ha “traducido” a la nomenclatura española, de acuerdo con las tablas 5 y 9 de la normativa BS 8500-2:2006+A1:2012, la tabla 7 de la normativa BS EN 206-1:2000 y la EHE-08. En la mayoría de los casos no existe una correspondencia directa entre los tipos de hormigón británicos y españoles pero, para valores intermedios, se puede interpolar. Entre paréntesis se indica la nomenclatura británica del hormigón que aparecía en la fuente original de la tabla (Hammond y Jones, 2011).

Energía consumida en el transporte de los materiales de construcción desde fábrica hasta la obra

El hecho de considerar la energía consumida en el transporte de materiales desde fábrica hasta obra permite premiar la utilización de materiales locales frente a materiales que provienen de mayores distancias, por el menor consumo de energía empleado en el transporte. También premiará un menor consumo de materiales, pues a menor cantidad de material a transportar, menor energía consumida en su transporte.

En CIRIA (1999), debido a la escasez de información, se proponía utilizar el ratio de utilización de recursos locales y no locales como indicador de la energía empleada en el transporte. Actualmente se ha avanzado en este aspecto y sí que es posible calcular la energía consumida en el transporte, por lo menos de forma aproximada, aunque, en algunos casos, en el momento de aplicar la presente metodología para la comparación de alternativas se desconocerá cuáles serán las empresas proveedoras de los materiales de construcción. Aún así, se ha querido dejar planteada una metodología para los casos en que se conozca el origen de los materiales de construcción o por si en un futuro es más fácil acceder a estos datos.

Se define como indicador el consumo de energía atribuible al transporte de fábrica a obra de los materiales de construcción que tengan que recorrer una distancia total igual o superior a 650 km (incluyendo todos los viajes de ida y vuelta) o un consumo de gasoil total igual o superior a 260 litros. La energía consumida en distancias de recorrido o consumos de combustible inferiores puede omitirse del recuento.

La distancia de 650 km se ha obtenido como se explica a continuación. Para el consumo de energía en la fabricación de materiales, solamente se incluye en el indicador los materiales con un consumo igual o superior a 10 GJ. Para ser coherentes con el anterior límite, solamente deberían incluirse en el indicador el consumo de energía en el transporte de material con un consumo igual o superior a 10 GJ, lo que equivale a un consumo de gasoil de 260 litros o un transporte de 650 km incluyendo todos los viajes de ida y vuelta y suponiendo un vehículo pesado con un consumo de unos 40 litros de gasoil cada 100 km (ecuación B.1):

$$\frac{40l \text{ gasoil}}{100km} \cdot xkm \cdot \frac{t \text{ gasoil}}{1191l \text{ gasoil}} \cdot 45,64 \frac{GJ}{t \text{ gasoil}} = 10GJ \rightarrow x = 652km (\simeq 260l \text{ gasoil}) \quad (B.1)$$

Lo ideal sería que la empresa suministradora de materiales de construcción proporcionase los datos sobre la energía consumida en su transporte desde fábrica hasta obra, ya sea en unidades de energía o en tipo y cantidad de combustible.

En caso contrario, se tiene que averiguar la distancia de transporte entre la fábrica y la obra, el número de viajes necesarios para el transporte, el tipo de combustible y el consumo de combustible por unidad de distancia, usualmente en litros por cada 100 km. Alternativamente a este último dato, la información proporcionada puede ser el tipo y modelo de vehículo; en cuyo caso se tiene que buscar su consumo.

Se han consultado las especificaciones de los catálogos de las principales marcas comerciales de vehículos de transporte de mercancías (DAF, IVECO, MAN, Mercedes-Benz, Renault, Scania y Volvo) y, aunque todas hacen referencia a un bajo consumo, ninguna de ellas presenta datos de consumo de combustible de forma sistemática. Según datos facilitados por profesionales del transporte, se puede tomar como referencia para camiones grandes tipo tráiler de 30-40 toneladas, un consumo de gasoil de 30-40 litros/100 km. El consumo depende principalmente de la ruta y el peso transportado y de otros factores como la climatología, eficiencia del motor, conducción manual o automática, etc. Para camiones menores se pueden tomar consumos menores, por ejemplo, para un camión de 18 t se puede considerar un consumo de 30 l/100 km y para un camión de 10 t, un consumo de 20 l/100 km.

Una vez se conozca la cantidad de combustible consumida, ésta se puede transformar fácilmente en energía utilizando el poder calorífico superior indicado en la tabla B.2. Se ha optado por utilizar el poder calorífico superior para el cálculo de la energía consumida, y no el inferior, porque incluye la energía de condensación del vapor de agua generado y ésta es una energía consumida, independientemente de que sea aprovechada o no. En la misma tabla se indica, además, el poder calorífico inferior y la densidad de los principales combustibles y de combustibles alternativos. Esta tabla ha sido adaptada de DECC y Defra (2012) y algunos de estos datos han sido contrastados con los publicados en JEC (2011), no encontrándose diferencias significativas. Las diferencias relativas para las densidades del gasoil y gasolina entre DECC y Defra (2012) y JEC (2011) son inferiores al 2%. Las diferencias relativas para el poder calorífico inferior del gasoil y gasolina entre DECC y Defra (2012) y JEC (2011) son inferiores al 4%. En el presente texto se utilizan las palabras diesel y gasoil de forma indistinta.

Tabla B.2. Poder calorífico inferior y superior y densidades de los principales combustibles y combustibles alternativos (adaptada de DECC y Defra, 2012).

Combustibles	Poder calorífico inferior (neto)	Poder calorífico superior	Densidad		Poder calorífico inferior (neto)	Poder calorífico superior
			GJ/t	GJ/t		
Combustibles comunes	GJ/t	GJ/t	Kg/m³	L/t	kWh/kg	KWh/kg
Diesel	42,91	45,64	839,6	1191	11,92	12,68
Fueloil	40,72	43,32	985,2	1015	11,31	12,03
Gasóleo profesional (del inglés gas oil)	42,55	45,26	865,1	1156	11,82	12,57
Gas licuado de petróleo	45,90	49,23	522,4	1914	12,75	13,68
Gas natural	47,73	52,96	0,7	1340651	13,26	14,71
Gasolina	44,74	47,09	735,3	1360	12,43	13,08
Otros combustibles						
Biodiesel (metil éster, de 1ª generación)	37,20	41,04	890,0	1124	10,33	11,40
Biodiesel (de 2ª generación)	44,00	46,32	780,0	1282	12,22	12,87
Bioetanol	26,80	29,25	794,0	1259	7,44	8,13
Biogás	30,00	33,30	0,9626	1038840	8,33	9,25
Gas natural comprimido	47,73	52,96	175,0	5714	13,26	14,71
Paja y hierba	14,50	15,26	160,0	6250	4,03	4,24
Gas natural licuado	47,73	52,96	452,5	2210	13,26	14,71
Madera (leña)	14,00	14,74	250,0	4000	3,89	4,09
Madera (astillas, virutas, recortes)	14,70	15,48	425,0	2353	4,08	4,30
Madera (pellets, gránulos)	17,00	17,90	650,0	1538	4,72	4,97

Energía consumida en la ejecución de la obra

Indiscutiblemente, la energía consumida en la ejecución de la obra es un criterio relevante para discernir entre procedimientos constructivos, pues la misma obra, construida de una u otra forma, puede tener distinto consumo energético.

Se define como indicador el consumo de energía en la ejecución de la obra debido al uso de la maquinaria, equipos, vehículos e instalaciones que tengan un consumo de energía individual igual o superior a 10 GJ. La maquinaria, equipos o instalaciones con un consumo inferior puede omitirse.

Una vez definido el proyecto, se pueden obtener las horas de trabajo de la maquinaria, equipos, vehículos y de funcionamiento de las instalaciones. En caso de que se conozca el consumo energético de los modelos de maquinaria y equipos utilizados, se utilizarán éstos como datos. Si el consumo es en cantidad y tipo de combustible, se puede utilizar el factor calorífico superior de la tabla B.2 para transformarlo a unidades de energía.

En caso de que no se conozca el consumo de los modelos de maquinaria y equipos utilizados en obra, se pueden utilizar los datos de consumos que se muestran en la tabla B.3. Esta tabla ha sido elaborada a partir de los datos de consumo de maquinaria y equipos que funcionan con gasoil del banco Bedec del ITeC y de los consumos orientativos indicados en SEOPAN (2005) para la maquinaria y equipos que funcionan con electricidad.

Los principales fabricantes de maquinaria de obra (Caterpillar y Komatsu) no indican datos de consumo en sus catálogos de productos. Se contactó con ellos para ver si era posible obtener algunos datos sobre consumos. De Komatsu se consiguieron datos de consumo en litros/hora de excavadoras de cadenas (hidráulica estándar, sobre cadenas de giro reducido, hidráulica especificación de manejo de material, hidráulica especificación demolición), palas cargadoras, bulldozers, dúmpers rígidos, dúmpers articulados y motoniveladoras. Caterpillar solamente facilitó datos de consumo bajo, medio y alto de palas cargadoras y cargadoras telescópicas en litros/hora. Primeramente se compararon datos de consumo entre Caterpillar y Komatsu para las palas cargadoras, ya que estos datos son los únicos que se disponen de los dos fabricantes y se llegó a la conclusión de que son coherentes entre sí, estando los consumos de Komatsu en el rango de consumo alto de Caterpillar.

Seguidamente se compararon los datos de consumo de Komatsu (en litros/hora) con los datos de consumo del banco Bedec del ITeC (en MJ/h) realizando la siguiente transformación de unidades (ecuación B.2) a partir del poder calorífico superior y densidad del gasoil de la tabla B.2 (adaptada de DECC y Defra, 2012):

$$1MJ \cdot \frac{1GJ}{1000MJ} \cdot \frac{1ton}{45,64GJ} \cdot \frac{1191l}{1ton} = 0,0261 l \quad (B.2)$$

La mayor parte de los datos de consumos del Bedec resultaron ser notablemente superiores a los datos de consumos de Komatsu (de media, alrededor de un 40% superior).

Además, se dispone de los siguientes valores de consumos orientativos, obtenidos de SEOPAN (2005):

- Gasóleo: 0,15 - 0,20 litros por hora y por kW.
- Gasolina: 0,30 - 0,40 litros por hora y por kW.
- Electricidad: 0,6 - 0,7 kWh por hora y por kW.

Y de los siguientes, obtenidos de Díaz (2007):

- Gasóleo: 0,10 - 0,20 litros por hora y por kW.
- Gasolina: 0,13 - 0,26 litros por hora y por kW.

A partir de los datos orientativos de SEOPAN (2005) y de Díaz (2007) y los datos de potencia de la maquinaria del banco de precios Bedec, se obtuvieron datos de consumo, que se compararon con los datos de consumo del banco Bedec. Todos los consumos de las máquinas de gasoil indicados en el banco Bedec están dentro del rango de los consumos calculados con los datos de SEOPAN (2005) y dentro del rango de los consumos calculados con los datos de Díaz (2007), excepto uno. Por ello y porque es la fuente de datos más extensa, finalmente se decidió utilizar los datos de

consumo de la maquinaria y equipos a gasoil del banco Bedec del ITeC. Sin embargo, ningún consumo de las máquinas que funcionan con electricidad indicado en el Bedec está en el rango de los consumos calculados con los datos de SEOPAN (2005). El consumo de la maquinaria eléctrica de la tabla B.3 se ha calculado a partir de los datos orientativos mostrados en SEOPAN (2005), valor superior (0,7 kWh/h/kW), por considerarse estos datos más fiables. Como futuras líneas de investigación se podría estudiar de forma más exhaustiva el consumo energético de la maquinaria y equipos de obra.

La tabla B.3 incluye la siguiente maquinaria:

- Rompedora.
- Para tierras y escombros.
- Para transporte y elevación.
- Para hormigones y betunes.
- Subterránea.
- Para protección de vialidad.
- Para gestión de residuos.
- Auxiliar para seguridad y salud.
- Para cimientos y contenciones.
- Equipos para pantallas.
- Para obras marítimas.
- Para instalación de tubos.
- Elevadora.
- Para jardinería.
- Especial: equipos auxiliares.

En caso de maquinaria no incluida en la tabla B.3, se calcula su consumo siguiendo los valores orientativos de SEOPAN (2005), expresados más arriba.

Tabla B.3. Consumo de energía y emisión de CO_{2e} por hora de la maquinaria de obra elaborado a partir del banco Bedec del ITeC, datos de consumo de SEOPAN (2005), datos del poder calorífico del combustible y de emisiones de DECC y Defra (2012), datos de emisiones debidas a la generación de electricidad de Red Eléctrica de España y cálculos de la autora.

Maquinaria	Fuente de energía	Consumo energético (MJ/h)	Emisión total de CO _{2e} (kg/h)
MAQUINARIA ROMPEDORA			
Compresor			
Compresor con uno o dos martillos neumáticos	gasoil	58,43	4,94
Compresor con tres o cuatro martillos neumáticos	gasoil	112,60	9,52
Compresor con seis martillos neumáticos	gasoil	450,38	38,09
Retroexcavadora con martillo rompedor			
Retroexcavadora con martillo rompedor	gasoil	456,47	38,61
Depósito de aire comprimido			
Depósito de aire comprimido de 180 m ³ /h	gasoil	149,11	12,61
Fresadora			
Fresadora para muro pantalla	gasoil	547,76	46,33
Fresadora para pavimento con carga automática	gasoil	639,05	54,05
Pala excavadora			

Pala excavadora giratoria sobre neumáticos de 9 a 14 t, con martillo rompedor	gasoil	578,19	48,91
Pala excavadora giratoria sobre neumáticos de 15 a 20 t, con martillo rompedor	gasoil	754,69	63,83
Pala excavadora giratoria sobre neumáticos de 21 a 25 t, con martillo rompedor	gasoil	852,07	72,07
Pala excavadora giratoria sobre cadenas de 12 a 20 t, con martillo rompedor, pinza para derribo de hormigón o cizalla para derribo de acero	gasoil	566,02	47,88
Pala excavadora giratoria sobre cadenas de 21 a 30 t, con martillo rompedor, pinza para derribo de hormigón o cizalla para derribo de acero	gasoil	906,85	76,70
Pala excavadora giratoria sobre cadenas de 31 a 40 t, con martillo rompedor, pinza para derribo de hormigón o cizalla para derribo de acero	gasoil	1138,12	96,27
Retroexcavadora			
Retroexcavadora sobre neumáticos de 8 a 10 t, con martillo rompedor	gasoil	432,12	36,55
Minicargadora			
Minicargadora sobre neumáticos de 2 a 5,9 t, con martillo rompedor	gasoil	304,31	25,74
Miniexcavadora			
Miniexcavadora sobre cadenas de 2 a 5,9 t, con martillo rompedor	gasoil	206,93	17,50
MAQUINARIA PARA TIERRAS Y ESCOMBROS			
Cargadoras y excavadoras			
Excavadora con cuchara prensora			
Excavadora sobre orugas, de tamaño grande equipada con cuchara prensora de 700 l, 1100 l o 1900 l	gasoil	3633,47	307,33
Bulldozer			
Bulldozer sobre orugas, de 48,5 kW	gasoil	295,18	24,97
Mototrailla			
Mototrailla mediana	gasoil	1205,07	101,93
Minicargadora			
Minicargadora sobre neumáticos de 2 a 5,9 t, sola o con barrena de 15 a 61 cm de diámetro o con accesorio retroexcavador de 25 a 60 cm de anchura o con accesorio para trabajos específicos o con barredora	gasoil	304,31	25,74
Pala cargadora			
Pala cargadora sobre cadenas de 5 a 10 t, sola o con escarificadora	gasoil	578,19	48,91
Pala cargadora sobre cadenas de 11 a 17 t, sola o con escarificadora	gasoil	669,48	56,63
Pala cargadora sobre cadenas de 18 a 25 t, sola o con escarificadora	gasoil	1192,90	100,90
Pala cargadora sobre neumáticos de 8 a 14 t, sola o con garra prensora	gasoil	675,57	57,14
Pala cargadora sobre neumáticos de 15 a 20 t, sola o con garra prensora	gasoil	1101,61	93,18
Pala cargadora sobre neumáticos de 21 a 25 t, sola o con garra prensora	gasoil	1308,54	110,68
Pala excavadora			
Pala excavadora giratoria sobre neumáticos de 9 a 14 t, sola, con bivalva batilón o con fresadora	gasoil	578,19	48,91
Pala excavadora giratoria sobre neumáticos de 15 a 20 t, con bivalva batilón o con fresadora	gasoil	754,69	63,83
Pala excavadora giratoria sobre neumáticos de 21 a 25 t, con bivalva batilón o con fresadora	gasoil	852,07	72,07
Pala excavadora giratoria sobre cadenas de 12 a 20 t, sola o con pinza manipuladora de piedra	gasoil	566,02	47,88
Pala excavadora giratoria sobre cadenas de 21 a 30 t, sola o con pinza manipuladora de piedra	gasoil	906,85	76,70
Pala excavadora giratoria sobre cadenas de 31 a 40 t, sola o con pinza manipuladora de piedra o con cuchara prensora de 700 l, 1100 l o 1900 l	gasoil	1138,12	96,27

Retroexcavadora			
Retroexcavadora sobre neumáticos de 8 a 10 t, sola o con bivalva batilón o con fresadora o con desbrozadora	gasoil	432,12	36,55
Miniexcavadora			
Miniexcavadora sobre cadenas de 2 a 5,9 t, sola o con fresadora	gasoil	206,93	17,50
Maquinaria para nivelaciones y compactaciones			
Tractor para nivelar y compactar			
Tractor con fresadora	gasoil	1247,68	105,53
Motoniveladora			
Motoniveladora pequeña	gasoil	566,02	47,88
Motoniveladora mediana	gasoil	906,85	76,70
Motoniveladora grande	gasoil	1247,68	105,53
Minicargadora para nivelación			
Minicargadora sobre neumáticos con accesorio nivelador o con rodillo de 200 kg	gasoil	267,79	22,65
Rodillo vibratorio para compactar			
Rodillo vibratorio autopropulsado de 1,5 a 2,5 t	gasoil	73,03	6,18
Rodillo vibratorio autopropulsado de 8 a 10 t	gasoil	486,90	41,18
Rodillo vibratorio autopropulsado de 10 a 16 t	gasoil	657,31	55,60
Pisón vibrante			
Compactador dúplex manual de 700 kg o pisón vibrante con placa de 30x33 cm	gasoil	60,86	5,15
Bandeja vibrante con placa de 60 cm	gasoil	121,72	10,30
Minicargadora			
Minicargadora sobre neumáticos de 2 a 5,9 t, con rodillo de 200 kg o con accesorio nivelador	gasoil	304,31	25,74
Zanjadoras			
Tractor con zanjadora para zanjas de hasta 30 cm de anchura y hasta 90 cm de profundidad	gasoil	206,93	17,50
Minizanjadora manual para zanjas de hasta 15 cm de anchura y hasta 60 cm de profundidad	gasoil	45,34	3,84
MAQUINARIA PARA TRANSPORTE Y ELEVACIÓN			
Camión grúa para transporte			
Camión grúa	gasoil	1.217,24	102,96
Camión grúa de 3 t	gasoil	949,45	80,31
Camión grúa de 5 t	gasoil	1.217,24	102,96
Camión con cesta			
Camión con cesta de hasta 19 m de altura	gasoil	526,46	44,53
Dúmper para transportes			
Dúmper de 1,5 t de carga útil, con mecanismo hidráulico	gasoil	66,95	5,66
Carretilla autopropulsada			
Carretilla autopropulsada de capacidad 1 m ³ o carretilla autopropulsada de capacidad 600 a 1000 l, con mecanismo hidráulico de descarga y giro de la tolva de 180°	gasoil	55,99	4,74
Dúmper extravial			
Dúmper extravial de 32 t de carga útil	gasoil	2.044,97	172,97
Grúa autopropulsada			
Grúa autopropulsada de 12 t	gasoil	754,69	63,83
Grúa autopropulsada de 20 t	gasoil	894,67	75,67
Grúa autopropulsada de 24 t	gasoil	973,80	82,37
Grúa autopropulsada de 30 t	gasoil	1.095,52	92,66
Grúa autopropulsada de 40 t	gasoil	1.326,80	112,23
Grúa autopropulsada de 60 t	gasoil	1.661,54	140,54
Camión con góndola			
Camión con góndola para transportes especiales	gasoil	1.290,28	109,14
Camión tráiler			
Camión tráiler para transportes especiales de 12 t	gasoil	724,26	61,26
Camión tráiler para transportes especiales de 20 t	gasoil	1.247,68	105,53
Camión tráiler para transportes especiales de 24 t	gasoil	1.369,40	115,83
Camión semirremolque			

Camión semirremolque para transportes especiales de 25 t de carga útil, con plataforma o plataforma extensible	gasoil	1.369,40	115,83
Camión semirremolque para transportes especiales de 35 t de carga útil, con dolly y 20 m de longitud	gasoil	2.044,97	172,97
Camión semirremolque para transportes especiales de 45 t de carga útil, con dolly y 25 m de longitud	gasoil	2.556,21	216,21
Camión semirremolque para transportes especiales de 60 t de carga útil, con dolly y 30 m de longitud	gasoil	3.134,40	265,12
Camión semirremolque para transportes especiales de 75 t de carga útil, con dolly y 35 m de longitud	gasoil	3.651,73	308,88
Camión para transporte			
Camión para transporte de 5 t	gasoil	365,17	30,89
Camión para transporte de 7 t	gasoil	505,16	42,73
Camión para transporte de 12 t	gasoil	724,26	61,26
Camión para transporte de 20 t	gasoil	1.247,68	105,53
Camión para transporte de 24 t	gasoil	1.296,37	109,65
Camión cisterna			
Camión cisterna de 6 m ³	gasoil	721,83	61,05
Camión cisterna de 8 m ³ , solo o con equipo pulverizador para riego	gasoil	821,64	69,50
Camión cisterna de 10 m ³	gasoil	925,11	78,25
Camión cisterna de 20 m ³	gasoil	1.825,87	154,44
Grúa			
Montaje y desmontaje de grúa de 30, 35 o 40 m de pluma, 40 m de altura y 1 o 2 t de peso en punta	gasoil	9.969,23 (MJ/unidad)	843,23 (kg/unidad)
Transporte de grúa de 30, 35 o 40 m de pluma, 40 m de altura y 1 o 2 t de peso en punta	gasoil	1.290,28 (MJ/unidad)	109,14 (kg/unidad)
Montacargas			
Montaje y desmontaje de montacargas de 300, 400 o 500 kg de carga y 4, 5 o 6 paradas	gasoil	5.477,60 (MJ/unidad)	463,31 (kg/unidad)
Transporte de montacargas de 300, 400 o 500 kg de carga y 4, 5 o 6 paradas	gasoil	949,45 (MJ/unidad)	80,31 (kg/unidad)
Dúmpster			
Dúmpster de 1,5 t de carga, 0,58 m ³ de volumen de carga, 13 CV de potencia y 480 mm de altura de descarga	gasoil	219,10	18,53
Transporte de dúmpster de 1,5 t de carga, 0,58 m ³ de volumen de carga, 13 CV de potencia y 480 mm de altura de descarga	gasoil	58,19 (MJ/unidad)	4,92 (kg/unidad)
Camión para trabajos generales, limpieza y transporte de herramientas			
Camión para trabajos generales, limpieza y transporte de herramientas, de 5 t de carga	gasoil	365,17	30,89
Camión para trabajos generales, limpieza y transporte de herramientas, de 7 t de carga	gasoil	505,16	42,73
Camión grúa para trabajos generales, limpieza y transporte de herramientas			
Camión grúa para trabajos generales, limpieza y transporte de herramientas de 3 t de carga, 7 m de alcance vertical, 5 de alcance horizontal y 25 kNm de momento de elevación o de 5 t de carga, 12 m de alcance vertical, 9 de alcance horizontal y 25 kNm de momento de elevación	gasoil	1.217,24	102,96
Plataforma autopropulsada con cesta sobre brazo articulado			
Alquiler de plataforma autopropulsada con cesta sobre brazo articulado para una altura de trabajo de 12 m, sin operario	gasoil	127,81	10,81
Alquiler de plataforma autopropulsada con cesta sobre brazo articulado para una altura de trabajo de 16 m, sin operario	gasoil	189,89	16,06
Alquiler de plataforma autopropulsada con cesta sobre brazo articulado para una altura de trabajo de 21 m, sin operario	gasoil	262,32	22,19
Alquiler de plataforma autopropulsada con cesta sobre brazo articulado para una altura de trabajo de 25 m, sin operario	gasoil	311,61	26,36
Transporte de plataforma autopropulsada con cesta sobre brazo articulado para una altura de trabajo de 12, 16, 21 o 25 m	gasoil	1.720,33 (MJ/unidad)	145,51 (kg/unidad)
MAQUINARIA PARA HORMIGONES Y BETUNES			
Extendidora para hormigones y betunes			

Extendidora para pavimentos de hormigón o pavimentos de mezcla bituminosa o para tratamientos con microaglomerados en frío o extendidora de árido	gasoil	1.059,00	89,57
Rodillo vibratorio para hormigón y betunes			
Rodillo vibratorio para hormigones y betunes autopropulsado neumático	gasoil	651,23	55,08
Barredora para hormigones y betunes			
Barredora autopropulsada	gasoil	62,69	5,30
Camión hormigonera			
Camión hormigonera de 6 m ³	gasoil	949,45	80,31
Camión cisterna para hormigones y betunes			
Camión cisterna para riego asfáltico	gasoil	267,79	22,65
Camión para hormigones y betunes			
Camión con bomba de hormigonar	gasoil	949,45	80,31
MAQUINARIA SUBTERRÁNEA			
Maquinaria para túneles			
Topo			
Topo con fuerza de 100 kN por cortador y cabeza de 5 m de diámetro	gasoil	7.303,47	617,75
Topo con fuerza de 100 kN por cortador y cabeza de 7 m de diámetro	gasoil	9.737,95	823,67
Topo con fuerza de 200 kN por cortador y cabeza de 8 m de diámetro	gasoil	12.172,44	1029,59
Topo con fuerza de 300 kN por cortador y cabeza de 10 m de diámetro	gasoil	14.606,93	1235,50
Rozadora para túneles			
Rozadora con cabeza de corte axial o radial con peso inferior a 30 t y potencia de corte de 110 kW	eléctrica	277,20	28,32
Rozadora con cabeza de corte axial o radial con peso comprendido entre 30 y 40 t y potencia de corte de 132 kW	eléctrica	332,64	33,98
Rozadora con cabeza de corte axial con peso comprendido entre 60 y 80 t y potencia de corte de 200 kW	eléctrica	504,00	51,49
Rozadora con cabeza de corte radial con peso comprendido entre 40 y 60 t y potencia de corte de 200 kW	eléctrica	504,00	51,49
Rozadora con cabeza de corte radial con peso comprendido entre 60 y 80 t y potencia de corte de 250 kW	eléctrica	630,00	64,37
Jumbo para túneles			
Jumbo hidráulico dos brazos	gasoil	340,83	28,83
MÁQUINA PARA PROTECCIÓN DE VIALIDAD			
Máquina para pintar bandas de vial, autopropulsada	gasoil	395,60	33,46
Máquina para hincar montantes metálicos	gasoil	60,86	5,15
Maquinaria para la formación de barrera rígida tipo New Jersey	gasoil	602,54	50,96
MAQUINARIA PARA GESTIÓN DE RESIDUOS			
Machacadora			
Machacadora de residuos pétreos, sobre orugas con capacidad para tratar hasta 450 t/h, autopropulsada, con cinta transportadora para cargar material triturado	gasoil	48,69	4,12
Trituradora			
Trituradora de martillos de residuos no pétreos (cartón-yeso, aislamientos, madera), con capacidad para tratar de 10 a 25 m ³ /h, con cinta de alimentación, transportable manualmente	gasoil	0,0061	0,0005
Suministro de sacos y contenedores para recogida de residuos			
Suministro de saco de 1 m ³ de capacidad o de contenedor metálico de 2, 5, 8, 9 o 12 m ³ de capacidad y recogida con residuos inertes o no peligrosos (no especiales)	gasoil	11,56 (MJ/m ³)	0,98 (kg/m ³)
Suministro de bidón plástico de 200 l de capacidad o de contenedor paletizado con estructura de reja metálica de 1 m ³ de capacidad y recogida con residuos especiales (peligrosos)	gasoil	11,56 (MJ/m ³)	0,98 (kg/m ³)
MAQUINARIA AUXILIAR PARA SEGURIDAD Y SALUD			
Maquinaria para protección de vialidad			
Máquina para pintar bandas de vial, autopropulsada, para seguridad y salud	gasoil	395,60	33,46
Máquina para hincar montantes metálicos, para seguridad y salud	gasoil	60,86	5,15

Camión para transporte			
Camión para transporte de 7 t, para seguridad y salud	gasoil	505,16	42,73
Suministro de sacos y contenedores para recogida de residuos			
Suministro de contenedor metálico de 5, 8, 9 o 12 m ³ de capacidad y recogida con residuos inertes o no peligrosos (no especiales), para seguridad y salud	gasoil	11,56 (MJ/m ³)	0,98 (kg/m ³)
Suministro de bidón plástico de 200 l de capacidad y recogida con residuos especiales (peligrosos), para seguridad y salud	gasoil	11,56 (MJ/m ³)	0,98 (kg/m ³)
Pisón vibrante			
Pisón vibrante con placa de 30x33 cm, para seguridad y salud	gasoil	60,86	5,15
Trituradora			
Trituradora de martillos de residuos no pétreos (cartón-yeso, aislamientos, madera), con capacidad para tratar de 10 a 25 m ³ /h, con cinta de alimentación, transportable manualmente, para seguridad y salud	gasoil	0,0061	0,0005
Camión grúa para transporte			
Camión grúa para seguridad y salud	gasoil	1.217,24	102,96
Pala cargadora			
Pala cargadora sobre neumáticos de 8 a 14 t, para seguridad y salud	gasoil	675,57	57,14
Pala cargadora sobre neumáticos de 15 a 20 t, para seguridad y salud	gasoil	1.101,61	93,18
Retroexcavadora			
Retroexcavadora sobre neumáticos de 8 a 10 t, para seguridad y salud	gasoil	432,12	36,55
Fuera-bordas para seguridad y salud			
Fuera-borda			
Fuera-borda de 4 m de eslora con motor fuera-borda de 11 kW, para seguridad y salud	gasoil	66,95	5,66
MAQUINARIA PARA CIMIENTOS Y CONTENCIÓNES			
Maquinaria para pilotes y tablestacas			
Maquinaria para ejecución y hormigonado de pilotes			
Perforación y colocación de materiales, con equipo de personal y maquinaria para pilotes de desplazamiento con azuche o con tapón de gravas o barrenados sin entubación o para pilotes barrenados hormigonados por el tubo central de la barrena, de diámetro 35, 45 o 55 cm o para pilotes de extracción con entubación recuperable o pérdida de diámetro 45 o 55 cm	gasoil	483,85 (MJ/m)	40,93 (Kg/m)
Perforación y colocación de materiales, con equipo de personal y maquinaria para pilotes de desplazamiento con azuche o con tapón de gravas, de diámetro 65 cm	gasoil	1.217,24 (MJ/m)	102,96 (Kg/m)
Perforación y colocación de materiales, con equipo de personal y maquinaria para pilotes de extracción con entubación recuperable o pérdida, de diámetro 65, 85 o 100 cm	gasoil	1.217,24 (MJ/m)	102,96 (Kg/m)
Perforación y colocación de materiales, con equipo de personal y maquinaria para pilotes de extracción con entubación recuperable o pérdida, de diámetro 125 cm	gasoil	1.935,42 (MJ/m)	163,7 (Kg/m)
Perforación y colocación de materiales, con equipo de personal y maquinaria para pilotes perforados sin entubación utilizando lodos tixotrópicos, de diámetro 45, 55 o 65 cm	gasoil	483,85 (MJ/m)	40,93 (Kg/m)
Perforación y colocación de materiales, con equipo de personal y maquinaria para pilotes perforados sin entubación utilizando lodos tixotrópicos, de diámetro 85 o 100 cm	gasoil	1.217,24 (MJ/m)	102,96 (Kg/m)
Perforación y colocación de materiales, con equipo de personal y maquinaria para pilotes perforados sin entubación utilizando lodos tixotrópicos o para pilotes barrenados sin entubación, de diámetro 125, 150 o 200 cm	gasoil	1.935,42 (MJ/m)	163,7 (Kg/m)
Perforación y colocación de materiales, con equipo de personal y maquinaria para pilotes barrenados sin entubación o para pilotes barrenados hormigonados por el tubo central de la barrena, de diámetro 65 o 85 cm	gasoil	1.217,24 (MJ/m)	102,96 (Kg/m)
Perforación y colocación de materiales, con equipo de personal y maquinaria para pilotes barrenados sin entubación, de diámetro 100 cm	gasoil	1.217,24 (MJ/m)	102,96 (Kg/m)
Maquinaria para pilotes prefabricados y tablestacas			

Martillo percutor			
Martillo percutor de efecto doble con motor	gasoil	155,20	13,13
Martinete de caída libre			
Martinete de caída libre y efecto simple	gasoil	155,20	13,13
Transporte de maquinaria para pilotes y tablestacas			
Desplazamiento, montaje y desmontaje en la obra del equipo de perforación, para pilotes de desplazamiento con azuche o con tapón de gravas, para pilotes de extracción con entubación recuperable o perdida, para pilotes perforados sin entubación utilizando lodos tixotrópicos, para pilotes barrenados sin entubación o para pilotes barrenados hormigonados por el tubo central de la barrena	gasoil	1.720,33 (MJ/unidad)	145,51 (kg/unidad)
Desplazamiento, montaje y desmontaje en la obra de martinete de caída libre y simple efecto o de martillo percutor de doble efecto, con motor	gasoil	1.720,33 (MJ/unidad)	145,51 (kg/unidad)
EQUIPOS PARA PANTALLAS			
Transporte de maquinaria para pantallas			
Desplazamiento, montaje y desmontaje en la obra del equipo de perforación para pantallas	gasoil	1.720,33 (MJ/unidad)	145,51 (kg/unidad)
Desplazamiento, montaje y desmontaje en la obra del equipo de tratamiento de lodos tixotrópicos para pantallas	gasoil	1.720,33 (MJ/unidad)	145,51 (kg/unidad)
Equipos para cimentaciones especiales			
Transporte de maquinaria para cimentaciones especiales			
Desplazamiento, montaje y desmontaje en la obra de equipo de inyecciones profundas de lechada de cemento a alta presión o de equipo de ejecución de micropilotes	gasoil	1.720,33 (MJ/unidad)	145,51 (kg/unidad)
MAQUINARIA PARA OBRAS MARÍTIMAS			
Embarcaciones y barcasas			
Catamarán de 8 t de desplazamiento, con equipamiento para ejecución de emisarios submarinos	gasoil	255,62	21,62
Fuera-borda de 4 m de eslora con motor fuera-borda de 11 kW	gasoil	66,95	5,66
Barcaza de transporte de 8 t de desplazamiento	gasoil	2.044,97	172,97
Equipos de dragado			
Draga de cuchara con pontón y equipo con cuchara de 1000 l de capacidad	gasoil	2.982,25	252,25
Draga de rosario autopropulsada con cangilones de 300 l de capacidad para una profundidad óptima de corte de 5 a 15 m	gasoil	1.363,31	115,31
Draga de rosario autopropulsada con cangilones de 600 l de capacidad para una profundidad óptima de corte de 5 a 15 m	gasoil	2.044,97	172,97
Draga de succión autopropulsada con bomba centrífuga de 30 cm de diámetro de draga	gasoil	14.606,93	1235,50
Draga de succión autopropulsada con bomba centrífuga de 30 cm de diámetro de draga con cúter	gasoil	18.258,66	1544,38
Gánguiles			
Gánguil autopropulsado de 150 m ³	gasoil	1.363,31	115,31
MAQUINARIA PARA INSTALACIÓN DE TUBOS			
Maquinaria para ejecución de hincado de tubos			
Equipo de personal y maquinaria para hincado horizontal de tubo de 200 mm de diámetro nominal, con martillo neumático percutor, en terreno blando o compacto	gasoil	213,02 (MJ/m)	18,02 (kg/m)
Equipo de personal y maquinaria para hincado horizontal de tubo de 400 mm de diámetro nominal, con empuje de gato hidráulico con excavación mediante barrena helicoidal y extracción de tierras por la propia barrena, en terreno blando o compacto	gasoil	760,78 (MJ/m)	64,35 (kg/m)
Equipo de personal y maquinaria para hincado horizontal de tubo de 1000 mm de diámetro nominal, con empuje de gato hidráulico con excavación mediante cabezal retroexcavador, en terreno compacto o arenoso	gasoil	1.825,87 (MJ/m)	154,44 (kg/m)
Equipo de personal y maquinaria para hincado horizontal de tubo de 1000 mm de diámetro nominal, con empuje de gato hidráulico con excavación mediante cabezal retroexcavador y extracción de tierras por cinta transportadora, en terreno blando	gasoil	1.825,87 (MJ/m)	154,44 (kg/m)
Equipo de personal y maquinaria para hincado horizontal de	gasoil	2.586,64	218,79

tubo de 2000 mm de diámetro nominal, con empuje de gato hidráulico con excavación mediante cabezal retroexcavador y extracción de tierras por cinta transportadora, en terreno arenoso o extracción de tierras por vagonetas, en terreno blando o compacto		(MJ/m)	(kg/m)
Transporte de maquinaria para hincas de tubos			
Desplazamiento en obra, montaje y desmontaje de equipo de clavaje de tubos con martillo neumático percutor o con retroexcavadora y empuje por gatos hidráulicos	gasoil	1.720,33 (MJ/unidad)	145,51 (kg/unidad)
Desplazamiento en obra, montaje y desmontaje de equipo de clavaje de tubos para barrenado con barrenas	gasoil	1.720,33 (MJ/unidad)	145,51 (kg/unidad)
Maquinaria para formación de pasamuros			
Equipo de barrenado con broca de diamante intercambiable, entre 100 y 400 mm de diámetro	gasoil	578,19	48,91
Transporte de maquinaria para formación de pasamuros			
Desplazamiento en obra, montaje y desmontaje de equipo de barrenado para formación de pasamuros	gasoil	1.720,33 (MJ/unidad)	145,51 (kg/unidad)
MAQUINARIA ELEVADORA			
Plataforma elevadora telescópica articulada, autopropulsada con motor de gasoil de 20 m de altura máxima de trabajo y 9,8 en horizontal, de 227 kg de carga útil, de dimensiones 700x245x245 cm en reposo y 10886 kg de peso vacía, con cesta de dimensiones 150x75 cm	gasoil	241,62	20,44
MAQUINARIA PARA JARDINERÍA			
Maquinaria para operaciones previas en el terreno			
Desbrozadora			
Desbrozadora autopropulsada trinchadora, de 4,4 kW (6 CV) de potencia, con una anchura de trabajo de 0,6 a 1 m	gasoil	26,78	2,27
Desbrozadora autopropulsada autoportante, de hasta 14,7 kW (hasta 20 CV) de potencia, con una anchura de trabajo de 0,9 a 1,2 m	gasoil	89,47	7,57
Tractor para desbroces			
Tractor de 73,5 kW (100 CV) de potencia, con brazo desbrozador con o sin sistema de aspiración con remolque	gasoil	447,34	37,84
Tractor de 47,8 kW (65 CV) de potencia, con desbrozadora de martillos y con una anchura de trabajo de 1,5 a 2 m	gasoil	290,92	24,61
Tractor con brazo triturador de tocones			
Tractor con brazo triturador de tocones de 69,9 a 94,9 kW (95 a 129CV), con neumáticos	gasoil	501,50	42,42
Maquinaria para tratamientos físicos del suelo			
Maquinaria para subsolados			
Tractor sobre neumáticos de 14,7 a 25,0 kW (20 a 34 CV) de potencia, con equipo subsolador con 2 brazos y de un ancho de trabajo de hasta 1,5 m o con 3 brazos y de un ancho de trabajo de 1,51 a 1,99 m	gasoil	120,81	10,22
Tractor sobre neumáticos de 25,7 a 39,7 kW (35 a 54 CV) de potencia, con equipo subsolador con 3 brazos y de un ancho de trabajo de 1,51 a 1,99 m o con 5 brazos y de un ancho de trabajo de hasta 1,99 m	gasoil	199,02	16,83
Tractor sobre orugas de 25,7 a 39,7 kW (35 a 54 CV) de potencia, con equipo subsolador con 5 brazos y de un ancho de trabajo de 1,51 a 1,99 m	gasoil	199,02	16,83
Tractor sobre neumáticos de 40,5 a 50,7 kW (55 a 69 CV) de potencia, con equipo subsolador con 3 brazos y de un ancho de trabajo de 1,51 a 1,99 m o con 5 brazos y de un ancho de trabajo de hasta 4 m	gasoil	277,53	23,47
Tractor sobre neumáticos u orugas de 40,5 a 50,7 kW (55 a 69 CV) de potencia, con equipo subsolador con 7 brazos y de un ancho de trabajo de 2,75 a 4 m	gasoil	277,53	23,47
Tractor sobre orugas de 40,5 a 50,7 kW (55 a 69 CV) de potencia, con equipo subsolador con 5 brazos y de un ancho de trabajo de 2 a 2,74 m	gasoil	277,53	23,47
Tractor sobre orugas de 51,5 a 69,1 kW (70 a 94 CV) de potencia, con equipo subsolador con 5 brazos	gasoil	367,00	31,04
Tractor sobre orugas de 51,5 a 69,1 kW (70 a 94 CV) de potencia, con equipo subsolador con 7 o 11 brazos y de un	gasoil	367,00	31,04

ancho de trabajo de más de 4 m			
Tractor para despedregados			
Tractor sobre neumáticos de 40,5 a 50,7 kW (55 a 69 CV) de potencia con equipo despedregador tipo tolva o tipo rastrillo con elevador y dos remolques y de un ancho de trabajo de 1,66 a 2,65 m	gasoil	277,53	23,47
Tractor sobre neumáticos de 40,5 a 50,7 kW (55 a 69 CV) de potencia con equipo despedregador tipo rastrillo con elevador y dos remolques y de un ancho de trabajo de más de 2,66 m	gasoil	277,53	23,47
Tractor sobre neumáticos de 40,5 a 50,7 kW (55 a 69 CV) de potencia con equipo despedregador tipo horquilla con remolque	gasoil	277,53	23,47
Tractor sobre neumáticos u orugas de 51,5 a 69,1 kW (70 a 94 CV) de potencia con equipo despedregador tipo rastrillo con elevador y dos remolques y de un ancho de trabajo de más de 2,66 m	gasoil	367,00	31,04
Tractor sobre neumáticos de 51,5 a 69,1 kW (70 a 94 CV) de potencia con equipo despedregador tipo horquilla con remolque	gasoil	367,00	31,04
Tractor sobre neumáticos u orugas de 51,5 a 69,1 kW (70 a 94 CV) de potencia con equipo despedregador tipo triturador y de un ancho de trabajo de 1,66 a 2,65 m	gasoil	367,00	31,04
Tractor sobre neumáticos de 69,9 a 94,9 kW (95 a 129 CV) de potencia con equipo despedregador tipo triturador y de un ancho de trabajo de 1,66 a 2,65 m	gasoil	501,50	42,42
Maquinaria para labrar			
Tractor sobre neumáticos de 14,7 a 25,0 kW (20 a 34 CV) de potencia, con equipo de labranza y un ancho de trabajo de 0,6 a 1,19 m	gasoil	120,81	10,22
Tractor sobre neumáticos de 25,7 a 39,7 kW (35 a 54 CV) de potencia, con equipo de labranza y un ancho de trabajo de 0,6 a 2,39 m	gasoil	199,02	16,83
Tractor sobre neumáticos u orugas de 40,5 a 50,7 kW (55 a 69 CV) de potencia, con equipo de labranza y un ancho de trabajo de 1,8 a 2,39 m	gasoil	277,53	23,47
Tractor sobre neumáticos de 51,5 a 69,1 kW (70 a 94 CV) de potencia, con equipo de labranza y un ancho de trabajo de 2,4 a 3,19 m	gasoil	367,00	31,04
Tractor para nivelados y rastrilladas			
Tractor sobre neumáticos de 14,7 a 25,0 kW (20 a 34 CV) de potencia, con equipo para nivelar y un ancho de trabajo de 200 cm o con equipo para rastrillar y un ancho de trabajo de 200 o 250 cm	gasoil	120,81	10,22
Tractor sobre neumáticos de 25,7 a 39,7 kW (35 a 54 CV) de potencia, con equipo para nivelar y un ancho de trabajo de 200 o 250 cm o con equipo para rastrillar y con un ancho de trabajo de 300 o 400 cm	gasoil	199,02	16,83
Tractor sobre neumáticos de 40,5 a 50,7 kW (55 a 69 CV) de potencia, con equipo para nivelar y con un ancho de trabajo de 300 o 400 cm	gasoil	277,53	23,47
Motocultor para nivelados y rastrilladas			
Motocultor, con equipo para rastrillar y un ancho de trabajo de 250 cm	gasoil	53,68	4,54
Maquinaria para el acondicionamiento químico y físico del suelo			
Maquinaria para abonar			
Tractor sobre neumáticos, con abonadora de 1 o 2 platos centrífugos o con esparcidora de estiércol	gasoil	89,53	7,57
Maquinaria para distribuir enmiendas líquidas			
Tractor sobre neumáticos con distribuidor de enmienda líquida de 2000 a 4200 l de capacidad	gasoil	365,17	30,89
Tractor sobre neumáticos con distribuidor de enmienda líquida de 4201 a 6200 l de capacidad	gasoil	456,47	38,61
Tractor sobre neumáticos con distribuidor de enmienda líquida de 6201 a 9000 l de capacidad	gasoil	547,76	46,33
Tractor sobre neumáticos con distribuidor de enmienda líquida de 9001 a 14000 l de capacidad	gasoil	730,35	61,78

Maquinaria para siembras			
Hidrosembradora			
Hidrosembradora montada sobre camión, con depósito de 2500 l, con bomba incorporada de 15 a 20 kW	gasoil	328,66	27,80
Sembradora			
Sembradora de tracción manual	gasoil	56,60	4,79
Sembradora de tracción mecánica	gasoil	197,80	16,73
Tractor con accesorio para implantar césped en rollos			
Tractor con accesorio para implantar césped en rollos de 36 a 45 kW de potencia	gasoil	246,49	20,85
Tractor con rizosembradora			
Tractor con rizosembradora	gasoil	152,16	12,87
Tractor con sembradora			
Tractor sobre neumáticos de 25,7 a 39,7 kW (35 a 54 CV) de potencia, con sembradora	gasoil	199,02	16,83
Maquinaria para operaciones en plantas existentes			
Maquinaria para podas			
Tijeras neumáticas para podar, con parte proporcional de compresor	gasoil	33,47	2,83
Motosierra	gasoil	15,22	1,29
Cortasetos	gasoil	5,48	0,46
Maquinaria para siegas			
Motocultor para siegas			
Motocultor, con equipo de cavar y un ancho de trabajo de 90 cm	gasoil	26,84	2,27
Cortabordes			
Cortabordes autopropulsado	gasoil	12,17	1,03
Cortacésped			
Cortacésped helicoidal autopropulsado, de 40 a 65 cm de anchura de trabajo	gasoil	15,82	1,34
Cortacésped helicoidal o rotativo autopropulsado, de 66 a 90 cm de anchura de trabajo	gasoil	24,95	2,11
Cortacésped rotativo autopropulsado con asiento, de 40 a 65 cm de anchura de trabajo	gasoil	29,21	2,47
Cortacésped rotativo autopropulsado con asiento, de 66 a 90 cm de anchura de trabajo	gasoil	51,73	4,38
Maquinaria para tratamientos fitosanitarios			
Equipo motobomba para el control de plagas, enfermedades y malas hierbas			
Equipo motobomba a presión graduable para tratamientos fitosanitarios y herbicidas	gasoil	7,30	0,62
MAQUINARIA ESPECIAL: EQUIPOS AUXILIARES			
Grupo eléctrico para alquiler			
Grupo eléctrico de 20 a 30 kVA	gasoil	152,16	12,87
Grupo eléctrico de 30 a 60 kVA	gasoil	273,88	23,17
Grupo eléctrico de 60 a 200 kVA	gasoil	791,21	66,92
Compresor portátil			
Compresor portátil entre 7 y 10 m ³ /min de caudal y 8 bar de presión	gasoil	57,82	4,89
Electrobombas sumergibles para aguas sucias			
Electrobomba sumergible con diámetro de impulsión DN-80 mm, con motor de 2,2 kW de potencia y montada con guardamotor	eléctrica	5,54	0,57
Electrobomba sumergible con diámetro de impulsión DN-entre 80 y 100 mm, con motor de 5,2 kW de potencia y montada con guardamotor	eléctrica	13,10	1,34
Electrobomba sumergible con diámetro de impulsión DN-entre 80 y 150 mm, con motor de 8 kW de potencia y montada con guardamotor	eléctrica	20,16	2,06
Electrobomba sumergible con diámetro de impulsión DN-entre 100 y 150 mm, con motor de 20 kW de potencia y montada con guardamotor	eléctrica	50,40	5,15
Calefactor para secado de ambiente			
Calefactor para secado de ambiente, eléctrico de 12 kW	eléctrica	30,24	3,09
Equipos de achiques y agotamientos			

Equipo para reducción del nivel freático en 2 m y 75 m de longitud con una lanza de succión por metro de 3 m de profundidad con bomba de 22 kW y 320 m ³ /h de caudal máximo	eléctrica	55,44	5,66
Maquinaria para chorro a presión			
Equipo de chorro de arena	gasoil	0,0061	0,0005
Máquina de chorro de agua a presión	gasoil	0,0061	0,0005
Equipo de chorro de polvo de vidrio micronizado	gasoil	0,0061	0,0005
Equipo de chorro de aire a presión	gasoil	0,0061	0,0005
Equipos para inyecciones a presión			
Equipo para inyecciones a presión con boquillas de alta presión para producto hidrofugante	gasoil	0,0061	0,0005

Energía consumida en la extracción, fabricación y distribución de los combustibles y electricidad empleados en todas las fases anteriores

En los apartados anteriores se había considerado el consumo directo de energía, que es la energía proporcionada por el combustible fósil o por la electricidad consumida. Sin embargo, también existe un consumo indirecto de energía, es decir, la energía necesaria para producir el combustible fósil o para generar electricidad, en caso de que la energía consumida sea eléctrica. La energía indirecta incluye la extracción del combustible primario de los pozos, su transporte, refinado, distribución y disposición en tanques para su venta. Es el consumo “aguas arriba” del punto de uso del combustible.

Si bien existen algunos datos sobre consumo de energía indirecto (JEC, 2011), este consumo no se contabiliza en la metodología ya que no se considera relevante para el objetivo perseguido. Aunque también influyen otras variables (dificultad de extracción del combustible, distancia de transporte, complejidad del refinado, etc.), se puede decir que, a mayor consumo de combustible o electricidad (consumo directo), mayor consumo de energía en su generación (consumo indirecto). Por ello, en cierta medida, el consumo indirecto queda recogido de forma implícita en los indicadores de consumo directo de energía.

B.1.2. Generación de residuos y emisión de contaminantes

La generación de residuos tiene dos efectos negativos en el entorno: extracción de materia prima que quizás no se esté utilizando de forma racional e implicaciones medioambientales del tratamiento y vertido de residuos.

Interesa minimizar la generación de residuos y emisión de contaminantes a cualquier medio, incluyendo las emisiones al aire (emisión de gases de efecto invernadero, emisión de contaminantes a la atmósfera, generación de ruido), al suelo (generación de residuos no peligrosos y residuos peligrosos, contaminantes o tóxicos) y al agua. En cuanto a los residuos peligrosos hay que minimizar la cantidad generada.

La Ley 16/2002 de prevención y control integrados de la contaminación establece que unas determinadas actividades e instalaciones (las instalaciones industriales más contaminantes) deberán obtener y renovar la autorización ambiental integrada para poder funcionar. En dicha autorización se determinan los condicionantes ambientales

que debe cumplir la actividad incluyendo valores límite de emisión de contaminantes al aire, al agua y al suelo y de residuos.

Las empresas constructoras no necesitan obtener la autorización ambiental integrada pero sí muchas actividades relacionadas con el sector de la construcción, como son:

- Producción y transformación de metales: producción de aceros brutos, transformación y fundición de metales ferrosos, etc.
- Industrias minerales: fabricación de cemento o clínker, de vidrio, de productos cerámicos mediante horneado, etc.
- Industrias químicas: fabricación de hidrocarburos y de explosivos.
- Gestión de residuos: instalaciones para valorización de residuos peligrosos incluyendo aceites usados, instalaciones para eliminación de residuos no peligrosos en lugares distintos a vertederos, vertederos de todo tipo de residuos excluyendo los de residuos inertes, etc.

Además, el Real Decreto 509/2007 establece que en las actividades en las que se apliquen sistemas de gestión ambiental certificados externamente mediante EMAS o ISO 14001 se simplificarán los mecanismos de tramitación de solicitud y renovación de la autorización ambiental integrada.

La Ley 22/2011 transpone a la legislación española la Directiva marco de residuos (Directiva 2008/98/CE). Su objetivo es regular la gestión de residuos, previniendo su generación y mitigando los impactos adversos sobre la salud humana y el medioambiente, mejorando la eficiencia en el uso de recursos. Establece el siguiente orden de prioridad en el tratamiento de los residuos:

- Prevención
- Preparación para la reutilización
- Reciclado
- Otro tipo de valorización, incluida la valorización energética
- Eliminación

En la ley se define cada uno de estos tratamientos y se proporcionan unas listas no exhaustivas de operaciones de eliminación y operaciones de valorización. Establece el siguiente objetivo: “Antes del 2020 la cantidad de residuos no peligrosos de construcción y demolición destinados a la preparación para la reutilización, el reciclado y otra valorización de materiales (...) deberá alcanzar como mínimo el 70% en peso de los producidos.”

La emisión de gases de efecto invernadero y de otros contaminantes a la atmósfera están directamente relacionadas con el consumo de combustible. Por ello, se planteó la posibilidad de definir un indicador común para los tres subcriterios que fuese solamente el consumo de combustible en fabricación, en transporte y en ejecución, de manera que la metodología se simplificase. Es decir, al subcriterio consumo de energía le correspondería un indicador directo (consumo de energía) mientras que para los subcriterios emisión de gases de efecto invernadero y otros contaminantes atmosféricos se habría definido un indicador indirecto (consumo de energía). Esta simplificación podría servir para obtener una primera aproximación pero no recoge las variaciones de emisiones según el combustible utilizado. Por ejemplo, el consumo de

energía para la fabricación de un ladrillo podría ser aproximadamente el mismo en dos fábricas distintas; sin embargo las emisiones de CO₂ podrían ser muy diferentes si en una de las fábricas se utiliza gasoil como combustible y en la otra biocombustible, al que se le asignan unas emisiones nulas de CO₂, ya que el CO₂ que se emite en la combustión del biocombustible es el mismo que el que la planta ha capturado durante su crecimiento. Por este motivo se ha optado por definir tres indicadores directos para estos tres subcriterios.

B.1.2.1. Emisión de gases de efecto invernadero

Los gases de efecto invernadero son gases integrantes de la atmósfera, de origen natural y antropogénico, que absorben y emiten radiación en determinadas longitudes de onda del espectro de radiación infrarroja causando el efecto invernadero. El vapor de agua (H₂O), dióxido de carbono (CO₂), óxido nitroso (N₂O), metano (CH₄), y ozono (O₃) son los principales gases de efecto invernadero en la atmósfera terrestre. Además existe en la atmósfera una serie de gases de efecto invernadero totalmente producidos por el hombre, como los halocarbonos y otras sustancias que contienen cloro y bromuro. Adicionalmente, el Protocolo de Kyoto aborda otros gases de efecto invernadero, como el hexafluoruro de azufre (SF₆), los hidrofluorocarbonos (HFC), y los perfluorocarbonos (PFC), (IPCC, 2007).

La comunidad internacional está profundamente preocupada por las consecuencias del incremento de los gases de efecto invernadero en la atmósfera. Para reducir la amenaza del cambio climático, la Unión Europea y sus estados miembros adquirieron el compromiso de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero al ratificar el Protocolo de Kioto en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático de 2002 (Naciones Unidas, 1998). En España, el Real Decreto-ley 5/2004 regula el régimen de comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero. En su Anexo I se listan las actividades que se consideran grandes focos de emisión de gases de efecto invernadero, incluyendo la fabricación de los materiales de construcción siguientes:

- acero
- asfalto
- cemento
- cal
- vidrio y fibra de vidrio
- productos cerámicos: tejas, ladrillos, ladrillos refractarios, azulejos, gres cerámico y porcelana

Todas las instalaciones sometidas al ámbito de aplicación del Real Decreto-ley, incluyendo la fabricación de los materiales de construcción anteriores, deben contar con una autorización de emisión de gases de efecto invernadero y están obligadas a implantar y mantener el sistema de seguimiento de emisiones y redactar un informe anual sobre las emisiones del año precedente.

En el Real Decreto 1370/2006 se aprobó el Plan Nacional de Asignación de derechos de emisión de gases de efecto invernadero. En él también se considera el sector del

transporte como emisor de CO₂. Los datos reales y las previsiones oficiales estimaban un crecimiento de las emisiones de CO₂ si no se tomaban medidas.

Además de la legislación, las publicaciones científicas también reflejan la preocupación por la emisión de gases de efecto invernadero. Según Hughes *et al.* (2011), cada vez es más importante que entendamos las emisiones de CO₂ resultantes de los proyectos de infraestructuras debido a los posibles efectos del cambio climático. Según Cass y Mukherjee (2011), para el caso de las obras de construcción, es difícil estimar la emisión de CO₂ y discriminar entre alternativas debido a sus condiciones cambiantes. En Ng *et al.* (2013) se revisa la forma de evaluar las emisiones de CO₂ de los seis principales métodos de evaluación ambiental de edificios, llegándose a la conclusión que la mayoría de ellos (todos excepto uno) se centran en la fase de uso del edificio en vez de en todo el ciclo de vida.

Para la presente metodología se tendrán en cuenta las distintas fases de la obra. Igual que en el caso de consumo de energía, la emisión de CO₂ y otros gases de efecto invernadero se produce en las fases que se muestran en la figura 6.3.

De acuerdo con DECC y Defra (2012) se definen como emisiones directas las emisiones emitidas en el punto de uso del combustible o, en el caso de electricidad, en el punto de generación de la electricidad. Se definen como emisiones indirectas las emisiones emitidas previamente al consumo del combustible o, en caso de electricidad, previo a la generación de electricidad. Las emisiones indirectas incluyen la extracción y transporte de los combustibles primarios así como su refinado, purificación o conversión en combustibles de uso directo, almacenaje y distribución. Las emisiones indirectas de la electricidad dependen del tipo de combustible y de la proporción de energías renovables.

A efectos de esta herramienta y por la dificultad en la obtención de datos, únicamente se contabilizan las emisiones indirectas por el combustible y electricidad utilizados en el transporte de materiales a obra y en la ejecución de la obra. No se consideran las emisiones indirectas de gases de efecto invernadero en la fabricación de materiales de construcción. En un futuro, cuando las medidas de emisiones sean más generalizadas, se podrán incluir también en la metodología.

La emisión de CO₂ y otros gases de efecto invernadero puede expresarse como emisión de CO₂ equivalente (CO₂e) que incluye la emisión de CO₂ y otros gases de efecto invernadero teniendo en cuenta su forzamiento radiativo. Es decir, la cantidad de gas de efecto invernadero realmente emitida se transforma en la cantidad de CO₂ que produciría el mismo forzamiento radiativo (IPCC, 2007).

En CIRIA (2001) se considera como indicador de la eficiencia energética las emisiones de CO₂ en toneladas por unidad de facturación de la empresa debidas a las actividades de construcción. En la presente metodología no se utiliza ningún indicador por unidad de coste económico de la obra como medida del tamaño de la obra ya que lo que se quiere comparar es el impacto medioambiental de una obra y éste depende del tamaño de la misma. En CIRIA (2001) también se considera como indicador las emisiones de CO₂ durante el transporte de los materiales de construcción, pero añaden que este indicador está aún por desarrollar.

En Hughes *et al.* (2011) se explica cómo calcular las emisiones de CO₂ en los movimientos de tierras utilizando los factores de DECC y Defra (2009) para las emisiones debidas a la maquinaria utilizada en la extracción, colocación y transporte y los factores del Inventory of Carbon and Energy (Hammond y Jones, 2008) para las emisiones debidas a la fabricación de los materiales de construcción utilizados. En Bakhoun y Brown (2012) se define como indicador del cambio climático el CO₂ emitido en las distintas fases. En Spencer *et al.* (2012) se define como indicador las toneladas de CO₂ atribuibles al diseño y construcción del viaducto por metro cuadrado de tablero. No está claro si se tienen en cuenta las emisiones producidas en otras fases como, por ejemplo, la fabricación y el transporte de materiales.

A partir de las bases de datos existentes hoy en día y partiendo del ejemplo presentado en Hughes *et al.* (2011), se ha definido y desarrollado el indicador de emisión de gases de efecto invernadero para la nueva metodología. Análogamente al consumo de materiales, se considera la emisión de gases de efecto invernadero total y no por unidad de superficie construida, ya que se considera que el impacto ambiental depende de la cantidad total emitida.

Emisiones directas de gases de efecto invernadero en la fabricación de materiales de construcción

Como se ha comentado, la fabricación de algunos materiales de construcción se considera como grandes focos de emisión de gases de efecto invernadero. Igual que en el caso de consumo de energía, las tres primeras fases pueden agruparse en un solo dato que incluye la emisión de CO₂e debida a la extracción de materia prima, transporte a fábrica y fabricación del material de construcción.

Se define como indicador las emisiones directas de gases de efecto invernadero en la fabricación de los materiales de construcción utilizados en obra que tengan una emisión igual o superior a 1 tonelada de CO₂ equivalente. Los materiales con emisiones inferiores pueden omitirse.

El límite establecido de 1 tonelada de CO₂ equivalente corresponde, aproximadamente, a las emisiones generadas en la fabricación de 714 kg de barras de acero o 15 toneladas de asfalto o 9,3 toneladas de un hormigón promedio (valores calculados a partir de los datos publicados en Hammond y Jones, 2011).

Idealmente, este dato será proporcionado por la empresa que suministre el material ya que refleja mejor las condiciones reales de la fábrica y por lo tanto es más preciso. En caso contrario, se pueden utilizar los datos recogidos en la tabla B.1, elaborada a partir del Inventory of carbon and energy, (Hammond y Jones, 2011), o de versiones más actualizadas que se publiquen en el futuro. Muchos de los datos de emisión de CO₂ y CO₂e recogidos en la tabla han sido estimados a partir de la mezcla de combustible típica de las industrias del Reino Unido.

Emisión directa e indirecta de gases de efecto invernadero por el transporte de los materiales desde fábrica hasta obra

Para la emisión de gases de efecto invernadero en el transporte de los materiales de construcción se está en una situación similar al consumo de energía en esta misma fase. Es probable que en el momento de aplicar la metodología no se sepa cuáles serán las empresas suministradoras de materiales y, por tanto, tampoco la distancia de transporte de los materiales y por ello no sea posible calcular de forma aproximada las emisiones en esta fase. Sin embargo, se ha querido dejar planteada la metodología a seguir para su cálculo.

Se define como indicador la emisión directa e indirecta de gases de efecto invernadero atribuible al transporte de fábrica a obra de los materiales de construcción que recorran una distancia total igual o superior a 770 km (incluyendo todos los viajes de ida y vuelta) o un consumo de gasoil total igual o superior a 308 litros. Las emisiones de los materiales transportados con distancias de recorrido o consumos de combustible inferiores pueden omitirse.

La distancia de 770 km se ha obtenido como se explica a continuación. En el caso de emisión de gases de efecto invernadero en la fabricación de materiales, solamente se incluyen en el indicador los materiales con una emisión igual o superior a 1 tonelada de CO₂e. Para ser coherentes con el anterior límite, solamente deberían incluirse en el indicador la emisión de gases de efecto invernadero en el transporte de material con una emisión igual o superior a 1 tonelada de CO₂e, lo que equivaldría a un consumo de gasoil de 308 litros o a un desplazamiento total de 770 km incluyendo todos los viajes de ida y vuelta y suponiendo un vehículo pesado con un consumo de 40 litros de gasoil cada 100 km (ecuación B.3):

$$\frac{40l \text{ gasoil}}{100km} \cdot xkm \cdot 3,2413 \frac{kgCO_2e}{l \text{ gasoil}} = 1000 kgCO_2e \rightarrow x = 771,3km (\simeq 308l \text{ gasoil}) \quad (B.3)$$

Lo ideal sería que la empresa suministradora de materiales de construcción proporcionase los datos de emisión directa e indirecta de gases de efecto invernadero en el transporte desde la fábrica hasta la obra.

En caso contrario y análogamente al caso del consumo de energía, habrá que averiguar la distancia de transporte entre la fábrica y la obra, el número de viajes necesarios para el transporte y las emisiones de CO₂ por unidad de distancia, usualmente en gramos de CO₂ por km. Alternativamente a éste último dato, la información proporcionada puede ser la marca y modelo de vehículo; en este caso se tiene que buscar su emisión. Este dato actualmente es difícil de encontrar para los vehículos de transporte de mercancías. Se han revisado los catálogos de las principales marcas comerciales de vehículos de transporte de mercancías (DAF, IVECO, MAN, Mercedes-Benz, Renault, Scania y Volvo) y, aunque todos hacen referencia a bajas emisiones, en ninguno de ellos se presentan datos de emisiones de forma sistemática. De esta forma se obtendrían las emisiones directas; para obtener las emisiones indirectas a partir del combustible consumido, se puede utilizar la tabla B.4 (adaptada de DECC y Defra, 2012). El combustible consumido se conoce del indicador 1.2 Consumo de energía. Las emisiones de CO₂e que se muestran en las

distintas tablas adaptadas de DECC y Defra (2012) incluyen CO₂, CH₄ y N₂O (tablas B.4 - B.13).

Si se conoce la cantidad y el tipo de combustible utilizado pero no las emisiones del vehículo, éstas se pueden calcular utilizando la tabla B.4, donde se indican las emisiones directas e indirectas por unidad de volumen, masa o energía. Esta forma de calcular las emisiones es más precisa que las que se explican más adelante. Algunos de los datos de la tabla B.4 han sido contrastados con los publicados en JEC (2011), no encontrándose diferencias significativas.

Tabla B.4. Emisiones de CO₂e directas, indirectas y totales del combustible por unidad de volumen y/o masa y/o energía (adaptada de DECC y Defra, 2012).

Tipo de combustible	Unidades ¹	Emisiones directas ²	Emisiones indirectas	Emisiones totales
		kgCO ₂ e/ud	kgCO ₂ e/ud	kgCO ₂ e/ud
Biodiesel (100% biocombustible)	litros	0,0175	1,1138	1,1313
	GJ	0,528	33,654	34,182
Biodiesel³ - mezcla de diesel y biodiesel (3,6% por unidad de volumen, 3,3% por unidad de energía)	litros	2,58350	0,5837	3,1672
	toneladas	3070,5	693,7	3764,2
Bioetanol (100% biocombustible)	litros	0,0057	0,8224	0,8281
	GJ	0,267	38,636	38,903
Biogasolina³ - mezcla de gasolina mineral y bioetanol (2,9% por unidad de volumen, 1,9% por unidad de energía)	litros	2,24230	0,47500	2,7173
	toneladas	3042,1	644,4	3686,5
Biometano (100% biocombustible)	Kg	0,0052	1,3230	1,3282
	GJ	0,106	27,000	27,106
Diesel (100% mineral)	litros	2,67690	0,5644	3,2413
	toneladas	3188,2	672,2	3860,4
	GJ	74,308	15,667	89,975
Fueloil⁴	tonelada	3228,1	608,8	3836,9
Gas licuado de petróleo (propano)	litros	1,53260	0,19180	1,7244
Gas natural	m ³	2,0322	0,2100	2,2422
Gas natural comprimido	litros	0,4768	0,0739	0,5507
	Kg	2,72442	0,42240	3,1468
	GJ	57,083	8,850	65,934
Gas natural licuado⁵	litros	1,2328	0,4319	1,6647
	toneladas	2724,4	954,5	3678,9
Gasolina (100% mineral)	litros	2,31440	0,46380	2,7782
	toneladas	3147,6	630,8	3778,4
	GJ	70,360	14,100	84,460
Madera (leña)	toneladas	-	77,38	77,38
Madera (astillas, virutas, recortes)	toneladas	-	61,41	61,41
Madera (pellets, gránulos)	toneladas	-	183,93	183,93
Paja, hierbas	toneladas	-	41,08	41,08

¹ Los datos proporcionados en GJ corresponden al poder calorífico inferior o poder calorífico neto.

² Las emisiones directas de CO₂ se establecen en 0 para los biocombustibles ya que el CO₂ que emiten en la combustión es el mismo que han captado durante el crecimiento de la

planta. Sin embargo, las emisiones directas de CO₂e incluyen las emisiones de metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O), que no se absorben durante el crecimiento de la planta.

- ³ Para biogasolina y biodiesel con proporciones de biocombustible distintas a las mostradas en la tabla, las emisiones pueden calcularse aplicando las proporciones adecuadas a partir de las emisiones de los combustibles minerales 100% y biocombustibles 100%.
- ⁴ El fueloil se utiliza principalmente para generación de electricidad estacionaria. También se pueden utilizar estos factores para fueloils marinos similares.
- ⁵ El gas natural licuado se puede utilizar como combustible alternativo en el transporte.

Si no se dispone de los datos anteriores pero se conoce el peso transportado y la distancia recorrida, las emisiones directas e indirectas pueden estimarse a partir de las tablas B.5 - B.8, adaptadas de DECC y Defra (2012). La tabla B.5 corresponde a los vehículos de transporte de mercancías ligeros (furgonetas, camionetas, etc. hasta 3,5 toneladas de peso máximo autorizado). La tabla B.6 corresponde a los vehículos pesados (peso máximo autorizado superior a 3,5 toneladas). Si no se conoce la capacidad de carga del vehículo (peso máximo autorizado) se pueden utilizar los valores promedios. La tabla B.7 corresponde a las emisiones causadas por el transporte por ferrocarril y aéreo. La tabla B.8 corresponde a las emisiones causadas por el transporte marítimo.

Tabla B.5. Emisiones de CO₂e directas, indirectas y totales de los vehículos de transporte de mercancías ligeros (hasta 3,5 toneladas de peso máximo autorizado) por kilómetro y tonelada transportada, según el tipo de combustible y clase de vehículo (adaptada de DECC y Defra, 2012).

Tipo de combustible y clase de vehículo	Peso máximo autorizado	Emisiones directas KgCO ₂ e/km/t	Emisiones indirectas KgCO ₂ e/km/t	Emisiones totales KgCO ₂ e/km/t	% vehíc. del total
Gasolina (Clase I)	< 1,305t	0,84755	0,17053	1,01808	38,4%
Gasolina (Clase II)	1,305t – 1,740t	0,80633	0,16224	0,96857	48,6%
Gasolina (Clase III)	> 1,740t	0,48543	0,09767	0,58310	13,0%
Gasolina (media)	Hasta 3,5t	0,69531	0,13990	0,83521	100,0%
Diesel (Clase I)	< 1,305t	0,64928	0,13793	0,78721	6,2%
Diesel (Clase II)	1,305t – 1,740t	0,62699	0,13319	0,76018	25,7%
Diesel (Clase III)	> 1,740t	0,50024	0,10627	0,60651	68,1%
Diesel (media)	Hasta 3,5t	0,52794	0,11215	0,64009	100,0%
Gas licuado de petróleo	Hasta 3,5t	0,55760	0,06990	0,62750	-
Gas natural licuado	Hasta 3,5t	0,50648	0,07867	0,58515	-
Media de todos los vehículos ligeros	Hasta 3,5t	0,53561	0,11378	0,64939	-

Tabla B.6. Emisiones de CO₂e directas, indirectas y totales de los vehículos pesados (más de 3,5 toneladas de peso máximo autorizado) por kilómetro y tonelada transportada, según el tipo de vehículo y peso máximo autorizado (adaptada de DECC y Defra, 2012).

Tipo de vehículo	Peso máximo autorizado (toneladas)	Emisiones directas KgCO ₂ e/km/t	Emisiones indirectas KgCO ₂ e/km/t	Emisiones totales KgCO ₂ e/km/t
Rígido	> 3,5 - 7,5t	0,58542	0,12436	0,70978
	> 7,5 - 17t	0,35410	0,07522	0,42932
	> 17t	0,19234	0,04086	0,23320
Media de todos los rígidos		0,24858	0,05281	0,30139
Articulado	> 3,5 - 33t	0,16198	0,03441	0,19639
	> 33t	0,08473	0,01800	0,10273
Media de todos los articulados		0,08825	0,01875	0,10700
Media de todos los vehículos pesados		0,12366	0,02627	0,14993

Tabla B.7. Emisiones de CO₂e directas, indirectas y totales del transporte de mercancías por ferrocarril y aéreo por kilómetro y tonelada transportada (adaptada de DECC y Defra, 2012).

Modo de transporte	Tipo	Emisiones directas KgCO ₂ e/km/t	Emisiones indirectas KgCO ₂ e/km/t	Emisiones totales KgCO ₂ e/km/t
Ferrocarril	Diesel/eléctrico	0,03063	0,00571	0,03634
Aéreo	Nacional	2,06487	0,42564	2,49051
	Internacional corta distancia ¹	1,24141	0,25604	1,49745
	Internacional larga distancia ¹	0,64099	0,13220	0,77319

¹ Los vuelos internacionales de corta distancia son hasta 3700 km; los de larga distancia, a distancias superiores.

Tabla B.8. Emisiones de CO₂e directas, indirectas y totales del transporte de mercancías marítimo por kilómetro y tonelada transportada, según el tipo y tamaño de buque (adaptada de DECC y Defra, 2012).

Tipo de buque	Tamaño	Emisiones directas KgCO ₂ e/km/t	Emisiones indirectas KgCO ₂ e/km/t	Emisiones totales KgCO ₂ e/km/t
De carga general	> 10000 TPM	0,01199	0,00225	0,01424
	5000 - 9999TPM	0,01593	0,00299	0,01892
	0 - 4999 TPM	0,01401	0,00263	0,01664
	> 10000 TPM, >100TEU	0,01108	0,00208	0,01316
	5000-9999TPM, >100TEU	0,01764	0,00331	0,02095
	0-4999 TEU, >100TEU	0,01996	0,00375	0,02371
Media de carga general		0,01315	0,00247	0,01562
Portacontenedores	> 8000 TEU	0,01260	0,00237	0,01497
	5000-7999 TEU	0,01674	0,00314	0,01988
	3000-4999 TEU	0,01674	0,00314	0,01988

	2000-2999 TEU	0,02016	0,00379	0,02395
	1000-1999 TEU	0,03236	0,00608	0,03844
	0-999 TEU	0,03659	0,00687	0,04346
Media de portacontenedores		0,01605	0,00301	0,01906
Transporte de vehículos	> 4000 CEU	0,03226	0,00606	0,03832
	0 - 3999 CEU	0,05806	0,01090	0,06896
Media de transporte de vehículos		0,03835	0,00720	0,04555
Ferry Ro-Ro	> 2000 LM	0,04990	0,00937	0,05927
	0 – 1999 LM	0,06078	0,01141	0,07219
Media de ferry Ro-Ro		0,05136	0,00964	0,06100

TPM = Toneladas de peso muerto.

TEU = Twenty foot equivalent unit. Es la capacidad de carga de un contenedor normalizado de 20 pies.

CEU = Car equivalent units (unidades equivalentes de vehículos).

LM = Lane meters (metros de carril). Un carril es una tira de la cubierta de 2 metros de ancho.

Un LM es un área de la cubierta de 2 metros de ancho y un metro de largo.

Si no se conoce el peso transportado pero sí la distancia recorrida, las emisiones directas e indirectas pueden estimarse a partir de las tablas B.9 y B.10, adaptadas del DECC y Defra (2012), utilizando la carga media de los vehículos del Reino Unido. La tabla B.9 corresponde a los vehículos de transporte de mercancías ligeros. La tabla B.10 corresponde a los vehículos pesados. Si no se conoce la capacidad de carga del vehículo (peso máximo autorizado) se pueden utilizar los valores promedios.

Tabla B.9. Emisiones de CO₂e directas, indirectas y totales de los vehículos de transporte de mercancías ligeros (hasta 3,5 toneladas de peso máximo autorizado) por kilómetro, según el tipo de combustible y clase de vehículo (adaptada de DECC y Defra, 2012).

Tipo de combustible y clase de vehículo	Peso máximo autorizado	Media de toneladas transportadas por vehículo	Emisiones directas KgCO ₂ e/km	Emisiones indirectas KgCO ₂ e/km	Emisiones totales KgCO ₂ e/km	% vehíc. del total
Gasolina (Clase I)	< 1,305t	0,24	0,19949	0,04014	0,23963	38,4%
Gasolina (Clase II)	1,305t–1,740t	0,26	0,21246	0,04275	0,25521	48,6%
Gasolina (Clase III)	> 1,740t	0,53	0,25873	0,05206	0,31079	13,0%
Gasolina (media)	Hasta 3,5t	0,31	0,21350	0,04296	0,25646	100,0%
Diesel (Clase I)	< 1,305t	0,24	0,15324	0,03255	0,18579	6,2%
Diesel (Clase II)	1,305t–1,740t	0,36	0,22601	0,04801	0,27402	25,7%
Diesel (Clase III)	> 1,740t	0,53	0,26642	0,05660	0,32302	68,1%
Diesel (media)	Hasta 3,5t	0,47	0,24903	0,05290	0,30193	100,0%
Gas licuado de petróleo	Hasta 3,5t	0,47	0,26302	0,03297	0,29599	-
Gas natural licuado	Hasta 3,5t	0,47	0,23891	0,03711	0,27602	-
Media de todos los vehículos ligeros	Hasta 3,5t	0,46	0,24717	0,05251	0,29968	-

Tabla B.10. Emisiones de CO₂e directas, indirectas y totales de los vehículos pesados (más de 3,5 toneladas de peso máximo autorizado) por kilómetro, según el tipo de vehículo y su peso máximo autorizado (adaptada de DECC y Defra, 2012).

Tipo de vehículo	Peso máximo autorizado (toneladas)	% de peso cargado ¹	Emisiones directas KgCO ₂ e/km	Emisiones indirectas KgCO ₂ e/km	Emisiones totales KgCO ₂ e/km
Rígido	> 3,5 - 7,5t	0%	0,54919	0,11666	0,66585
		50%	0,59640	0,12669	0,72309
		100%	0,64361	0,13672	0,78033
		46% (media, 1,01t)	0,59263	0,12589	0,71852
	> 7,5 - 17t	0%	0,65703	0,13957	0,79660
		50%	0,74979	0,15928	0,90907
		100%	0,84255	0,17898	1,02153
		39% (media, 2,06t)	0,72939	0,15494	0,88433
	> 17t	0%	0,79109	0,16805	0,95914
		50%	0,96248	0,20446	1,16694
		100%	1,13387	0,24087	1,37474
		54% (media, 5,08t)	0,97666	0,20747	1,18413
Media de todos los rígidos		53% (3,5t)	0,83358	0,17708	1,01066
Articulado	> 3,5 - 33t	0%	0,73335	0,15578	0,88913
		50%	0,91429	0,19422	1,10851
		100%	1,09523	0,23266	1,32789
		44% (media, 5,51t)	0,89258	0,18961	1,08219
	> 33t	0%	0,70947	0,15071	0,86018
		50%	0,94238	0,20019	1,14257
		100%	1,17529	0,24967	1,42496
		62% (media, 11,78t)	0,99828	0,21206	1,21034
Media de todos los articulados		61% (11,31t)	0,99828	0,21206	1,21034
Media de todos los vehículos pesados		57% (7,40t)	0,90988	0,19328	1,10316

¹ El % de peso cargado se refiere al % en que se carga el vehículo respecto a su capacidad de carga máxima, es decir, un 0% de peso cargado corresponde a un vehículo que viaja vacío y un 100% a un vehículo que viaja con el peso máximo autorizado.

Emisión directa e indirecta de gases de efecto invernadero debido a la ejecución de la obra

La emisión de gases de efecto invernadero en la obra es debida al uso de equipos, maquinaria e instalaciones que funcionan con combustible o electricidad. Se define como indicador las emisiones directas e indirectas de gases de efecto invernadero debido al uso de maquinaria, equipos, vehículos e instalaciones que tengan una emisión de gases de efecto invernadero igual o superior a 1 tonelada. La maquinaria o equipos con emisiones inferiores pueden omitirse.

Las emisiones directas de CO₂ producidas por maquinaria, equipos o vehículos que funcionen con combustible se pueden calcular a partir de los datos de emisiones del modelo de maquinaria, equipo o vehículo específico multiplicado por las horas, kilómetros, etc. de funcionamiento obtenidos de proyecto. Si se conoce la cantidad y

tipo de combustible consumido, las emisiones indirectas se pueden calcular a partir de los valores indicados en la tabla B.4.

Si la maquinaria, vehículos, equipos o instalaciones funcionan con electricidad y se conoce su consumo, las emisiones directas e indirectas pueden obtenerse a partir de los factores mostrados en la tabla B.11, en base a datos de España del 2012. Estos factores deberían ir actualizándose anualmente.

Tabla B.11. Emisiones directas, indirectas y totales debidas al consumo de electricidad por unidad de energía consumida (REE, 2012; DECC y Defra, 2012; y cálculos de la autora).

	Emisiones directas KgCO₂/kWh	Emisiones indirectas KgCO₂e/kWh	Emisiones totales KgCO₂e/kWh
Electricidad	0,3238	0,0440	0,3678

Las emisiones directas de CO₂ (debido a la producción de electricidad) por unidad de energía consumida se han calculado a partir del dato de emisión de CO₂ asociado a la generación de energía eléctrica (0,30 tCO₂/MWh) indicado en REE (2012) y los datos de generación neta (268476 GWh) y demanda distribución (248745 GWh) del año 2012 que se pueden obtener de la página web de Red Eléctrica de España (www.ree.es) (ecuación B.4). Estas emisiones corresponden a CO₂ y no a CO₂e ya que este dato no se proporciona en los informes consultados de Red Eléctrica Española.

$$0,30 \frac{tCO_2}{MWh\ generado} \cdot \frac{268476 \cdot 10^3 MWh\ generados}{248745 \cdot 10^3 MWh\ consumidos} = 0,3238 \frac{tCO_2}{MWh\ consumido} = \quad (B.4)$$

$$= 0,3238 \frac{kgCO_2}{kWh\ consumido}$$

Las emisiones indirectas se han estimado a partir de los datos de emisiones directas (0,37860 kgCO₂/kWh) e indirectas (0,05148 kgCO₂e/kWh) de España promedio de 5 años (2005-2009) publicadas en DECC y Defra (2012) (ecuación B.5).

$$0,3238 \frac{kgCO_2\ (directos)}{kWh} \cdot \frac{0,05148\ kgCO_2\ e\ (indirectos)/kWh}{0,37860\ kgCO_2\ (directos)/kWh} = \quad (B.5)$$

$$= 0,0440 \frac{kgCO_2\ e\ (indirectos)}{kWh}$$

Idealmente habría que sumar las emisiones directas e indirectas correspondientes al año 2012, pero no se conocen las emisiones indirectas de ese año, por lo que se han tomado los datos disponibles en su lugar (emisiones indirectas promedio de los años 2005-2009). Análogamente, habría que sumar las emisiones directas e indirectas de CO₂ equivalente pero sólo se disponen del dato de emisiones de CO₂ (y no CO₂ equivalente) para el año 2012.

Si no se conocen las emisiones específicas del modelo, en caso de maquinarias o equipos que funcionen con gasoil, o el consumo eléctrico, en caso de maquinaria o equipos que funcionen con electricidad, se pueden tomar las emisiones totales

(directas más indirectas) mostradas en la tabla B.3. Estas emisiones han sido calculadas de la siguiente forma, según la fuente de energía de los equipos y maquinaria:

- Gasoil: se ha transformado el consumo de gasoil en MJ/h de la tabla B.3 a l/h utilizando el valor calorífico superior del gasoil (45,64 GJ/t) y la densidad del gasoil (1191 l/t) obtenidos de la tabla B.2 y se ha multiplicado por las emisiones totales del gasoil (3,2413 kgCO₂e/l) obtenidas de la tabla B.4.
- Electricidad: se ha transformado el consumo de electricidad de la tabla B.3 de MJ/h a kWh (1kWh = 3,6MJ) y se ha multiplicado por las emisiones totales (0,3678 kgCO₂e/kWh) indicadas en la tabla B.11.

En el caso de transporte de pasajeros en la obra, si se conoce el combustible consumido, se puede realizar una estimación de las emisiones directas e indirectas a partir de la tabla B.4, adaptada de DECC y Defra (2012), que es más precisa que las siguientes estimaciones. Estos coeficientes no recogen algunos aspectos de la conducción real como accesorios (aire acondicionado, luces, calefacción, etc.), sobrecarga de pasajeros o equipaje (solamente consideran el conductor más 25kg), falta de mantenimiento (neumáticos poco hinchados, etc.), pendientes (se asume calzada plana), clima, conducción brusca, etc.

Si no se conoce el consumo de combustible pero sí el tipo de combustible utilizado, el tamaño del vehículo de pasajeros y los kilómetros recorridos, las emisiones directas e indirectas pueden estimarse a partir de la tabla B.12, en la que se han incluido los combustibles alternativos, adaptada de DECC y Defra (2012). Esta tabla se ha obtenido como la media de la flota de vehículos en el Reino Unido en el año 2011.

Tabla B.12. Emisiones de CO₂e directas, indirectas y totales de los vehículos para transporte de pasajeros por unidad de distancia recorrida, según el tipo de combustible y tamaño del vehículo (adaptada de DECC y Defra, 2012).

Tipo de combustible para coche	Cilindrada del motor	Tamaño del coche	Emisiones directas KgCO ₂ e/km	Emisiones indirectas KgCO ₂ e/km	Emisiones totales KgCO ₂ e/km
Gasolina	<1,4 l	Pequeño	0,16522	0,03308	0,19830
	1,4-2,0 l	Mediano	0,20765	0,04162	0,24927
	2,0 l	Grande	0,29794	0,05979	0,35773
Coche gasolina promedio			0,20188	0,04046	0,24234
Diesel	<1,7 l	Pequeño	0,14297	0,02840	0,17137
	1,7-2,0 l	Mediano	0,17755	0,03536	0,21291
	2,0 l	Grande	0,23563	0,04704	0,28267
Coche diesel promedio			0,18702	0,03726	0,22428
Híbrido gasolina	Mediano		0,11654	0,02330	0,13984
	Grande		0,20667	0,04143	0,24810
Coche híbrido gasolina promedio			0,13474	0,02696	0,16170
Gas licuado de petróleo	Mediano		0,19012	0,02361	0,21373
	Grande		0,27234	0,03392	0,30626
Coche gas licuado petróleo promedio			0,21472	0,02670	0,24142
Gas natural comprimido	Mediano		0,17024	0,02612	0,19636
	Grande		0,24364	0,03752	0,28116

Coche gas natural comprimido	0,19220	0,02953	0,22173
-------------------------------------	----------------	----------------	----------------

Si no se conoce el tipo de combustible utilizado por el vehículo para transporte de pasajeros en la obra pero sí el tamaño del vehículo y los kilómetros recorridos, pueden utilizarse los factores de la tabla B.13, adaptada de DECC y Defra (2012), para obtener las emisiones directas e indirectas.

Tabla B.13. Emisiones de CO₂e directas, indirectas y totales de los vehículos para transporte de pasajeros por unidad de distancia recorrida, según el tamaño del vehículo (adaptada de DECC y Defra, 2012).

Tamaño del vehículo	Emisiones directas KgCO₂e/km	Emisiones indirectas KgCO₂e/km	Emisiones totales KgCO₂e/km
Promedio pequeño	0,15958	0,03187	0,19145
Promedio mediano	0,19443	0,03923	0,23366
Promedio grande	0,25729	0,05230	0,30954
Promedio	0,19469	0,03925	0,23394

En un futuro y a medida que se disponga de más datos y que éstos sean más precisos, el indicador podrá medir de forma más precisa las emisiones de gases de efecto invernadero debido a la ejecución de la obra.

B.1.2.2. Emisión de contaminantes a la atmosfera

La Ley 34/2007 califica la atmósfera como “un bien común indispensable para la vida” cuya contaminación puede derivar en daños para la salud humana, el medioambiente y demás bienes de cualquier naturaleza. Por ello, la protección de la misma ha sido, desde hace décadas, una prioridad de la política ambiental y ha traído importantes mejoras en la calidad del aire.

No obstante, la contaminación atmosférica continua siendo motivo de seria preocupación ya que aún existen niveles de contaminación elevados, particularmente en las aglomeraciones urbanas. Con el objetivo de alcanzar unos niveles de calidad del aire que no den lugar a riesgos o efectos negativos sobre la salud humana o el medioambiente, se han ido aprobando nuevas leyes.

En la Ley 34/2007 se determina que las Administraciones públicas promoverán, dentro de sus competencias, los sistemas de transporte público y privado menos contaminantes. En el Anexo I de dicha ley se indica la relación de contaminantes atmosféricos siguiente:

1. Óxido de azufre y otros compuestos de azufre.
2. Óxidos de nitrógeno y otros compuestos de nitrógeno.
3. Óxidos de carbono.
4. Ozono.
5. Compuestos orgánicos volátiles.

6. Hidrocarburos aromáticos policíclicos y compuestos orgánicos persistentes.
7. Metales y sus compuestos.
8. Material particulado (incluidos PM₁₀ y PM_{2,5}).
9. Amianto (partículas en suspensión, fibras).
10. Halógenos y sus compuestos.
11. Cianuros.
12. Policlorodibenzodioxinas y policlorodibenzofuranos.
13. Sustancias y preparados respecto de los cuales se haya demostrado o existan indicios razonables de que poseen propiedades cancerígenas, mutágenas, xenoestrógenas o puedan afectar a la reproducción a través del aire.
14. Sustancias que agotan la capa de ozono.

Esta lista ya incluye los compuestos orgánicos volátiles, de los que también se trata en el Real Decreto 117/2003 y Real Decreto 227/2006, indicándose en este último los contenidos máximos en pinturas y barnices. El material particulado PM₁₀ y PM_{2,5} son las partículas en suspensión con tamaño inferior a 10 y 2,5 µm respectivamente.

En el Real Decreto 34/2007 se incluye el catálogo de actividades potencialmente contaminadoras de la atmosfera y en el Real Decreto 100/2011 se actualiza dicho catálogo. Además del transporte por carretera, ferrocarril, marítimo, por aguas interiores y aéreo y del tratamiento y eliminación de residuos; el catálogo incluye la producción, tratamiento o aplicación de los siguientes materiales relacionados con la construcción:

- Acero
- Aglomerado asfáltico, materiales asfálticos
- Cal
- Cemento
- Cerámica fina, azulejos, baldosas, porcelana, loza, cerámica sanitaria o similares
- Colas
- Explosivos
- Hierro
- Hormigón
- Ladrillos, tejas u otros materiales de construcción asimilables
- Lanas de vidrio, de roca
- Madera y corcho
- Metales no férricos incluyendo aluminio, plomo, zinc, cobre
- Minerales no energéticos
- Piedra caliza o dolomía
- Pigmentos o colores cerámicos
- Pinturas, esmaltes, recubrimientos, barnices
- Paneles fotovoltaicos de capa fina
- Plásticos y espumados plásticos
- Vidrio plano
- Yeso

El Real Decreto 100/2011 establece que los valores límite de emisión de sustancias contaminantes se basarán en las mejores técnicas disponibles y teniendo en cuenta

las características técnicas de la instalación, su implantación geográfica y las condiciones locales del medioambiente, es decir, teniendo en cuenta el entorno local.

En el Real Decreto 117/2003 se establecen unos límites de emisión de compuestos orgánicos volátiles a la atmósfera ya que pueden ser nocivos para la salud y producir importantes perjuicios a los recursos naturales. Impone a los titulares de instalaciones en los que se realicen actividades que utilizan cantidades importantes de disolvente orgánico determinadas obligaciones, como no superar los valores límite de emisión o reducir las emisiones utilizando productos con bajo contenido en disolvente o exento de ellos.

Los Reglamentos (CE) nº 715/2007 y nº 595/2009 tienen como objetivo la mejora de la calidad del aire mediante la reducción de las emisiones de los vehículos y establecen unos valores límite de emisiones más estrictos que reglamentos o directivas anteriores. El Reglamento (CE) nº 715/2007 se aplica a turismos y vehículos comerciales ligeros (categorías M₁, M₂, N₁ y N₂ con una masa de referencia no superior a 2610 kg) y el Reglamento nº 595/2009 se aplica a vehículos pesados (vehículos de motor de las categorías M₁, M₂, N₁ y N₂ con una masa de referencia superior a 2610 kg y a todos los vehículos de motor de las categorías M₃ y N₃). Estas categorías están definidas en la Directiva 2007/46/CE e incluyen los vehículos para el transporte de pasajeros (categoría M) y mercancías (categoría N). Los fabricantes deberán demostrar que todos los vehículos nuevos vendidos, registrados o puestos en servicio en la Comunidad Europea disponen de la homologación definida en estos Reglamentos, lo que incluye el cumplimiento de unos límites de emisiones, indicadas en los Anexos I de las reglamentaciones. Las autoridades nacionales denegarán la homologación CE o la homologación nacional por motivos relacionados con las emisiones a los nuevos tipos de vehículos o motores que no cumplan lo dispuesto en los reglamentos. Algunos de estos límites son los que se muestran en la tabla B.14, para vehículo ligeros y tabla B.15, para vehículos pesados.

Tabla B.14. Algunos de los límites de emisiones para vehículos ligeros Euro 6 (Reglamento (CE) nº 715/2007).

Categoría	Clase	Masa de Referencia (MR) (kg)	Valores límite (mg/km)							
			CO		HCT	HCNM	NO _x		HCT+ NO _x	PM
			gasolina	gasoil	gasolina	gasolina	gasolina	gasoil	gasoil	gasolina y gasoil
M	-	Todos	1000	500	100	68	60	80	170	4,5
N ₁	I	MR ≤ 1305	1000	500	100	68	60	80	170	4,5
	II	1305 < MR ≤ 1760	1810	630	130	90	75	105	195	4,5
	III	1760 < MR	2270	740	160	108	82	125	215	4,5
N ₂	-	Todos	2270	740	160	108	82	125	215	4,5

HCT = Hidrocarburos totales

HCNM = Hidrocarburos no metánicos

PM = Materia particulada

Tabla B.15. Algunos de los límites de emisiones para vehículos pesados Euro VI (Reglamento (CE) nº 595/2009).

Tipo de combustible	Valores límite						
	CO (mg/kWh)	HCT (mg/kWh)	HCNM (mg/kWh)	CH ₄ (mg/kWh)	NO _x (mg/kWh)	NH ₃ (ppm)	PM (mg/kWh)
Gasoil	4000	160	-	-	460	10	10
Gasolina	4000	-	160	500	460	10	10

HCT= Hidrocarburos totales

HCNM = Hidrocarburos no metánicos

Para mostrar la emisión de contaminantes a la atmosfera debido a la construcción, Pearce (2003) presenta los datos de las emisiones de PM₁₀, gases de efecto invernadero, SO_x, NO_x, y compuestos orgánicos volátiles producidos en el Reino Unido en el año 2001. En CIRIA (2001) se proponía como indicador de la emisión de contaminantes las emisiones en peso de SO₂, PM₁₀ y NO_x en las actividades de construcción de la empresa por unidad de facturación y también la distancia media de viaje por tonelada de material transportado desde los proveedores hasta la obra ya que la utilización de materiales locales permite disminuir la contaminación generada por su transporte, además de ahorrar energía. Bakhoun y Brown (2012) proponen utilizar el índice de Athena Sustainable Materials Institute para reducir la complejidad debida al gran número de emisiones individuales. Como se puede ver, distintas metodologías utilizan como indicador de la contaminación atmosférica las emisiones de los mismos contaminantes, ya que son éstos los principales contaminantes generados en la fabricación de los materiales de construcción.

Para el indicador de la emisión de contaminantes a la atmosfera de la presente metodología se distinguirán las tres fases siguientes:

1. Fabricación de los materiales de construcción.
2. Transporte de los materiales de construcción.
3. Ejecución de la obra.

Es muy probable que en el momento de aplicar la metodología no se sepa cuáles serán las empresas suministradoras de materiales y, por tanto, no se puedan obtener datos de emisiones en la fabricación y transporte de los materiales de construcción. Sin embargo, se ha querido dejar planteada la metodología a seguir para su cálculo.

Emisión de contaminantes a la atmosfera en la fabricación de materiales de construcción

Idealmente, se debería tener en cuenta la emisión de contaminantes atmosféricos durante la fabricación de los materiales de construcción listados antes (que aparecen en el catálogo de actividades potencialmente contaminadoras de la atmosfera del Real Decreto 34/2007 y Real Decreto 100/2011) o, como mínimo, de los principales materiales de construcción utilizados, que suelen ser: hormigón, acero y aglomerado asfáltico. En la práctica, únicamente será posible considerar estas emisiones en caso de que se conozcan las empresas proveedoras de materiales y de que estas proporcionen los datos. Si la empresa fabricante de los materiales debe tener la

autorización ambiental integrada (explicado en el criterio 2. Generación de residuos y emisión de contaminantes) entonces, muy probablemente, la empresa dispondrá de datos de emisiones. En caso de poder obtener los datos, estos se expresarán en el indicador como la suma en peso de las emisiones de dióxido de azufre (SO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x), material particulado (PM₁₀) y, en los casos que se produzca, compuestos orgánicos volátiles (COV).

Primeramente, para el cálculo del indicador, se intentó realizar una suma ponderada de los distintos contaminantes según las toxicidades relativas de cada uno de ellos, es decir, asignar mayor importancia al contaminante con mayor toxicidad. Como no se pudieron encontrar los mismos datos de toxicidad (como, por ejemplo, CL₅₀ que es la concentración letal para 50% de los animales de una determinada especie que han sido expuestos a una sustancia durante un periodo de tiempo determinado) para poder comparar los cuatro contaminantes estudiados, se descartó esta opción. En sustitución de los datos de toxicidad se pensó en utilizar los datos de valores límite (ya fuesen horarios, diarios o anuales) de exposición a estos contaminantes determinados por la legislación española (Real Decreto 102/2011) asumiendo que estos valores serían un reflejo de la toxicidad de cada contaminante. No obstante, tampoco se encontró en la legislación española un valor de comparación común para los cuatro contaminantes estudiados. Además se pudo constatar que los valores límite de exposición varían notablemente según el país u organismo que los determina. Finalmente, debido a la falta de datos, se abandonó la idea de realizar una suma ponderada de las emisiones de estos cuatro contaminantes según su toxicidad y se optó por sumar las emisiones directamente, siguiendo el ejemplo de indicador presentado en CIRIA (2001) que considera la misma importancia para todas ellas.

Emisión de contaminantes a la atmosfera debido el transporte de los materiales desde fábrica hasta obra

Si se conocen las empresas suministradoras de materiales, se pueden dar dos situaciones:

- Que la empresa disponga de los datos de emisiones atmosféricas durante el transporte y los proporcione; esta sería la situación ideal.
- Que la empresa no disponga de los datos de emisiones o no los proporcione pero sí se sepa la distancia y modo de transporte de los materiales de construcción.

En este último caso, para los materiales transportados por tierra, se pueden utilizar como valores de referencia los límites establecidos en el Euro 6 para vehículos ligeros (tabla B.14) y en el Euro VI para vehículos pesados (tabla B.15). Como se ha comentado, estos límites son para los vehículos nuevos, los vehículos antiguos tienen emisiones superiores. En un futuro y a medida que vayan renovándose los vehículos, las emisiones reales del parque de vehículos estarán por debajo de estos límites. Las emisiones límite para los vehículos ligeros Euro 6 (tabla B.14) están expresados en mg/km, por lo que pueden utilizarse directamente una vez se conozca la distancia a recorrer. Las emisiones límite para los vehículos pesados Euro VI (tabla B.15) están expresadas en mg/kWh. Considerando un poder calorífico superior del gasoil de 12,68

kWh/kg y una densidad de 1191 l/t y un poder calorífico superior de la gasolina de 13,08 kWh/kg y una densidad de 1360 l/t (datos obtenidos de la tabla B.2) se obtienen los límites de emisiones por litro de gasoil y por litro de gasolina para vehículos pesados, mostrados en la tabla B.16. Como las emisiones límite del amoníaco (NH₃) estaban expresadas en ppm de la emisión, no se dispone de una correlación entre las emisiones límite y el consumo de energía o combustible y por ello no se ha incluido en la tabla B.16.

Tabla B.16. Algunos de los límites de emisiones para vehículos pesados Euro VI transformados a gramos por litro de combustible consumido.

Tipo de combustible	Valores límite				
	CO (g/l)	HCT (g/l)	HCNM (g/l)	NO _x (g/l)	Masa de materia particulada (g/l)
Gasoil	42,586	1,703	-	4,897	0,106
Gasolina	38,470	-	1,539	4,424	0,096

HCT= Hidrocarburos totales

HCNM = Hidrocarburos no metánicos

Si se conoce el consumo de combustible por cada 100 km y la distancia recorrida, a partir de la tabla B.16 se pueden obtener las emisiones límite para el transporte. Si no se conoce el consumo de combustible pueden tomarse los valores de referencia indicados en 1.2. Consumo de energía (gasoil):

- Camiones de 30-40 t: 30-40 l/100 km.
- Camiones de 18 t: 30 l/100 km.
- Camiones de 10 t: 20 l/100 km.

Para esta fase, el indicador de las emisiones se define como la suma en peso de las emisiones de monóxido de carbono (CO), hidrocarburos totales (HCT), óxidos de nitrógeno (NO_x) y masa de materia particulada (PM) excepto para los vehículos pesados de gasolina, que en lugar de los hidrocarburos totales, se contabilizan los hidrocarburos no metánicos (HCNM), ya que son estos últimos los que se indican en los límites de emisiones Euro VI.

Aunque el metano (CH₄) aparece en la tabla de límites de emisiones Euro VI del Reglamento (CE) N° 595/2009 (tabla B.15), no se incluye en la tabla B.16 ni en el presente indicador de emisión de contaminantes a la atmosfera porque ya se contabiliza en el indicador de emisión de gases de efecto invernadero dentro de las emisiones de CO₂ equivalente.

Hay que tener en cuenta que, debido a la globalización, una misma empresa proveedora puede estar suministrando materiales de muy distintos países y puede resultar complicado obtener la trazabilidad de los productos que llegarán a obra.

Emisión de contaminantes a la atmosfera debido a la ejecución de la obra

Según la Directiva 2007/46/CE, la homologación es optativa para los vehículos diseñados y fabricados para su uso principal en obras y para las máquinas móviles y,

por tanto, también son optativos los límites de emisión del Reglamento (CE) N° 595/2009. Por ello, no se utilizan estos límites como referencia para el indicador de emisión de contaminantes a la atmosfera en la ejecución de la obra. A pesar de esta falta de datos y para un futuro, se deja planteado en el indicador la emisión de contaminantes en la fase de ejecución de la obra. Como futuras líneas de investigación podría estudiarse cuáles son las emisiones contaminantes de la atmósfera producidas por la maquinaria de obra.

Aunque el amianto figura en la lista de contaminantes atmosféricos de la Ley 34/2007, no se incluirá en el indicador de la emisión de contaminantes a la atmosfera de la presente metodología porque su comercialización está prohibida desde el año 2001 y sería muy complicado evaluar su emisión a la atmosfera durante la retirada de elementos que contienen amianto, en rehabilitaciones o demoliciones de construcciones anteriores a su prohibición. El amianto se tiene en cuenta en el indicador de generación de residuos tóxicos, contaminantes o peligrosos.

B.1.2.3. Contaminación acústica sobre entorno natural

El Libro Verde de la Comisión Europea sobre Política futura de lucha contra el ruido (Comisión de las Comunidades Europeas, 1996) reconoce la escasa prioridad dada al ruido anteriormente, por ser un problema local, y lo reconoce como uno de los problemas ecológicos locales más graves de Europa.

El Real Decreto 212/2002, con la intención de proteger la salud y el bienestar de los ciudadanos así como el medioambiente, limita la potencia acústica de las máquinas de uso al aire libre. Estas máquinas se listan y definen en el Anexo I del mismo Real Decreto. Para las máquinas que se utilizan en un espacio cubierto en el que la transmisión del sonido no se ve afectada, o no de manera importante, se considera uso al aire libre. Para poner al mercado dichas máquinas es necesario que dispongan de una declaración CE de conformidad, que garantiza que cumple con las limitaciones del nivel de potencia acústica. Esta declaración incluye, entre otros datos, el nivel de potencia acústica L_{WA} medido en una máquina representativa del tipo.

La Ley 37/2003 o “Ley del Ruido”, el Real Decreto 1513/2005 y el Real Decreto 1367/2007 abordan por primera vez el ruido ambiental resultante de la combinación de múltiples focos de emisión sonoros. Anteriormente, la reglamentación se había centrado sobre las fuentes de ruido, con medidas tendentes a reducir el ruido en origen, no obteniéndose los resultados deseados sobre el ruido ambiental. Por ello, la Directiva sobre Ruido Ambiental (Directiva 2002/49/CE) fija tres finalidades: determinar la exposición al ruido ambiental mediante la elaboración de mapas de ruidos, informar a la población sobre el ruido ambiental y sus efectos y adoptar planes de acción para prevenir y reducir el ruido ambiental.

La contaminación acústica a la que hace referencia la “Ley del Ruido” se define como la presencia en el ambiente de ruidos o vibraciones, cualquiera que sea el emisor acústico que los origine, que impliquen molestia, riesgo o daño para las personas, para el desarrollo de sus actividades o para los bienes de cualquier naturaleza, incluso cuando su efecto sea perturbar el disfrute de los sonidos de origen natural, o que

causen efectos significativos sobre el medioambiente. En esta ley se establece la clasificación de las áreas acústicas según el uso predominante del suelo, los usos considerados serán, como mínimo, los que se muestran en la tabla B.17 además de los espacios naturales que requieran una especial protección contra la contaminación acústica.

El Real Decreto 1367/2007 define las servidumbres acústicas como los sectores del territorio afectados por el funcionamiento o desarrollo de las infraestructuras de transporte viario, ferroviario, aéreo y portuario, así como los sectores de territorio situados en el entorno de tales infraestructuras, existentes o proyectadas. En él se establecen tres periodos temporales de evaluación:

- Día de 7:00 a 19:00
- Tarde de 19:00 a 23:00
- Noche de 23:00 a 7:00

El periodo tarde se puede reducir en una o dos horas y alargar los periodos día y/o noche. En estos periodos se establecen unos objetivos de calidad acústica para ruido aplicables a áreas urbanizadas. Como se puede observar en la tabla B.17, los objetivos de calidad acústica son los mismos para el día y la tarde.

Tabla B.17. Objetivos de calidad acústica para ruido aplicables a áreas urbanizadas existentes (adaptación de la Tabla A del Anexo II del Real Decreto 1367/2007).

Tipo de área acústica	Índices de ruido (dB)		
	Día	Tarde	Noche
Uso sanitario, docente y cultural que requiera de especial protección contra la contaminación acústica	60	60	50
Uso residencial	65	65	55
Uso terciario, distinto al contemplado en el punto siguiente	70	70	65
Uso recreativo y de espectáculos	73	73	63
Uso industrial	75	75	65
Sistemas generales de infraestructuras de transporte u otros equipamientos públicos	Sin determinar	Sin determinar	Sin determinar

En CIRIA (2001) se proponía, como indicador de la prevención de las molestias causadas por el ruido y el polvo, el porcentaje de costes de producción destinados a reducir dichas molestias. En Spencer *et al.* (2012) no se explica claramente como calculan el indicador de generación de ruido, solamente comentan que se basan en una serie de preguntas acerca de los métodos constructivos utilizados, las horas de trabajo y la proximidad a edificios residenciales y negocios. En Bakhoun y Brown, (2012) se propone como indicador del ruido y las vibraciones los niveles de ruido y vibraciones sin dar más detalles.

Para la presente metodología se define como indicador de la contaminación acústica el sumatorio de las horas de funcionamiento de las máquinas de uso al aire libre multiplicadas por su correspondiente nivel de potencia acústica L_{WA} . El nivel de potencia acústica L_{WA} medido en una máquina representativa del tipo aparece en la Declaración CE de conformidad de las anteriores máquinas y normalmente se indica

de forma visible en la superficie de la máquina con las letras L_{WA} . Las máquinas de uso al aire libre están definidas en el Anexo I del Real Decreto 212/2002; a continuación se listan las que pueden utilizarse en la construcción:

1. Plataformas elevadoras con motor de combustión.
2. Desbrozadora.
3. Montacargas para el transporte de materiales de construcción.
4. Sierra de cinta para obras.
5. Sierra circular de mesa para obras.
6. Sierra de cadena portátil.
7. Vehículo baldeador y aspirador de alta presión.
8. Máquina compactadora (rodillos con conductor montado, rodillos con conductor a pie, rodillos remolcados, planchas y apisonadoras vibratorias, apisonadoras de explosión).
9. Motocompresor.
10. Trituradoras de hormigón y martillos picadores de mano.
11. Hormigonera.
12. Torno de construcción.
13. Máquinas de distribución, transporte y rociado de hormigón y mortero.
14. Cinta transportadora.
15. Equipo de refrigeración de vehículos.
16. Topadora
17. Equipo de perforación.
18. Motovolquete.
19. Equipos de carga y descarga de cisternas o silos en camiones.
20. Pala hidráulica o pala de cables.
21. Pala cargadora.
22. Niveladora.
23. Máquina para el acabado de la hierba/recortadora de hierba.
24. Recortadora de setos.
25. Baldeadora de alta presión.
26. Máquina de chorro de agua de alta presión.
27. Martillo hidráulico.
28. Generador de energía hidráulica (comprime líquidos a presión superior de la de entrada).
29. Cortadora de juntas.
30. Cortadora de césped.
31. Máquina para el acabado de césped/recortadora de césped.
32. Soplador de hojas.
33. Aspirador de hojas.
34. Carretilla elevadora en voladizo accionada por motor de combustión.
35. Cargadora.
36. Grúa móvil.
37. Pavimentadora.
38. Equipo para el manejo de pilotes.
39. Colocador de tuberías.
40. Tractor de oruga para nieve.
41. Grupo electrógeno.

- 42. Barredora mecánica.
- 43. Flexadora para carreteras.
- 44. Escarificador.
- 45. Trituradora/astilladoras.
- 46. Máquina quitanieves con herramientas giratorias.
- 47. Vehículo aspirador.
- 48. Grúa de torre.
- 49. Zanjadora.
- 50. Camión hormigonera.
- 51. Equipo de bomba de agua.
- 52. Grupo electrógeno de soldadura.

En caso de que se conozca el nivel de potencia acústica L_{WA} de todas las máquinas al aire libre utilizadas en obra excepto de unas pocas, se pueden tomar los valores de los que se disponga y unos valores promedios o estimados a partir de los datos conocidos para el resto de máquinas. En caso de que se desconozcan los niveles de potencia acústica para la mayoría de las máquinas, se puede tomar en su lugar los niveles de ruido a 15 metros que se muestran en la tabla B.18, obtenida de Canter (1997). Si alguna máquina no se encuentra en dicha tabla, se puede utilizar un valor promedio o estimado a partir de los datos que se conocen.

Tabla B.18. Intervalo de ruido en equipos de construcción (Canter, 1997).

		Nivel de ruido a 15 m (dB)					
		60	70	80	90	100	110
Equipos con motores de combustión interna	Movimientos de tierra	Compactadores (rodillos)					
		Cargadores frontales					
		Palas traseras					
		Tractores					
		Rascadores, gradas					
		Asfaltadoras					
		Camiones					
	Manejo de materiales	Hormigoneras					
		Bombas de hormigón					
		Grúas, móviles					
		Grúas, torre					
	Fijas	Bombas					
		Generadores					
Compresores							
Equipo de impacto	Llaves neumáticas						
	Martillos y perforadores de rocas						
	Martinete de impacto, picos						
Otros	Vibrador						
	Sierras						

No se deben mezclar, en un mismo indicador, valores de L_{WA} con los valores de nivel de ruido a 15 metros, pues la forma de medir estos dos datos es distinta. Tampoco se deben mezclar en el cálculo del Índice de Impacto Ambiental (ecuación 6.1),

indicadores calculados con el nivel de potencia acústica L_{WA} con indicadores calculados con el nivel de ruido a 15 metros.

Las horas de funcionamiento de la maquinaria que sean en periodo de noche (de 23:00 a 7:00) se penalizan multiplicándose por un factor de 1,2. Este factor se ha obtenido como promedio del ratio entre los objetivos de calidad acústica durante el día y los objetivos de calidad acústica durante la noche para áreas urbanizadas existentes (tabla B.17 y ecuación B.6).

$$\frac{\left(\frac{60}{50} + \frac{65}{55} + \frac{70}{65} + \frac{73}{63} + \frac{75}{65}\right)}{5} = 1,15 \approx 1,2 \quad (\text{B.6})$$

A falta de unos objetivos de calidad acústica para el día y la noche en áreas rurales y a efectos de la presente metodología, se utilizan estos mismos valores de referencia para penalizar el ruido en periodo de noche en zona rural. Es decir, el factor de 1,2 para el ruido nocturno se aplica tanto en zona urbana como en zona rural. En un futuro, si se definen objetivos de calidad acústica para el día y para la noche en áreas rurales, se podrá calcular un factor de penalización para el ruido nocturno específico para áreas rurales.

Aunque la legislación (Real Decreto 1367/2007) establece tres periodos temporales de evaluación (día, tarde y noche), para el indicador solamente se diferencia entre periodo de día y de noche por los siguientes motivos:

1. Se considera suficiente contar con estos dos periodos de tiempo; considerar un periodo más (periodo de tarde) no aportaría más información relevante para el propósito de la metodología.
2. El Real Decreto 1367/2007 (tabla B.17) define los mismos objetivos de calidad acústica para el día y para la tarde y unos objetivos más restrictivos para la noche, lo que es equivalente a establecer los dos periodos del indicador.

En caso de que se realicen voladuras, la Norma UNE 22-381-93 establece unos niveles seguros de obligado cumplimiento para el valor pico de la mayor componente de la velocidad de vibración medida en el terreno. En cuanto al ruido que genera, aunque puede ser muy intenso, es muy breve en el tiempo y no se contabiliza en el indicador del presente subcriterio.

El presente indicador es de aplicación cuando la contaminación acústica impacta en su totalidad o en parte sobre un entorno natural; es decir, el indicador se utiliza en entornos rurales y semiurbanos. En entornos totalmente urbanos, donde la contaminación acústica preocupa únicamente por su impacto sobre las personas, no es de aplicación el presente indicador. En los casos en que la contaminación acústica genere un impacto en las personas, existe un indicador similar dentro de impacto social que, además de considerar las emisiones de contaminación acústica, considera los receptores. En la tabla B.19 se indica cuándo es de aplicación cada uno de los dos indicadores.

Tabla B.19. Aplicación de los indicadores de contaminación acústica según el entorno.

Entorno	Indicadores de aplicación
Rural sin ninguna vivienda	Impacto ambiental – Contaminación acústica sobre entorno natural
Rural con alguna vivienda o semiurbano con entorno natural	Impacto ambiental – Contaminación acústica sobre entorno natural Impacto social – Contaminación acústica sobre residentes en viviendas
Urbano	Impacto social – Contaminación acústica sobre residentes en viviendas

B.1.2.4. Generación de residuos no peligrosos

El auge de la construcción en años anteriores provocó una gran generación de residuos procedentes tanto de la construcción de infraestructuras y edificaciones de nueva planta como de la demolición de inmuebles antiguos, sin olvidar los derivados de pequeñas obras de reforma de viviendas y locales. Dichos residuos forman la categoría denominada de construcción y demolición y plantean un problema ambiental. Debido a la insuficiente prevención de la producción de estos residuos en origen y el escaso reciclaje y aprovechamiento de sus recursos valorizables se puede provocar la contaminación de suelos y acuíferos en vertederos incontrolados y el deterioro paisajístico. Por ello, estos residuos disponen de una legislación específica, el Real Decreto 105/2008.

Este Real Decreto tiene como objetivo fomentar, por este orden, la prevención, reutilización, reciclado y otras formas de valorización de los residuos de construcción y demolición. Obliga al productor de residuos de construcción y demolición a incluir en el proyecto de obra un estudio de gestión de los residuos que se producirán, incluyendo una estimación de su cantidad, medidas de prevención, operaciones de reutilización, valorización o eliminación, valoración del coste de gestión, etc. Prohíbe el depósito en vertedero de residuos de construcción y demolición que no hayan sido sometidos a alguna operación de tratamiento previo y demanda el establecimiento de tarifas que desincentiven el depósito en vertedero de residuos valorizables. El Real Decreto establece la obligación de separar los residuos de construcción y demolición en las siguientes fracciones cuando de forma individualizada se superen las siguientes cantidades:

- Hormigón: 80 t
- Ladrillos, tejas, cerámicos: 40 t
- Metal: 2 t
- Vidrio: 1 t
- Plástico: 0,5 t
- Papel y cartón: 0,5 t

También establece que “la utilización de residuos inertes procedentes de actividades de construcción o demolición en la restauración de un espacio ambientalmente degradado, en obras de acondicionamiento o relleno, podrá ser considerada una

operación de valorización, y no una operación de eliminación de residuos en vertedero” cuando se cumplan unos requisitos, entre ellos: “que el resultado de la operación sea la sustitución de recursos naturales que, en caso contrario, deberían haberse utilizado para cumplir el fin buscado con la obra de restauración, acondicionamiento o relleno”

La Ley 11/1997 y el Real Decreto 782/1998 tienen como objetivo prevenir y reducir el impacto de los envases y residuos de envases sobre el medioambiente y gestionarlos a lo largo de todo su ciclo de vida. Para ello establece medidas: como primera prioridad, la prevención de la producción de residuos de envases y, en segundo lugar, la reutilización de los envases.

En CIRIA (1999) se proponían varios indicadores para la gestión de los residuos, un primer indicador es el peso total de los residuos generados, otro indicador es el peso de residuos que van a ser reutilizados o reciclados y finalmente un indicador del peso de residuos que van a vertedero. En CIRIA (2001) se proponen como indicadores las toneladas de desechos que van a vertedero por unidad de facturación de la empresa, las toneladas de materiales de construcción sin utilizar que van a vertedero y el porcentaje de materiales que han sido comprados en exceso de forma intencionada. Bakhoum y Brown (2012) consideran que, actualmente, en la construcción se sigue generando una alta proporción de residuos sólidos y proponen como indicador el peso de los residuos sólidos generados en las fases previas, durante y posteriores a la obra.

Análogamente al consumo de materiales, para la presente metodología se integran los distintos aspectos (generación de residuos y su aprovechamiento para reutilización o reciclaje) en un solo indicador que los tenga en cuenta. Se define como indicador el peso total de los residuos no peligrosos generados durante la fabricación de los materiales de construcción (si es posible obtener este dato de las empresas suministradoras) que representen un peso igual o superior a una tonelada, más el peso total de los residuos no peligrosos generados en la ejecución de la obra (hormigón, ladrillos, tejas, cerámicos, metal, madera, vidrio, plástico, papel y cartón y otros residuos de envases, etc.) que representen un peso igual o superior a una tonelada. Los residuos con pesos inferiores pueden omitirse. El peso de las aguas residuales generadas se contabiliza en el presente indicador de generación de residuos igual que el agua consumida se ha incluido en el indicador de consumo de recursos materiales.

Los datos de residuos no peligrosos generados en la obra se pueden encontrar en el estudio de gestión de los residuos, que es de obligada inclusión en el proyecto de obra. La contabilización de dichos residuos debería incluir el exceso de material que no se utiliza y caduca, roturas y pérdidas en el almacenaje y manipulación en el transporte interno de la obra, etc. Estos residuos se podrían cuantificar de la siguiente forma respecto a la cantidad total del material que aparece en el presupuesto: hormigón 1%, ladrillos y piezas de revestimiento frágiles 5%, morteros 2%, aportación de tierras y granulados 1%. Además, se pueden generar otros residuos más difíciles de cuantificar como son los causados por derribos de elementos mal ejecutados y partidas auxiliares no contempladas en el presupuesto (ITeC, 2012).

En el caso de generación de aguas residuales procedentes de hormigón proyectado y suponiendo una relación agua/cemento de 0,5, se puede estimar que la cantidad generada es de, aproximadamente, un 20% del volumen de hormigón proyectado. Estas aguas residuales son una mezcla de agua con cemento y se decantan y se tratan antes de verterlas.

De los anteriores residuos se indicará qué cantidades van a ser:

- Preparados para la reutilización.
- Reciclados.
- Otro tipo de valorización, incluida la energética.
- Eliminados.

Los residuos que, de forma totalmente cierta, vayan a ser reutilizados o reciclados, deberían contribuir en menor medida al indicador de generación de residuos; por ejemplo, se podría contabilizar solamente un porcentaje de su peso. Análogamente al consumo de materiales reutilizados o reciclados, este porcentaje podría variar en función de algunas características del material (disponibilidad local y global, grado de renovación, porcentaje actual de reciclaje del material, etc.). Como en España, actualmente, los porcentajes de reciclaje de los residuos de construcción son muy bajos, se ha optado por no contabilizar en el indicador de generación de residuos el peso de los residuos que se reciclarán o reutilizarán, para premiar en mayor medida esta práctica. En un futuro y a medida que la reutilización y el reciclaje de los residuos de construcción aumenten, se puede actualizar este porcentaje de forma que se adapte mejor a las prácticas del momento.

Con el uso de este indicador se está asumiendo de forma implícita que el impacto debido a la generación de residuos es igual para todos los residuos. Como futuras líneas de investigación, podrían ponderarse los pesos de los distintos residuos generados, dando mayor importancia a los residuos que produzcan un mayor impacto medioambiental o que provengan de materiales con menores reservas locales o globales y con menor capacidad de renovación.

B.1.2.5. Generación de residuos tóxicos, contaminantes o peligrosos

El suelo constituye uno de los medios receptores de la contaminación más sensibles y vulnerables. Aunque en la cumbre de Río de 1992 ya se reconoce la importancia de la protección de los suelos, la legislación europea y española carecían de normativa para promover su protección; en España, hasta la promulgación de la Ley 10/1998, actualmente derogada. En el Real Decreto 9/2005 se adoptan criterios para declarar un suelo contaminado y se establece una relación de actividades susceptibles de causar contaminación en el suelo, entre las que se incluye la fabricación de materiales de construcción como:

- Azulejos y baldosas de cerámica.
- Madera.
- Metales: hierro, acero, ferroaleaciones, aluminio.
- Minerales.

- Pinturas, barnices y revestimientos similares.
- Vidrio y productos de vidrio.

Y también la fabricación de máquinas, equipos, material mecánico, máquinas-herramientas, vehículos de motor, remolques y semirremolques y material ferroviario. También se incluye en la lista el transporte por ferrocarril, otros tipos de transporte terrestre y actividades anexas al transporte marítimo.

El Real Decreto 833/1988 regula las actividades de producción y gestión de residuos tóxicos y peligrosos. En su Anexo I se incluyen unas tablas con las categorías de residuos tóxicos y peligrosos clasificados según su naturaleza, los constituyentes que permiten clasificarlos como tóxicos y peligrosos y las actividades y procesos que pueden generarlos, entre los que se incluyen las siguientes relacionadas con la construcción: industria metalurgia, materiales de construcción (cal cemento, yeso, tierras cocidas, piedra natural), cerámica y vidrio, madera, descontaminación, eliminación de residuos, recuperación de residuos, etc. El Real Decreto 105/2008 establece la obligación, en el caso de obras de demolición, reparación o reforma, de elaborar un inventario de los residuos peligrosos que se generen en obra, que debe incluirse en el estudio de gestión de residuos. Obliga a proceder a la retirada selectiva de los residuos peligrosos para evitar que se mezclen entre ellos o con otros residuos no peligrosos y a entregarlos a gestores autorizados de residuos peligrosos.

La utilización de aceites industriales o lubricantes utilizados en la maquinaria, vehículos, etc. lleva ligada la producción de aceites usados que son considerados residuos peligrosos. El Real Decreto 679/2006 regula la gestión de estos aceites para garantizar un mayor grado de protección al medioambiente y la salud de las personas exigiendo a los fabricantes que los aceites contengan la menor cantidad posible de sustancias peligrosas y que tomen medidas para reducir la cantidad de generación de este residuo. “Productores y consumidores deben garantizar la entrega de aceites usados a un gestor autorizado para su valorización o eliminación, a menos que procedan a gestionarlos por sí mismos”. Prohíbe el vertido de aceites usados en aguas superficiales o subterráneas, en el mar, en los sistemas de alcantarillado o de evacuación de aguas residuales y en el suelo. Se prohíbe todo tratamiento que provoque una contaminación atmosférica superior al nivel establecido en la legislación sobre medioambiente atmosférico. También se establece un orden de prioridades para la gestión de aceites usados:

- Reducción de la cantidad de aceites usados generados y las sustancias contaminantes que contienen.
- Se prima la regeneración sobre cualquier otro método.
- Seguida de otras formas de reciclado.
- De la valorización energética.
- Y de la eliminación, como último método y al que sólo habrá que recurrir cuando no pueda emplearse alguno de los anteriores.

Y establece objetivos ecológicos de recuperación, valorización y regeneración que deben ser revisados por el Gobierno.

Aunque la comercialización del amianto se prohibió por Orden de 7 de diciembre de 2001, aún quedan elementos de construcción con contenido de amianto que se

dispusieron antes de la entrada en vigor de la prohibición. Por ello es posible encontrarse con la demolición de edificios, estructuras e instalaciones que contengan amianto, así como la retirada de amianto o de elementos que lo contengan. En cuanto al medio ambiente, la prevención de la contaminación por amianto está regulada por el Real Decreto 108/1991. Esta contaminación puede ser atmosférica, de las aguas o como residuos peligrosos. La retirada de materiales que contengan amianto la debe realizar una empresa inscrita en el Registro de Empresas con Riesgo de Amianto.

En CIRIA (2001) se proponía como uno de los indicadores de residuos de construcción las toneladas de desechos peligrosos generadas por unidad de facturación de la empresa. En Bakhoun y Brown (2012) se propone como indicador el peso de los residuos sólidos peligrosos generados en las distintas fases por unidad de peso de producto.

Con el objetivo de tener en cuenta los problemas de los residuos peligrosos en las decisiones de diseño y compras, se define el indicador de la generación de residuos tóxicos o peligrosos como el peso de los residuos tóxicos o peligrosos generados durante la fabricación de los materiales de construcción (si es posible obtener este dato de las empresas suministradoras) y en la ejecución de la obra.

Los datos de generación de residuos peligrosos de la obra se pueden obtener del inventario de residuos peligrosos del estudio de gestión de los residuos, obligatorio en las obras de demolición, reparación o reforma. Los principales residuos peligrosos que se pueden generar en obra son los siguientes:

- Amianto
- Explosivos
- Aceites industriales usados

La cantidad de residuos de amianto generada por retirada de amianto o elementos que lo contengan será, en la mayoría de casos, la misma para todas las alternativas. En ese caso no servirá para discriminar entre alternativas y no será necesario incluirlo en el indicador.

Si no se conocen los aceites industriales usados que se van a generar se puede utilizar la siguiente aproximación del coste de consumo de aceite obtenida de SEOPAN (2005), como porcentajes del coste de consumo de combustible, que es conocido, pues ya se ha calculado en el subcriterio 1.2. Consumo de energía:

- Máquinas con motor de gasóleo: 20%
- Máquinas con motor de gasolina: 10%
- Máquinas accionadas por energía eléctrica: 5%

Según otra fuente (Díaz, 2007), el coste de lubricación puede estimarse entre el 10 y el 15% del consumo de carburante en motores diesel. Todos los cambios se harán, como máximo, en periodos de 1500 horas de trabajo, salvo el de aceites para transmisión, que se renovará cada 3000 horas como mínimo, salvo lo prescrito por el fabricante.

Los aceites industriales usados que, con total certeza, van a ser regenerados no se contabilizan en el indicador de residuos peligrosos.

Análogamente a lo que pasaba en el indicador de consumo de materiales y el indicador de generación de residuos no tóxicos, en el presente indicador, al sumar el peso de los distintos residuos tóxicos generados se está suponiendo que, a igualdad de pesos, los distintos residuos tóxicos tienen el mismo impacto ambiental. Como futura línea de investigación podrían buscarse unos valores de ponderación para los distintos tipos de residuos tóxicos teniendo en cuenta su peligrosidad, toxicidad, etc.

B.1.3. Afectación a entornos sensibles

Las actividades constructivas tienen un potencial considerable de degradar el medioambiente. Aunque la empresa constructora no es la responsable de decidir la ubicación del proyecto, ésta debe evitar y mitigar el daño a los hábitats de flora y fauna silvestre y asegurar que las restauraciones del hábitat mantienen, si no mejoran, las condiciones ecológicas preexistentes.

Tanto el procedimiento constructivo como la obra terminada deben cumplir con lo que se establezca en la declaración de impacto ambiental. En ese sentido hay poca variación entre el impacto ambiental de las distintas alternativas. Además, la afección al entorno de la obra viene generada principalmente por la propia infraestructura, durante su vida útil, más que por su ejecución, por ejemplo, la alteración en el transporte de sedimentos debido a un puerto. La vida útil no debería generar diferencias de impacto ambiental entre alternativas porque la infraestructura terminada debería ser idéntica o muy parecida por u otro procedimiento constructivo comparado. Por lo tanto, los indicadores dentro del criterio afectación a entornos sensibles serán poco discriminantes entre alternativas. Si en la aplicación de la metodología a un caso de estudio la respuesta a alguno de los indicadores de afectación a entornos sensibles es la misma para todas las alternativas, es decir, el indicador no es discriminante para el caso de estudio, el indicador no se debe incluir en el análisis.

B.1.3.1. Afectación al dominio público hidráulico

La Ley de Aguas (Real Decreto Legislativo 1/2001) y los reglamentos de la Ley de Aguas (Real Decreto 849/1986 y Real Decreto 927/1988) tienen como objetivo la regulación del dominio público hidráulico y del uso del agua, así como establecer las normas básicas de protección de las aguas continentales, costeras y de transición.

Constituye el dominio público hidráulico del Estado (Real Decreto 849/1986, Real Decreto Legislativo 1/2001):

- a) Las aguas continentales, tanto las superficiales como las subterráneas.
- b) Los cauces de corrientes naturales, continuas o discontinuas.
- c) Los lechos de los lagos y las lagunas y de los embalses superficiales en cauces públicos.
- d) Los acuíferos subterráneos.
- e) Las aguas procedentes de la desalación de agua de mar (este apartado no aparece en Real Decreto 849/1986 pero sí en Real Decreto Legislativo 1/2001).

Las márgenes de los terrenos que lindan con los cauces están sujetas en toda su extensión longitudinal:

- a) A una zona de servidumbre de 5 metros de anchura para uso público.
- b) A una zona de policía de 100 metros de anchura medidos horizontalmente a partir del cauce, en la que se condiciona el uso del suelo y las actividades que en él se desarrollen.

Con carácter general no se puede realizar ningún tipo de construcción en la zona de servidumbre salvo que resulte conveniente o necesaria para el uso del dominio público hidráulico o para su conservación y restauración.

En la zona de policía, quedan sometidos a lo dispuesto en el Real Decreto 849/1986 las siguientes actividades y usos del suelo:

- a) Las alteraciones sustanciales del relieve natural del terreno.
- b) Las extracciones de áridos.
- c) Las construcciones de todo tipo, tengan carácter definitivo o provisional.
- d) Cualquier otro uso que suponga un obstáculo para la corriente en régimen de avenidas o que pueda ser causa de degradación o deterioro del estado de la masa de agua, del ecosistema acuático y, en general, del dominio público hidráulico.

El Real Decreto 849/1986 establece que para los usos comunes especiales del dominio público hidráulico es necesaria la elaboración de un proyecto justificativo o un estudio sobre la evaluación de los efectos que pueden producirse sobre el medioambiente, la salubridad y los recursos pesqueros, así como las soluciones que se prevean. En el otorgamiento de autorizaciones para el aprovechamiento de áridos, vegetación arbórea o arbustiva, establecimiento de puentes o pasarelas, embarcaderos e instalaciones para baños públicos, se considera la posible incidencia ecológica desfavorable, debiendo exigirse las adecuadas garantías para la restitución del medio.

Queda prohibido con carácter general el vertido directo o indirecto de aguas y productos residuales susceptibles de contaminar las aguas o cualquier otro elemento del dominio público hidráulico, salvo que se cuente con la previa autorización.

En el caso de que la obra afecte al dominio público hidráulico se define el siguiente indicador: como la mínima información requerida por Real Decreto 849/1986 y, por tanto, disponible, es un plano en planta de la obra a ejecutar, se toma como indicador la superficie en planta del dominio público hidráulico y de la zona de policía ocupada por la ejecución de la obra multiplicado por el tiempo de afectación, más la superficie de dominio público hidráulico y zona de policía ocupada por la obra terminada multiplicado por la vida útil de la obra, en caso de que ésta afecte de forma permanente al dominio público hidráulico.

Se ha optado por incluir la zona de policía en el indicador porque, como se ha comentado, las construcciones provisionales o definitivas que se realicen en esta zona o cualquier uso que suponga un obstáculo para la corriente en régimen de avenidas o

que pueda causar degradación del agua o del ecosistema quedan sometidos al Reglamento del Dominio Público Hidráulico (Real Decreto 849/1986).

Si la superficie afectada por la ejecución de la obra varía notablemente en las distintas fases de la obra, en el indicador se consideran las distintas fases por separado. En el caso de que la obra terminada de todas las alternativas comparadas ocupe la misma superficie del dominio público hidráulico y de la zona de policía y tenga la misma vida útil, la segunda parte del indicador se anula al realizar la comparación y no es necesario incluirla.

El indicador, por la forma en que está definido, considera la misma importancia a la afectación al cauce que la afectación a su zona de policía. Como futuras líneas de investigación se podría estudiar si es conveniente un indicador que penalice más la afectación al cauce que a su zona de policía.

B.1.3.2. Afectación al dominio público marítimo-terrestre

En 1988 se aprobó la Ley de Costas (Ley 22/1988) con el propósito de parar el fenómeno de destrucción y privatización del litoral de la costa española y así conservar su equilibrio y valor natural y cultural, aprovechando de manera racional sus recursos y garantizando el uso y disfrute público. En ella se incluye la definición de:

- Dominio público marítimo-terrestre, que incluye, entre otros: la ribera del mar y de las rías, el mar territorial y sus islotes, las aguas interiores y sus islotes y los recursos naturales de la plataforma continental.
- Servidumbre de tránsito: franja de 6 m medida tierra adentro a partir del límite interior de la ribera del mar que debe dejarse permanentemente expedita.
- Servidumbre de protección: zona de 100 m medido tierra adentro desde el límite interior de la ribera del mar.
- Zona de influencia: mínimo 500 m a partir del límite interior de la ribera del mar.
- Servidumbre de acceso al mar: según las necesidades de acceso.

Dicha ley incluye un capítulo referente a proyectos y obras que ocupan o utilizan el dominio público marítimo-terrestre. La Ley 2/2013 modifica algunos preceptos de la Ley de Costas.

Si en la ejecución de una obra existe afectación ya sea temporal o permanente al dominio público marítimo-terrestre, la Ley de Costas (Ley 22/1988) y su Reglamento (Real Decreto 1471/1989) prevén la elaboración de, como mínimo, un proyecto de construcción en el que se indica la extensión de la zona de dominio público marítimo-terrestre a ocupar. Disponiendo de estos datos, se define como indicador del presente subcriterio la superficie del dominio público marítimo-terrestre y de su zona de protección afectada temporalmente por las obras multiplicada por el tiempo de afectación, más la superficie del dominio público marítimo-terrestre y zona de protección afectada de forma permanente por la obra terminada multiplicada por el tiempo de vida útil de la obra.

Si la superficie de dominio público marítimo terrestre y de zona de protección ocupada por la obra varía notablemente durante las distintas fases de la obra, en el indicador se

considerarán las distintas fases por separado. En el caso de que la obra terminada de todas las alternativas comparadas ocupe la misma superficie del dominio público marítimo terrestre y de la zona de protección y tenga la misma vida útil, la segunda parte del indicador se anula al realizar la comparación y no es necesario incluirla.

Análogamente al indicador del subcriterio anterior, 3.1. Afectación al dominio público hidráulico, el presente indicador considera la misma importancia para la afectación al dominio público marítimo terrestre que para la zona de protección. Como futuras líneas de investigación, se podría estudiar si es conveniente definir un indicador que distinga entre afección al dominio público marítimo-terrestre y afección a la zona de protección, penalizando más el primero de ellos.

B.1.3.3. Afectación a espacios naturales protegidos

Existen varias legislaciones para la conservación, mejora y restauración del patrimonio natural y de la biodiversidad, como el Real Decreto 1997/1995, la Ley 42/2007 o el Real Decreto 139/2011. En la Ley 42/2007 se definen los espacios naturales protegidos como aquellos que cumplan al menos uno de los requisitos siguientes y sean declarados como tales:

- a) Contener sistemas o elementos naturales representativos, singulares, frágiles, amenazados o de especial interés ecológico, científico, paisajístico, geológico o educativo.
- b) Estar dedicados especialmente a la protección y el mantenimiento de la diversidad biológica, de la geodiversidad y de los recursos naturales y culturales asociados.

En función de los bienes y valores a proteger, los espacios naturales protegidos se clasificarán en alguna de las siguientes categorías:

- a) Parques
- b) Reservas Naturales
- c) Áreas Marinas Protegidas
- d) Monumentos Naturales
- e) Paisajes Protegidos

Además existe la Red Ecológica Natura 2000 compuesta por los Lugares de Importancia Comunitaria, las Zonas Especiales de Conservación y las Zonas de Especial Protección para las Aves. También existen otras áreas protegidas por instrumentos internacionales.

En CIRIA (1999) se propone el siguiente indicador: hábitat destruido menos hábitat creado. Este indicador busca incluir cualquier hábitat con flora o fauna que sea destruido o creado por la construcción. La construcción debería buscar un balance de cero o incluso mejor, crear más hábitat del que destruye. El indicador no incluye la calidad del hábitat aunque se comenta que se podría desarrollar un indicador que incluya una gradación del valor del hábitat. En CIRIA (2001) se proponen como indicadores el porcentaje de proyectos de una empresa en los que se han implementado medidas apropiadas para proteger los ecosistemas sensibles y el área

de hábitat diseñada y creada. En Spencer *et al.* (2012) no se explica claramente como calculan el indicador de pérdida o molestias en el hábitat, simplemente comentan que se basan en una serie de preguntas sobre pérdida de hábitat y las medidas adoptadas para mitigarlo. Hacen referencia especial a los cursos de agua.

A diferencia del indicador de CIRIA (1999), la presente metodología sí que distingue, en cierta medida, entre hábitats (subcriterios 3.1 a 3.5). La importancia o fragilidad de los distintos hábitats puede recogerse realizando una asignación de pesos a los subcriterios adaptada al proyecto estudiado. Sin embargo, no distingue entre hábitats que sean espacios naturales protegidos (dentro del subcriterio 3.3) pues todos ellos tendrán una limitación de usos bastante estricta determinada por la declaración de impacto ambiental.

En caso de que las obras ocupen algún espacio natural protegido, la Red Natura 2000 o alguna otra área protegida por instrumentos internacionales, se utilizará como indicador de la afección la superficie ocupada por la ejecución de la obra multiplicado por el tiempo de ocupación, más la superficie ocupada por la obra terminada multiplicado por el tiempo de vida útil de la obra.

Si la superficie de espacio natural protegido ocupada por la obra varía notablemente durante las distintas fases de la obra, en el indicador se considerarán las distintas fases por separado. En el caso de que la obra terminada de todas las alternativas comparadas ocupe la misma superficie de espacio natural protegido y tenga la misma vida útil, la segunda parte del indicador se anula al realizar la comparación y no es necesario incluirla.

B.1.3.4. Afectación a especies silvestres en régimen de protección especial

En la Ley 42/2007 se crea y en el Real Decreto 139/2011 se desarrolla un Listado de Especies Silvestres en Régimen de Protección Especial que incluye especies, subespecies y poblaciones merecedoras de una atención y protección particular en función de su valor científico, ecológico, cultural, por su singularidad, rareza o grado de amenaza así como aquellas que figuran como protegidas en los anexos de las Directivas y convenios internacionales ratificados por España. En la misma ley se establece un Catálogo Español de Especies Amenazadas que incluye los taxones o poblaciones de la biodiversidad amenazada, clasificando algunos de ellos en las categorías siguientes:

- a) En peligro de extinción: su supervivencia es poco probable si los factores causales de su actual situación siguen actuando.
- b) Vulnerable: corren el riesgo de pasar a la categoría anterior en un futuro inmediato si los factores adversos que actúan sobre ellos no son corregidos.

En CIRIA (1999), se propone el siguiente indicador de la biodiversidad: porcentaje de incremento o decremento en las especies clave, a aplicar solamente donde se haya producido un desplazamiento de especies.

Para la presente metodología, se define una escala de impacto, como se muestra en la tabla B.20, según la clasificación de la especie, que refleja su grado de conservación.

Tabla B.20. Escala de impacto según la clasificación de la especie.

Clasificación de la especie	Escala de impacto
Especie sin protección	0
Especie silvestre en régimen de protección especial que no es vulnerable ni está en peligro de extinción	1
Especie vulnerable	2
Especie en peligro de extinción	3

Se define el indicador siguiente: sumatorio del número de especies de cada tipo en la zona de obra que pueden verse afectadas durante la ejecución de la obra multiplicado por su correspondiente escala de impacto y por el tiempo de ejecución de la obra, más el sumatorio del número de especies de cada tipo que pueden verse afectadas por la obra terminada multiplicado por la escala de impacto multiplicado por el tiempo de vida útil de la obra.

Las especies que se cuenten como vulnerables o en peligro de extinción en el indicador no se cuentan como especies silvestres en régimen de protección especial aunque ambas (especies vulnerables o en peligro de extinción) también forman parte del Listado de Especies Silvestres en Régimen de Protección Especial.

Si el número de especies silvestres en régimen de protección especial de cada tipo afectadas por la obra varía durante las distintas fases de la obra, en el indicador se consideran las distintas fases por separado. En caso de que todas las alternativas comparadas tengan la misma vida útil y las mismas especies silvestres en régimen de protección especial afectadas, no es necesario incluir esta parte del indicador.

B.1.3.5. Afectación a espacios naturales no protegidos

Este subcriterio recoge la afectación a entornos naturales que no están recogidos en los subcriterios anteriores (que no pertenecen al dominio público hidráulico o marítimo-terrestre, ni a áreas naturales protegidas, ni a entornos con especies silvestres en régimen de protección especial). Se incluye en él la afectación a campos de cultivo. La afectación a campos de cultivo no se incluye dentro de impacto social ya que, si una obra ocupa un terreno privado debe pagar al propietario y, el posible impacto social generado se considera compensado por esta aportación económica.

El indicador se define como la superficie en planta de espacio natural no protegido afectado por la ejecución de la obra por el tiempo de afectación, más la superficie de espacio natural no protegido ocupado por la obra terminada multiplicado por la vida útil de la obra.

Si la superficie de espacio natural no protegido ocupada por la obra varía notablemente durante las distintas fases de la obra, en el indicador se considerarán las distintas fases por separado, con sus correspondientes superficies de ocupación y duraciones. En el caso de que la obra terminada de todas las alternativas comparadas ocupe la misma superficie de espacio natural no protegido y tenga la misma vida útil, la segunda parte del indicador se anula al realizar la comparación y no es necesario incluirla.

B.2. LEGISLACIÓN EUROPEA Y ESPAÑOLA SOBRE MEDIOAMBIENTE CONSULTADA

En la tabla B.21 se lista toda la legislación medioambiental europea y española consultada, incluyendo la legislación más general que no se traduce directamente en un criterio o subcriterio de la metodología. Primero se lista la legislación europea y, a continuación, la legislación española, ambas acompañadas de un análisis jurídico.

Tabla B.21. Legislación medioambiental europea y española consultada.

Nombre abreviado	Legislación europea	Análisis jurídico
DIRECTIVA 79/409/CEE (derogada)	Directiva del Consejo de 2 de abril de 1979 relativa a la conservación de las aves silvestres.	Transpuesta por: Ley 42/2007; Derogada por: Directiva 2009/147/CE.
DIRECTIVA 87/217/CEE	Directiva del Consejo de 19 de marzo de 1987 sobre la prevención y la reducción de la contaminación del medio ambiente producida por el amianto (87/217/CEE).	Transpuesta por: Real Decreto 108/1991; Afectada por: Directiva 91/692/CEE, Reglamento (CE) nº 807/2003, Acta de adhesión de Austria, de Finlandia y de Suecia.
DIRECTIVA 92/43/CEE	Directiva 92/43/CEE del Consejo de 21 de mayo de 1992 relativa a la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres.	Transpuesta por: Real Decreto 1997/1995, Ley 42/2007; Afectada por: Directiva 97/62/CE, Reglamento (CE) nº 1882/2003, Directiva 2006/105/CE.
DIRECTIVA 94/62/CE	Directiva 94/62/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 20 de diciembre de 1994 relativa a los envases y residuos de envases.	Transpuesta por: Ley 11/1997; Afectada por: Reglamento (CE) nº 1882/2003, Directiva 2004/12/CE, Directiva 2005/20/CE, Reglamento (CE) nº 219/2009.
DIRECTIVA 96/61/CE (derogada)	Directiva 96/61/CE del Consejo de 24 de septiembre de 1996 relativa a la prevención y al control integrados de la contaminación.	Transpuesta por: Ley 16/2002; Derogada por: Directiva 2008/1/CE (derogada por Directiva 2010/75/UE).
DIRECTIVA 1999/13/CE	Directiva 1999/13/CE del Consejo de 11 de marzo de 1999 relativa a la limitación de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles debidas al uso de disolventes orgánicos en determinadas actividades e instalaciones.	Transpuesta por: Real Decreto 117/2003; Afectada por: Reglamento (CE) nº 1882/2003, Directiva 2004/42/CE (transpuesta por: Real Decreto 227/2006), Directiva 2008/112/CE, Rectificación DO L 188 de 21.7.1999 p. 54, Rectificación DO L 165 de 21.6.2001 p. 66.
DIRECTIVA 1999/77/CE	Directiva 1999/77/CE de la Comisión de 26 de julio de 1999 por la que se adapta al progreso técnico por sexta vez el anexo I de la Directiva 76/769/CEE del Consejo relativa a la aproximación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas de los Estados miembros que limitan la comercialización y el uso de determinadas sustancias y preparados	Transpuesta por: Orden de 7 de diciembre de 2001.

	peligrosos (amianto) (Texto pertinente a efectos del EEE).	
DIRECTIVA 2000/14/CE	Directiva 2000/14/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 8 de mayo de 2000 relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros sobre emisiones sonoras en el entorno debidas a las máquinas de uso al aire libre.	Transpuesta por: Real Decreto 212/2002; Afectada por: Directiva 2005/88/CE, Reglamento (CE) nº 219/2009, Rectificación DO L 165 de 17.6.2006 p. 35.
DIRECTIVA 2001/42/CE	Directiva 2001/42/CE del Parlamento Europeo y del Consejo relativa a la evaluación de los efectos de determinados planes y programas en el medio ambiente.	Transpuesta por: Ley 9/2006.
DIRECTIVA 2002/49/CE	Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 25 de junio de 2002 sobre evaluación y gestión del ruido ambiental.	Transpuesta por: Ley 37/2003; Afectada por: Reglamento (CE) nº 1137/2008.
DIRECTIVA 2003/4/CE	Directiva 2003/4/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 28 de enero de 2003, relativa al acceso del público a la información medioambiental y por la que se deroga la Directiva 90/313/CEE del Consejo.	Transpuesta por: Ley 27/2006.
DIRECTIVA 2003/35/CE	Directiva 2003/35/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 26 de mayo de 2003 por la que se establecen medidas para la participación del público en la elaboración de determinados planes y programas relacionados con el medio ambiente y por la que se modifican, en lo que se refiere a la participación del público y el acceso a la justicia, las Directivas 85/337/CEE y 96/61/CE del Consejo.	Transpuesta por: Ley 27/2006; Afectada por: Directiva 2011/92/UE.
DIRECTIVA 2003/87/CE	Directiva 2003/87/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 13 de octubre de 2003 por la que se establece un régimen para el comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero en la Comunidad y por la que se modifica la Directiva 96/61/CE del Consejo.	Transpuesta por: Real Decreto-ley 5/2004; Afectada por: Directiva 2004/101/CE, Directiva 2008/101/CE, Reglamento (CE) nº 219/2009, Directiva 2009/29/CE.
DIRECTIVA 2004/35/CE	Directiva 2004/35/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 21 de abril de 2004 sobre responsabilidad medioambiental en relación con la prevención y reparación de daños medioambientales.	Transpuesta por: Ley 26/2007; Afectada por: Directiva 2006/21/CE, Directiva 2009/31/CE.
DIRECTIVA 2004/42/CE	Directiva 2004/42/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 21 de abril de 2004 relativa a la limitación de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV) debidas al uso de disolventes orgánicos en determinadas pinturas y barnices y en los productos de renovación del acabado de vehículos, por la que se modifica la Directiva 1999/13/CE.	Transpuesta por: Real Decreto 227/2006; Afectada por: Reglamento (CE) nº 1137/2008, Directiva 2008/112/CE, Directiva 2010/79/UE.
DECISIÓN 2005/370/CE	Decisión del Consejo de 17 de febrero de 2005 sobre la celebración, en nombre de la Comunidad Europea del Convenio sobre el acceso a la información, la participación del público en la toma de decisiones y el acceso de justicia en la toma de decisiones.	-
REGLAMENTO 715/2007	Reglamento (CE) nº 715/2007 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 20 de junio de 2007, sobre la homologación de tipo de los vehículos de motor por lo que se refiere a las emisiones procedentes de turismos y vehículos comerciales ligeros (Euro 5 y Euro 6) y sobre el acceso a la información relativa a la reparación y el mantenimiento de los vehículos (Texto pertinente a efectos del EEE)	Deroga: Directiva 2004/3, Directiva 2003/76, Directiva 2002/80, Directiva 2001/100, Directiva 2001/1, Directiva 1999/102, Directiva 1999/100, Directiva 98/69, Directiva 98/77, Directiva 96/69, Directiva 96/44, Directiva 94/12, Directiva 93/116, Directiva 93/59, Directiva 91/441, Directiva 89/458, Directiva 88/436, Directiva 88/76, Directiva 83/351, Directiva 80/1268, Directiva 78/665, Directiva 77/102, Directiva 74/290, Directiva 72/306, Directiva

		70/220; Afecta a: Directiva 2005/55, Directiva 70/156, Directiva 89/491; Afectada por: Reglamento 459/2012, Reglamento 566/2011, Reglamento 595/2009, Reglamento 692/2008.
DIRECTIVA 2007/46/CE	Directiva 2007/46/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 5 de septiembre de 2007, por la que se crea un marco para la homologación de los vehículos de motor y de los remolques, sistemas, componentes y unidades técnicas independientes destinados a dichos vehículos (Directiva marco) (Texto pertinente a efectos del EEE)	Deroga: Directiva 70/156; Traspuesta por: Real Decreto 866/2010, Orden ITC/1620/2008; Afectada por: Directiva 2013/15, Reglamento 195/2013, Reglamento 171/2013, Reglamento 143/2013, Reglamento 1230/2012, Reglamento 1229/2012, Corrección de errores en DOUE L 126, de 15 de mayo de 2012, Reglamento 65/2012, Reglamento 678/2011, Reglamento 582/2011, Reglamento 183/2011, Reglamento 371/2010, Directiva 2010/19, Reglamento 661/2009, Reglamento 595/2009, Reglamento 385/2009, Reglamento 79/2009, Reglamento 78/2009, Reglamento 1060/2008.
DIRECTIVA 2008/56/CE	Directiva 2008/56/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 17 de junio de 2008, por la que se establece un marco de acción comunitaria para la política del medio marino (Directiva marco sobre la estrategia marina).	Traspuesta por: Ley 41/2010.
DIRECTIVA 2008/98/CE	Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de noviembre de 2008, sobre los residuos y por la que se derogan determinadas Directivas.	Traspuesta por: Ley 22/2011.
REGLAMENTO 595/2009	Reglamento (CE) nº 595/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 18 de junio de 2009, relativo a la homologación de los vehículos de motor y los motores en lo concerniente a las emisiones de los vehículos pesados (Euro VI) y al acceso a la información sobre reparación y mantenimiento de vehículos y por el que se modifica el Reglamento (CE) nº 715/2007 y la Directiva 2007/46/CE y se derogan las Directivas 80/1269/CEE, 2005/55/CE y 2005/78/CE.	Deroga: Directiva 2005/78, Directiva 2005/55, Directiva 80/1269; Afecta a: Directiva 2007/46, Reglamento 715/2007; Afectada por: Reglamento 582/2011, Corrección de errores en DOUE L 200, de 31 de julio de 2009.
DIRECTIVA 2009/147/CE	Directiva 2009/147/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 30 de noviembre de 2009 relativa a la conservación de las aves silvestres (versión codificada).	No ha sido traspuesta a fecha 2/5/2013.
DIRECTIVA 2011/92/UE	Directiva 2011/92/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 13 de diciembre de 2011 relativa a la evaluación de las repercusiones de determinados proyectos públicos y privados sobre el medio ambiente (texto codificado).	No ha sido traspuesta a fecha 2/5/2013.
Nombre abreviado	Legislación española	Análisis jurídico
CONSTITUCIÓN ESPAÑOLA	Constitución Española.	-

RD 849/1986	Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, por el que se aprueba el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, que desarrolla los títulos preliminar I, IV, V, VI y VII de la Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas.	Desarrolla: Ley 29/1985; Afecta a: Real Decreto 2473/1985, Real Decreto de 14 de junio de 1883, Real Decreto de 9 de junio de 1886, Real Decreto de 5 de junio de 1883, Real Orden de 13 de diciembre de 1904, Decreto 1375/1972, Decreto 2021/1962, Decreto 144/1960, Decreto 134/1960, Decreto 133/1960, Decreto de 14 de noviembre de 1958, Real Decreto Ley de 7 de enero de 1927, Real Orden de 16 de agosto de 1895; Afectado por: Sentencia del TS de 7 de marzo de 2012, Real Decreto 367/2010, Real Decreto 9/2008, Real Decreto 1620/2007, Real Decreto 907/2007, Sentencia del TS de 18 de octubre de 2006, Sentencia del TS de 26 de enero de 2004, Sentencia del TS de 25 de enero de 2005, Real Decreto 606/2003, Resolución de 21 de noviembre de 2001, Real Decreto 995/2000, Real Decreto 1771/1994, Real Decreto 419/1993, Real Decreto 1315/1992, Sentencia 227/1988, Corrección de errores en BOE núm. 157; Desarrollado por: Orden de 12 de noviembre de 1987, Orden de 23 de diciembre de 1986.
RD 833/1988	Real Decreto 833/1988, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento para la ejecución de la Ley 20/1986, Básica de Residuos Tóxicos y Peligrosos.	Afectado por: Real Decreto 367/2010, Ley 10/1998, Real Decreto 952/1997, Real Decreto 1771/1994.
LEY 22/1988	Ley 22/1988, de 28 de julio, de Costas.	Afecta a: Ley 7/1980, Ley 55/1969, Ley 28/1969, Ley de centros y zonas de interés turístico nacional de 28 de diciembre de 1963, Ley de 28 de diciembre de 1957, Real Decreto-Ley de puertos de 19 de enero de 1928, Ley de 24 de julio de 1918, Ley de puertos de 7 de mayo de 1880, Ley general de obras publicas de 13 de abril de 1877; Afectada por: Recurso 4912/2013, Ley 2/2013, Sentencia 162/2012, Real Decreto 60/2011, Ley 25/2009, Ley 42/2007, Ley 13/2003, Ley 53/2002, Ley 16/2002, Resolución de 21 de noviembre de 2001, Resolución 9/2001, Resolución de 22 de octubre de 2001, Real Decreto-Ley 11/1995, Real Decreto 735/1993, Sentencia 149/1991; Desarrollada por: Real Decreto 1471/1989.
RD 927/1988	Real Decreto 927/1988, de 29 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de la Administración Pública del Agua y de la Planificación Hidrológica, en desarrollo de los títulos II y III de la Ley de Aguas.	Afecta a: Real Decreto 2473/1985, Real Decreto 1220/1983, Real Decreto 2383/1981, Orden de 7 de octubre de 1980, Ley 6/1980, Real Decreto 3029/1979, Orden de 30 de noviembre de 1979, Real Decreto 2419/1979, Real Decreto 2513/1978, Orden de 12 de marzo de 1977, Orden de 27 de abril de 1976, Orden de 19 de junio de 1973, Orden de 19 de junio de 1973, Orden de 26 de septiembre de 1967, Orden de 8 de mayo de 1965, Decreto de 24 de julio de 1955; Afectado por: Real Decreto 1383/2009, Real Decreto 907/2007, Sentencia 118/1998, Real Decreto 2068/1996, Real Decreto 1541/1994, Real Decreto 439/1994, Real Decreto 117/1992, Corrección de errores en BOE núm. 234.
RD 1131/1988	Real Decreto 1131/1988, de 30 de septiembre, por el que se aprueba el Reglamento para la ejecución del Real Decreto Legislativo 1302/1986, de 28 de junio, de Evaluación de Impacto Ambiental.	-

RD 1471/1989	Real Decreto 1471/1989, de 1 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento general para desarrollo y ejecución de la Ley 22/1988, de 28 de julio, de Costas.	Desarrolla: Ley 22/1988; Afecta a: Real Decreto 1156/1986, Real Decreto 2486/1980, Real Decreto 1088/1980, Decreto de 3 de julio de 1936, Decreto DE 23 de abril de 1935, Real Decreto de 19 de enero de 1928, Real Decreto de 22 de enero de 1926, Real Decreto de 6 de julio de 1877; Afectado por: Real Decreto 367/2010, Resolución de 21 de noviembre de 2001, Resolución de 22 de octubre de 2001, Real Decreto 268/1995, Real Decreto 1771/1994, Real Decreto 1112/1992, Sentencia 198/1991, Corrección de errores en BOE núm. 20.
RD 108/1991	Real Decreto 108/1991, de 1 de febrero, sobre la prevención y reducción de la contaminación del medio ambiente producida por el amianto.	Transpone: Directiva 87/217/CEE; Afectado por: Corrección de erratas en BOE núm. 43.
RD 1997/1995	Real Decreto 1997/1995, de 7 de diciembre, por el que se establecen medidas para contribuir a garantizar la biodiversidad mediante la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres.	Transpone: Directiva 92/43/CEE; Afectada por: Ley 42/2007, Real Decreto 1421/2006, Sentencia del TS de 15 de marzo de 1999, Real Decreto 1193/1998, Corrección de erratas en BOE núm. 129.
LEY 11/1997	Ley 11/1997, de 24 de abril, de Envases y Residuos de Envases.	Transpone: Directiva 94/62/CE; Deroga: Real Decreto 319/1991; Afectada por: Ley 22/2011, Ley 9/2006, Real Decreto 252/2006, Resolución de 21 de noviembre de 2001, Ley 14/2000, Ley 50/1998, Ley 10/1998, Ley 66/1997; Desarrollada por: Real Decreto 782/1998.
RD 782/1998	Real Decreto 782/1998, de 30 de abril, por el que se aprueba el Reglamento para el desarrollo y ejecución de la Ley 11/1997, de 24 de abril, de Envases y Residuos de Envases.	Desarrolla: Ley 11/1997; Afectada por: Real Decreto 367/2010, Orden MAM/3624/2006, Real Decreto 252/2006.
RDL 1/2001	Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas.	Afecta a: Ley 11/1999, Ley 13/1996, Ley 9/1996, Ley 42/1994, Ley 29/1985, Ley 46/1999; Afectada por: Real Decreto-Ley 17/2012, Recurso 6523/2011, Recurso 6478/2011, Recurso 6363/2011, Real Decreto-Ley 12/2011, Real Decreto-Ley 8/2011, Ley 25/2009, Ley 42/2007, Real Decreto-Ley 4/2007, Ley 11/2005, Ley 62/2003, Ley 13/2003, Ley 53/2002, Ley 16/2002, Ley 24/2001, Resolución de 21 de noviembre de 2001, Corrección de errores de 30 de noviembre de 2001, Recurso 5493/2001.
ORDEN 7 diciembre 2001	Orden de 7 de diciembre de 2001 por la que se modifica el anexo I del Real Decreto 1406/1989, de 10 de noviembre, por el que se imponen limitaciones a la comercialización y al uso de ciertas sustancias y preparados peligrosos.	Transpone: Directiva 99/77/CE; Afecta a: Real Decreto 1406/1989.
RD 212/2002	Real Decreto 212/2002, de 22 de febrero, por el que se regulan las emisiones sonoras en el entorno debidas a determinadas máquinas de uso al aire libre.	Transpone: Directiva 2000/14/CE; Afecta a: Real Decreto 245/1989; Afectado por: Real Decreto 524/2006.
LEY 16/2002	Ley 16/2002, de 1 de julio, de Prevención y Control Integrados de la Contaminación.	Transpone: Directiva 96/61/CE; Afecta a: Real Decreto Legislativo 1/2001, Ley 10/1998, Ley 4/1998, Real Decreto 1217/1997, Real Decreto 1088/1992, Real Decreto 258/1989, Ley 22/1988, Orden de 12 de noviembre de 1987, Ley 38/1972; Afectada por: Real Decreto-Ley 8/2011, Ley 40/2010, Ley 42/2007, Ley 34/2007, Ley 27/2006, Ley 1/2005, Real Decreto-Ley 5/2004; Desarrollada por: Real Decreto 509/2007.

RD 117/2003	Real Decreto 117/2003, de 31 de enero, sobre limitación de emisiones de compuestos orgánicos volátiles debidas al uso de disolventes en determinadas actividades.	Transpone: Directiva 99/13/CE; Afectado por: Real Decreto 1436/2010, Real Decreto 795/2010, Real Decreto 367/2010, Real Decreto 227/2006, Corrección de errores erratas en BOE núm. 79.
LEY 37/2003	Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido.	Transpone: Directiva 2002/49/CE; Afectada por: Real Decreto-Ley 8/2011; Desarrollada por: Real Decreto 1367/2007, Real Decreto 1513/2005.
RD-L 5/2004	Real Decreto-ley 5/2004, de 27 de agosto, por el que se regula el régimen del comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero.	Transpone: Directiva 2003/87/CE; Afecta a: Ley 16/2002.
RD 9/2005	Real Decreto 9/2005, de 14 de enero, por el que se establece la relación de actividades potencialmente contaminantes del suelo y los criterios y estándares para la declaración de suelos contaminados.	-
RD 1513/2005	Real Decreto 1513/2005, de 16 de diciembre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a la evaluación y gestión del ruido ambiental.	Transpone: Directiva 2002/49/CE; Desarrolla la: Ley 37/2003; Afectado por: Real Decreto 1367/2007.
RD 227/2006	Real Decreto 227/2006, de 24 de febrero, por el que se complementa el régimen jurídico sobre la limitación de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles en determinadas pinturas y barnices y en productos de renovación del acabado de vehículos.	Transpone: Directiva 2004/42/CE; Afecta: Real Decreto 117/2003; Afectado por: Real Decreto 1436/2010, Corrección de errores en BOE núm. 118.
RD 314/2006	Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación.	Afecta a: Real Decreto 2177/1996, Orden de 5 de julio de 1996, Real Decreto 1829/1995, Real Decreto 1723/1990, Real Decreto 1572/1990, Real Decreto 1370/1988, Real Decreto 2816/1982, Real Decreto 2429/1979, Real Decreto 1650/1977, Orden de 9 de diciembre de 1975; Afectado por: Sentencia del TS de 4 de mayo de 2010, Real Decreto 410/2010, Real Decreto 173/2010, Orden VIV/984/2009, Corrección de errores y erratas en BOE núm. 22, Real Decreto 1371/2007.
LEY 9/2006	Ley 9/2006, de 28 de abril, sobre evaluación de los efectos de determinados planes y programas en el medio ambiente.	Transpone: Directiva 2001/42/CE; Afecta a: Ley 11/1997, Real Decreto Legislativo 1302/1986; Afectada por: Real Decreto Legislativo 1/2008.
RD 679/2006	Real Decreto 679/2006, de 2 de junio, por el que se regula la gestión de los aceites industriales usados.	Afecta: Orden de 28 de febrero de 1989; Afectado por: Orden ARM/795/2011, Real Decreto 367/2010, Real Decreto 106/2008.
LEY 27/2006	Ley 27/2006, de 18 de julio, por la que se regulan los derechos de acceso a la información, de participación pública y de acceso a la justicia en materia de medio ambiente (incorpora las Directivas 2003/4/CE y 2003/35/CE).	Transpone: Directiva 2003/35/CE, Directiva 2003/4/CE; Afecta a: Ley 38/1995, Ley 16/2002, Real Decreto Legislativo 1302/1986; Afectada por: Real Decreto Legislativo 1/2008.
RD 1370/2006	Real Decreto 1370/2006, de 24 de noviembre, por el que se aprueba el Plan Nacional de Asignación de derechos de emisión de gases de efecto invernadero, 2008-2012.	Afectado por: Sentencia del TS de 9 de marzo de 2010, Sentencia del TS de 4 de marzo de 2010, Orden PRE/2827/2009, Real Decreto 1402/2007, Real Decreto 1030/2007.
RD 509/2007	Real Decreto 509/2007, de 20 de abril, por el que se aprueba el Reglamento para el desarrollo y ejecución de la Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación.	Desarrolla: Ley 16/2002; Afecta a: Real Decreto 1383/2002, Decreto 833/1975; Afectado por: Real Decreto 367/2010.

RD 1367/2007	Real Decreto 1367/2007, de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas.	Desarrolla: Ley 37/2003; Afecta a: Real Decreto 1513/2005; Afectado por: Sentencia del TS de 20 de julio de 2010.
LEY 26/2007	Ley 26/2007, de 23 de octubre, de Responsabilidad Medioambiental.	Transpone: Directiva 2004/35/CE; Afectada por: Real Decreto-Ley 8/2011; Desarrollada parcialmente por: Real Decreto 2090/2008.
LEY 34/2007	Ley 34/2007, de 15 de noviembre, de calidad del aire y protección de la atmósfera.	Deroga: Ley 38/1992, Decreto 2414/1961, Ley 38/1972, Decreto 833/1975; Modifica: Ley 21/2001, Ley 10/1998, Ley 14/2000, Ley 16/2002, Ley 16/2007, Ley 19/1988; Afectada por: Real Decreto-Ley 8/2011, Real Decreto Legislativo 1/2011, Real Decreto 102/2011, Real Decreto 100/2011, Ley 51/2007.
LEY 42/2007	Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad.	Transpone: Directiva 79/409/CEE, Directiva 92/43/CEE; Afecta: Ley 10/2006, Ley 4/1989, Real Decreto 1997/1995, Ley 1/1970, Real Decreto 506/1971, Ley 22/1988, Real Decreto Legislativo 1/2001, Ley 16/2002; Afectada por: Real Decreto-Ley 17/2012, Real Decreto-Ley 8/2011, Ley 25/2009, Recurso 6868/2008, Recurso 2155/2008, Recurso 2124/2008, Corrección de errores en BOE núm. 36 de 11 de febrero de 2008.
RDL 1/2008	Real Decreto Legislativo 1/2008, de 11 de enero, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Evaluación de Impacto Ambiental de proyectos.	Afecta a: Ley 27/2006, Ley 9/2006, Ley 62/2003, Ley 6/2001, Real Decreto-Ley 9/2000, Ley 54/1997, Ley 4/1989, Real Decreto Legislativo 1302/1986; Afectado por: Ley 40/2010, Ley 6/2010.
RD 105/2008	Real Decreto 105/2008, de 1 de febrero, por el que se regula la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición.	Afecta a: Real Decreto 1481/2001.
RD 2090/2008	Real Decreto 2090/2008, de 22 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de desarrollo parcial de la Ley 26/2007, de 23 de octubre, de Responsabilidad Medioambiental.	Desarrolla: Ley 26/2007; Afectada por: Corrección de errores en BOE núm. 73.
LEY 41/2010	Ley 41/2010, de 29 de diciembre, de protección del medio marino.	Transpone: Directiva 2008/56/CE.
RD 100/2011	Real Decreto 100/2011, de 28 de enero, por el que se actualiza el catálogo de actividades potencialmente contaminadoras de la atmósfera y se establecen las disposiciones básicas para su aplicación.	Afecta a: Orden de 18 de octubre de 1976, Decreto 833/1975, Ley 34/2007; Afectado por: Corrección de errores en BOE núm. 83.
RD 139/2011	Real Decreto 139/2011, de 4 de febrero, para el desarrollo del Listado de Especies Silvestres en Régimen de Protección Especial y del Catálogo Español de Especies Amenazadas.	Afecta a: Orden MAM/1498/2006, Orden MAM/2231/2005, Orden MAM/2784/2004, Orden MAM/1653/2003, Orden MAM/2734/2002, Orden de 28 de mayo de 2001, Orden de 10 de marzo de 2000, Orden de 9 de junio de 1999, Orden de 9 de julio de 1998, Orden de 29 de agosto de 1996, Real Decreto 439/1990; Afectada por: Orden AAA/75/2012, Conflicto 3769/2011, Corrección de errores en BOE núm. 76.
LEY 22/2011	Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados.	Transpone: Directiva 2008/98/CE; Afecta a: Orden MAM/2192/2005, Ley 10/1998, Ley 11/1997; Afectada por: Real Decreto-Ley 17/2012, Cuestión 1066/2012.

LEY 2/2013	Ley 2/2013, de 29 de mayo, de protección y uso sostenible del litoral y de modificación de la Ley 22/1988, de 28 de julio, de Costas.	Afecta a: Real Decreto Legislativo 2/2011, Ley 22/1988.
------------	---	---

Anexo C

Impacto social

El presente anexo incluye:

- Una explicación y justificación de los criterios, subcriterios e indicadores definidos especialmente para la metodología mediante un análisis de la legislación española, autonómica y local, de manuales de calidad de las obras en ciudad, etc. y entrevistas a expertos (quinta ronda de entrevistas). También se comentan, para algunos indicadores, futuras líneas de investigación.
- Una tabla donde se lista la legislación española, autonómica y local sobre impacto social consultada acompañada de un análisis jurídico (tabla C.21).

C.1. CRITERIOS, SUBCRITERIOS E INDICADORES DE IMPACTO SOCIAL CONSIDERADOS

C.1.1. Afectación a servicios

C.1.1.1. Servicios de suministro y evacuación a garantizar

A efectos de la presente metodología, los servicios de:

Agua potable
Alcantarillado
Distribución de frío y calor
Electricidad
Gas
Recogida neumática de residuos
Tecnologías de la información y comunicación (TIC): telefonía, internet, fibra óptica, etc.

se consideran servicios a garantizar, ya que un corte prolongado en alguno de ellos podría suponer perjuicios y pérdidas económicas para los vecinos y comercios de la zona.

Se considera la afección a todos los tipos de red de alcantarillado, ya sea unitaria o separativa (saneamiento y drenaje). En caso de red separativa, si se desvía un alcantarillado de drenaje, los hogares no van a tener problemas de evacuación de aguas, pero sí que existe riesgo de inundación en la calle en época de lluvias que, aunque no afecte directamente a las viviendas u otros edificios, es un problema social.

El servicio de recogida de residuos se considera un servicio de evacuación a garantizar. Sin embargo, los dos sistemas de recogida estudiados se han considerado en distintos subcriterios por los siguientes motivos:

- La recogida neumática de residuos se incluye dentro del presente subcriterio porque, por su configuración de conducciones subterráneas, se asemeja a los otros servicios de suministro y evacuación a garantizar. La afección a una conducción puede significar la afección a varios puntos de recogida neumática y, por lo tanto, a un elevado número de personas.

- Los contenedores de basura o reciclaje se han incluido dentro del subcriterio afección a servicios públicos desplazables porque son un elemento urbano desplazable cuyo desplazamiento no supone una afección muy fuerte ni a un número muy elevado de personas. Se trata de un sistema más flexible que la recogida neumática.

Además de los anteriores servicios, algunas ciudades disponen de una red de aguas freáticas o una red de riegos, utilizadas para el riego fijo o móvil de los espacios verdes de la ciudad o para la limpieza de calles, consiguiendo un ahorro en el consumo de agua potable. Estas redes no se incluyen en el presente indicador, pues su afección no supone un impacto social directo a los ciudadanos, ya que son los servicios municipales quienes utilizan el agua de estas redes y no los ciudadanos.

En el borrador del Manual de qualitat de les obres a la ciutat de Barcelona (Ajuntament de Barcelona, 2013) se indican los elementos de las distintas redes que pueden resultar afectados por la obra y las actuaciones a realizar en función de la duración de la afectación.

Aunque se realicen distintas actuaciones, solamente se produce un impacto social cuando el usuario sufre un corte en el servicio. Si es necesario desviar o reponer un servicio debido a las obras, pero ello no supone ningún corte, no se genera afectación social. El desvío o reposición de un servicio sí que tiene una repercusión económica, que influye en el coste y queda recogido en su indicador.

Los cortes en los servicios pueden estar previstos en la planificación de obra o producirse de manera accidental y, por tanto, ser imprevistos. En los cortes de servicios previstos se avisa a la población con antelación de forma que las personas pueden tomar medidas para que el corte les afecte en el menor grado posible.

Se define, para la presente metodología, el indicador de impacto social de los cortes previstos como:

El sumatorio, para los servicios de suministro y evacuación a garantizar afectados por las distintas fases de obra, del tiempo de corte previsto multiplicado por el número de personas afectadas y por el grado de afección del servicio cortado.

En caso de no conocer el número de personas a los que suministra el servicio afectado, no se incluye este dato en el indicador. El grado de afección del servicio cortado es la importancia que el servicio tiene para la sociedad y depende de la frecuencia de uso y de la magnitud de los inconvenientes causados en caso de no disponer del mismo. Los expertos entrevistados realizaron una asignación directa de importancia a los servicios considerando los anteriores factores. Los expertos asignaron la mayor importancia a la electricidad, pues, en la actualidad, prácticamente todos los electrodomésticos dependen de esta energía para funcionar. El segundo servicio en importancia considerado fue el alcantarillado, porque su corte implica no poder evacuar agua, embozos, malos olores e incluso inundación. También implica no poder utilizar agua potable. En tercer lugar y con la misma importancia se consideran la distribución de frío y calor y el gas. El primero porque entre sus usuarios se encuentran empresas cuyas cámaras frigoríficas funcionan gracias a esta red y, en caso de fallo, no disponen de un sistema alternativo. El gas porque también se utiliza

como sistema de climatización en hogares y empresas, además de para cocinar. La menor importancia asignada fue para el agua potable, la recogida neumática de residuos y las TIC. En el caso del agua potable debido a que, en caso de corte, es posible comprar garrafas, y en el caso de la recogida neumática de residuos, es posible establecer temporalmente un sistema de recogida alternativo. En la tabla C.1 se muestra esta asignación de importancias entre los servicios.

Tabla C.1. Coeficiente de importancia de los servicios de suministro y evacuación a garantizar.

Servicios de suministro y evacuación a garantizar	Coeficiente de importancia
Agua potable	1
Alcantarillado	3
Distribución de frío y calor	2
Electricidad	5
Gas	2
Recogida neumática de residuos	1
TIC	1

Los cortes imprevistos pueden suponer un impacto social mayor que los previstos ya que las personas no lo esperan y no se preparan para ello, además de que pueden presentar una mayor dificultad de solución. El riesgo de afectar un servicio de forma imprevista puede ser debido a varios motivos:

- Desvío de una gran cantidad de servicios: por el simple hecho de manipular un servicio, se corre riesgo de afectarlo.
- Trabajos cercanos a una zona con un número elevado de servicios: aunque no se tengan que desplazar, existe riesgo de producir un problema. Por ejemplo, en el intercambiador de Arco de Triunfo de Barcelona existen más de 20 líneas eléctricas de media tensión conectadas a subestación eléctrica. Si se realiza una obra allí, la probabilidad de romper alguna línea es importante.
- Servicio no indicado en el plano de servicios o indicado en una posición equivocada.

En Gangoells *et al.* (2011), dentro de incidentes, accidentes y situaciones potenciales de emergencia, se define el indicador para la rotura de tuberías subterráneas medido como la superficie de suelo ocupada por la obra.

Intentando recoger las dos primeras situaciones descritas en que se puede producir una rotura de un servicio, se define, a efectos de la presente metodología, el indicador de impacto social por riesgo de afección imprevista a los servicios:

Sumatorio, para los distintos servicios, del tiempo que dura una actividad de obra con riesgo de afectar al servicio multiplicado por el número de personas que se verían afectadas en caso de corte imprevisto, por el grado de afección que ello supondría y por el tiempo que se tardaría en restaurar el servicio.

Se considera que una actividad de obra tiene riesgo de afectar a un servicio si se excava, demuele o se realizan trabajos similares a una distancia igual o inferior a 2

metros del servicio incluyendo los trabajos de desvío de servicios. Se utiliza como referencia 2 metros ya que es más probable romper un servicio si se trabaja con maquinaria que con herramientas mecánicas o manuales y a distancias entre 1 y 2 metros de los servicios se suele trabajar con maquinaria.

En caso de no conocer el número de personas a los que suministra el servicio afectado, no se incluye este dato en el indicador. El grado de afección de cortar un servicio se expresa mediante los coeficientes de importancia de la tabla C.1. De la tabla C.2 se puede obtener una estimación de los tiempos de restauración de algunos servicios proporcionados por las compañías.

Tabla C.2. Tiempos aproximados de restauración de algunos servicios de suministro a garantizar.

Servicios de suministro y evacuación	Tiempo de restauración del servicio (h)	Número promedio de afectados
Agua potable ¹	2,7	-
Electricidad ²	minutos	-
Gas ³	2,4	434

¹ Información facilitada por la empresa Agbar (Aigües de Barcelona) calculada como media anual del año 2013 del tiempo que las acometidas han estado fuera de servicio.

² Información facilitada por Endesa.

³ Información facilitada por Gas Natural como media de las 101 roturas producidas en 2013 a toda España, en redes de presión máxima de operación (MOP) < 5 bares.

Para el presente subcriterio se han definido dos indicadores, uno para los cortes previstos y otro para los posibles cortes imprevistos. Para cada indicador se obtiene su correspondiente Impacto Social (ecuación 7.2 o 7.3). Para obtener el valor del impacto social del subcriterio (Imp. social_{1.1}) se realiza una suma ponderada del valor del impacto social de cada indicador (Imp. social_{1.1.1} y Imp. social_{1.1.2}) utilizando los pesos de la tabla 4.7 asignados por expertos. En general, los pesos de la tabla son suficientes pero, si se desea, se pueden acabar de ajustar a las condiciones reales teniendo en cuenta los datos que se conocen en los dos indicadores que son, en principio: el tiempo que se tarda en restaurar el servicio, el número de personas afectadas por el corte y el grado de afección del servicio cortado.

En el caso que todas las alternativas estudiadas solamente tengan afección a cortes previstos o a cortes imprevistos, el impacto del subcriterio es el impacto del indicador distinto de cero, no hay que ponderar por el indicador nulo, ya que no es discriminante entre alternativas.

C.1.1.2. Servicios públicos desplazables o prescindibles

A efectos de la presente metodología, se consideran los siguientes servicios públicos desplazables o prescindibles:

- Aparatos gimnásticos en espacios públicos
- Áreas para perros
- Bancos colectivos o individuales

Buzones de correo
Cabinas de teléfono
Contenedores de basura o reciclaje
Elementos deportivos y de ocio: canastas, mesas de ping pong, zona para jugar a la petanca, mesas y bancos de picnic, etc.
Fuentes de agua
Juegos infantiles
Lavabos públicos fijos
Mobiliario urbano en zonas de litoral
Papeleras
Puntos de carga eléctrica de vehículos
Puntos de luz
Puntos de recogida de desechos de comercios
Otros

Se consideran servicios públicos desplazables o prescindibles no porque sean prescindibles todos los elementos funcionales que forman parte del servicio de una ciudad o área urbana, sino porque se pueden desplazar una distancia razonable sin que ello cause grandes perjuicios, es decir, es prescindible que el elemento funcional esté situado en un punto exacto o incluso es prescindible algún elemento funcional de forma temporal.

Según el borrador del Manual de qualitat de les obres a la ciutat de Barcelona (Ajuntament de Barcelona, 2013), la afectación a los elementos urbanos tiene que estar prevista en proyecto. Si no se prevé su sustitución en proyecto, los elementos afectados deben ser retirados y almacenados para volver a colocarlos una vez finalizada la obra. En caso de afectación a puntos de luz fuera de calzada, hay que garantizar los niveles lumínicos y la uniformidad que permitan la visibilidad en todo el entorno de la obra, poniendo especial atención en los itinerarios de peatones.

Se define como indicador del impacto social debido a la afectación a los servicios públicos desplazables o prescindibles:

El sumatorio, para los distintos elementos funcionales afectados en las distintas fases de obra, del tiempo que dura la afección multiplicado por el grado de afección.

Se considera un elemento funcional a la unidad más pequeña de los servicios desplazables listados más arriba que ofrece un servicio por sí sola. Por ejemplo, se considera un elemento funcional: un aparato gimnástico, un contenedor, una canasta, una mesa de picnic con sus dos bancos, un juego infantil, un punto con lavabos, etc. A veces, estos elementos están situados en un espacio verde, en estos casos se cuentan, por un lado, los metros cuadrados de espacio verde afectado (subcriterio 1.6 de espacios verdes) y, por el otro, el número de elementos afectados en el presente indicador.

El grado de afección es la importancia del elemento funcional multiplicado por un coeficiente según el tipo de afección causado por la obra al elemento funcional.

La importancia del elemento funcional es la importancia del elemento en sí mismo según el servicio que preste e independientemente del entorno en el que se encuentre.

Se considera que no todos los servicios públicos desplazables o prescindibles tienen la misma importancia. En la tabla C.3 se muestra una asignación de pesos o importancia de los elementos funcionales realizada por expertos.

Tabla C.3. Coeficiente de importancia de los distintos elementos funcionales según el servicio que prestan.

Servicios públicos desplazables o prescindibles	Coeficiente de importancia
Aparatos gimnásticos en espacios públicos	1
Áreas para perros	1
Bancos colectivos o individuales	1
Buzones de correo	1
Cabinas de teléfono	1
Contenedores de basura o reciclaje	2
Elementos deportivos y de ocio: canastas, mesas de ping pong, petancas, mesas y bancos de picnic, etc.	1
Fuentes de agua	1
Juegos infantiles	1
Lavabos públicos fijos	1
Mobiliario urbano en zonas de litoral	1
Papeleras	1
Puntos de carga eléctrica de vehículos	1
Puntos de luz	1
Puntos de recogida de desechos de comercios	2

Esta asignación de pesos es una primera aproximación para cuantificar la importancia del servicio que ofrecen los distintos elementos funcionales en la que se ha querido destacar la función y frecuencia de uso de los contenedores de basura y reciclaje y de los puntos de recogida de desechos de comercios respecto al resto de elementos funcionales. En un futuro se puede realizar otra asignación de pesos más variada y más ajustada entre los distintos elementos.

Los elementos funcionales afectados por la obra pueden desplazarse o anularse, lo que generaría un impacto social mayor. En la tabla C.4 se presenta el coeficiente de afección que recoge estas dos situaciones.

Tabla C.4. Definición de los coeficientes de afección según el tipo de afección causado por la obra a los elementos funcionales.

Tipo de afección a los elementos funcionales	Coeficiente de afección
Desplazamiento	1
Anulación	2

Se planteó la posibilidad de incluir en el indicador el número de personas que utilizan el elemento funcional pero como, en general, se desconoce este dato, finalmente se descartó su inclusión.

C.1.1.3. Tiempo sin la prestación del servicio que se está construyendo (no relacionado con la movilidad)

Como se ha visto, el plazo está incluido dentro de la seguridad y salud de los trabajadores (el Índice de Riesgo Laboral de cada actividad se obtienen multiplicando las consecuencias y probabilidad de ocurrencia de un accidente por el tiempo de exposición al riesgo), del impacto ambiental (muchos impactos son proporcionales al tiempo que dura la ejecución de la obra), del resto de impactos sociales (a mayor duración de la afección, mayor impacto social) y del coste (a mayor duración de la obra, mayor coste). Solamente hay un concepto por el que el plazo no está incluido en el resto de indicadores, que es la urgencia por empezar a utilizar la obra que se está construyendo. Esta situación ocurre cuando ciertas condiciones sociales han cambiado y hacen que la obra sea necesaria. Por ejemplo, si se produce un aumento en la población de un municipio por encima de la capacidad de su depuradora, escuela, hospital, etc. y se hace necesaria la ampliación o la construcción de un nuevo servicio. En estos casos se tendría que considerar el plazo como un criterio más.

En el caso de que una infraestructura o servicio necesario existiera previamente y por algún motivo imprevisto o accidental dejase de ser funcional (terremoto, avenida, alud de tierras, etc.) el plazo sería un factor muy importante ya que se intentaría reconstruir la obra o solucionar el problema en el menor tiempo posible. Sin embargo, al tratarse de una obra de emergencia, no se aplicaría la metodología.

Por lo tanto, se incluye el criterio plazo cuando, en una obra que no es de emergencia, existe cierta necesidad de poner en funcionamiento en el menor tiempo posible la infraestructura o servicio que ofrece la obra terminada.

En el presente subcriterio se consideran únicamente las obras que una vez terminadas prestarán un servicio no relacionado con la movilidad de las personas o mercancías. El tiempo para las obras de movilidad se considera en el subcriterio 2.6. Se procede de esta forma para ser coherentes con los pesos asignados al criterio 1. Afectación a servicios, que incluye todos los servicios excepto los relacionados con la movilidad y al criterio 2. Afectación a la movilidad, que, como su nombre indica, incluye solamente los servicios de movilidad.

Se define el indicador del tiempo sin la prestación del servicio que se está construyendo no relacionado con la movilidad como:

El tiempo desde el inicio de la obra hasta que ésta puede empezar a utilizarse.

Para la definición del presente indicador se ha supuesto que todas las alternativas constructivas comparadas en la metodología construyen una obra que dará servicio al mismo número de personas, independientemente de la alternativa constructiva. En caso de que las distintas alternativas constructivas dieran lugar a obras que ofrecieran un servicio a distinto número de personas, el indicador se definiría de la siguiente forma:

El tiempo desde el inicio de la obra hasta que ésta puede empezar a utilizarse multiplicado por el número de personas a las que dará servicio la obra terminada.

En la asignación de pesos al presente criterio se ha tenido en cuenta que el peso debe reflejar solamente la importancia de empezar a utilizar la obra terminada lo más pronto posible, pues la importancia del plazo por otros conceptos ya está incluida en los otros criterios y subcriterios.

C.1.1.4. Centros de alta sensibilidad

A efectos de la presente metodología, se incluyen dentro de los centros de alta sensibilidad:

- Hospitales y clínicas
- Centros de atención primaria
- Guarderías
- Escuelas
- Institutos
- Universidades
- Otros centros educativos
- Bibliotecas
- Hogar del jubilado
- Residencias de ancianos
- Iglesias y otros centros de culto religioso
- Patrimonio
- Sede y delegaciones de la Administración local, autonómica y estatal
- Otras Administraciones públicas
- Centros de investigación
- Establecimientos penitenciarios
- Otros

Hay que resaltar que en el presente subcriterio únicamente se incluye el patrimonio a efectos de afección a las personas que lo visitan. La afección física que la obra puede tener directamente al patrimonio se recoge en el subcriterio 1.9 que es específico para dicha afección.

Las personas en los centros de alta sensibilidad se pueden ver afectadas principalmente por las molestias causadas por la emisión de contaminantes de la obra incluyendo la contaminación acústica y vibraciones, la generación de polvo y la emisión de contaminantes atmosféricos y por la dificultad de accesibilidad a dichos centros.

Los efectos del ruido y las vibraciones sobre los trabajadores de la obra ya se han tratado en el Capítulo 5 de riesgos laborales. La generación de ruido desde un punto de vista de las emisiones sobre el medioambiente se ha considerado en el Capítulo 6. En el presente subcriterio y en los dos siguientes se tratan los efectos del ruido, junto con otras molestias ocasionadas por la obra, desde el punto de vista de los receptores externos a la obra: las personas y actividades que se desarrollan en su entorno.

Según un experto entrevistado, la contaminación acústica es más importante en un entorno urbano que en un entorno rural. Una obra que produzca un ruido muy elevado

en una zona urbana puede invalidar el proceso. En cuanto a los horarios de trabajo, en un ambiente rural, si no se puede cumplir el plazo trabajando solamente de día, se puede trabajar 24 horas al día, es decir, se puede contar que el tiempo nocturno es holgura. En un ambiente urbano, esto no siempre es posible y puede ser necesario alargarse en el tiempo.

El borrador del Manual de qualitat de les obres a la ciutat de Barcelona (Ajuntament de Barcelona, 2013) fija el horario de trabajo de las obras de lunes a viernes de 8 a 21 horas (de 8 a 20 horas para la maquinaria) excepto para las obras de servicios y canalizaciones, que se realizan de 8 a 18 horas. Solamente en casos especiales por su gravedad, complejidad o urgencia se pueden variar estos horarios previa autorización del Ayuntamiento.

Para la presente metodología se considera que todos los centros de alta sensibilidad tienen la misma importancia. Como futuras líneas de investigación se podría definir una metodología objetiva que permitiera diferenciar entre centros de alta sensibilidad, según la importancia que tiene para la sociedad el servicio que ofrecen.

Se define el indicador del impacto social provocado por la afección a centros de alta sensibilidad como:

El sumatorio, para los distintos centros de alta sensibilidad y sus actividades afectadas por las distintas fases de obra, del tiempo de afección multiplicado por la ocupación del centro y por el grado de afección.

Para determinar los centros de alta sensibilidad que se ven afectados por la obra hay que realizar una visita in situ con un plano y anotar, para cada centro, su uso y su dirección. Únicamente se consideran afectados por la obra los centros situados a una distancia igual o inferior a 50 metros del perímetro exterior de la obra. A efectos de la presente metodología, se denomina zona de influencia de la obra a la zona de ocupación de la obra más una franja de 50 metros contados a partir del perímetro exterior de la obra (figura C.1). La zona de influencia de la obra puede variar con las distintas fases de obra, si la ocupación de la obra cambia.

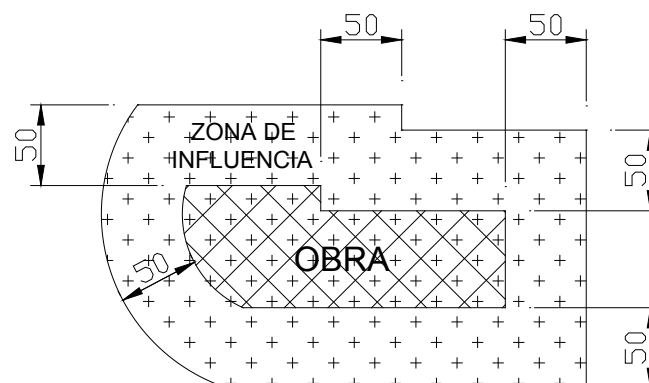


Figura C.1. Ocupación de la obra en planta y su zona de influencia.

Para determinar el tiempo de afección hay que tener en cuenta el horario de trabajo de las obras. Si la obra consta de fases con distintas ocupaciones, se contabiliza, para

cada centro, el tiempo de las fases en que la totalidad o parte del centro está dentro de la zona de influencia de la obra.

La ocupación del centro se puede obtener a partir de la densidad de ocupación según el uso, definida en el Documento Básico de Seguridad en caso de Incendio del Código Técnico de la Edificación (tabla C.5) y de la superficie útil de cada zona. La superficie del local puede obtenerse del catastro (www.sedecatastro.gob.es) a partir de su dirección, que se anota en la visita in situ.

Las densidades de la tabla son aplicables salvo cuando sea previsible una ocupación mayor o bien cuando sea exigible una ocupación menor en aplicación de alguna disposición legal de obligado cumplimiento como puede ser en el caso de establecimientos hoteleros, docentes, hospitales, etc. En aquellos recintos o zonas no incluidos en la tabla se deben aplicar los valores correspondientes que sean más asimilables.

Tabla C.5. Densidad de ocupación del Documento Básico de Seguridad en caso de Incendio del Código Técnico de la Edificación publicado en el Real Decreto 314/2006.

Uso previsto	Zona, tipo de actividad	Ocupación (m ² /persona)
Cualquiera	Zonas de ocupación ocasional y accesibles únicamente a efectos de mantenimiento: salas de máquinas, locales para material de limpieza, etc.	Ocupación nula
	Aseos de planta	3
Residencial Vivienda ¹	Plantas de vivienda	20
Residencial Público	Zonas de alojamiento	20
	Salones de uso múltiple	1
	Vestíbulos generales y zonas generales de uso público en plantas de sótano, baja y entreplanta	2
Aparcamiento ²	Vinculado a una actividad sujeta a horarios: comercial, espectáculos, oficina, etc.	15
	En otros casos	40
Administrativo ¹	Plantas o zonas de oficinas	10
	Vestíbulos generales y zonas de uso público	2
Docente ¹	Conjunto de la planta o del edificio	10
	Locales diferentes de aulas, como laboratorios, talleres, gimnasios, salas de dibujo, etc.	5
	Aulas (excepto de escuelas infantiles)	1,5
	Aulas de escuelas infantiles y salas de lectura de bibliotecas	2
Hospitalario	Salas de espera	2
	Zonas de hospitalización ¹	15
	Servicios ambulatorios y de diagnóstico	10
	Zonas destinadas a tratamiento de pacientes internados	20
Comercial	En establecimientos comerciales:	
	Áreas de ventas en plantas de sótano, baja y entreplanta	2
	Áreas de ventas en plantas diferentes de las anteriores	3
	En zonas comunes de centros comerciales:	
	Mercados y galerías de alimentación	2
	Plantas de sótano, baja y entreplanta o en cualquier otra con acceso desde el espacio exterior	3
	Plantas diferentes de las anteriores	5
En áreas de venta dónde no sea previsible gran afluencia	5	

	de público, tales como exposición y venta de muebles, vehículos, etc.	
Pública concurrancia	Zonas destinadas a espectadores sentados:	
	Con asientos definidos en el proyecto	1 pers/asiento
	Sin asientos definidos en el proyecto	0,5
	Zonas de espectadores de pie	0,25
	Zona de público en discotecas	0,5
	Zonas de público de pie, en bares, cafeterías, etc.	1
	Zonas de público en gimnasios:	
	Con aparatos	5
	Sin aparatos	1,5
	Piscinas públicas:	
	Zonas de baño (superficie de los vasos de las piscinas)	2
	Zonas de estancia de público en piscinas descubiertas	4
	Vestuarios	3
	Salones de uso múltiple en edificios para congresos, hoteles, etc.	1
	Zonas de público en restaurantes de "comida rápida", (por ejemplo: hamburgueserías, pizzerías, etc.)	1,2
	Zonas de público sentado en bares, cafeterías, restaurantes, etc.	1,5
	Salas de espera, salas de lectura en bibliotecas, zonas de uso público en museos, galerías de arte, ferias, exposiciones, etc.	2
	Vestíbulos generales, zonas de uso público en plantas de sótano, baja y entreplanta	2
Vestíbulos, vestuarios, camerinos y otras dependencias similares y anejas a salas de espectáculos y de reunión	2	
Zonas de público en terminales de transporte	10	
Zonas de servicio de bares, restaurantes, cafeterías, etc.	10	
Archivos, almacenes		40

¹ Las densidades de ocupación para el conjunto de una planta o zona de los usos administrativo, docente, residencial vivienda y hospitalización son las mínimas aplicables para las configuraciones típicas y tienen en cuenta las superficies proporcionales normales para zonas de circulación, archivos, salas de reunión, aseos, etc. Cuando la configuración no sea típica, por ejemplo porque la planta contenga grandes archivos, muchas salas de reuniones de gran superficie, grandes zonas de circulación, etc., la aplicación de dichas densidades globales en planta o zona puede conducir a ocupaciones poco realistas, por lo que en tales casos se debe calcular la ocupación de la planta diferenciando por zonas.

² En los aparcamientos robotizados se considera que no existe ocupación.

El grado de afección se define como el coeficiente de afección multiplicado por el coeficiente de influencia.

El coeficiente de afección depende de las molestias a los trabajadores y usuarios de estos centros por emisión de contaminantes como ruido, vibraciones, polvo, humos, etc. En general, las obras permiten continuar la actividad que se lleva a cabo en los centros de alta sensibilidad, pero en algunos casos no es así. El indicador debe de recoger estas diferencias. En la tabla C.6 se realiza una propuesta de coeficientes de afección según la situación producida. Si se diera el caso de que la obra no dejase continuar una actividad de un centro de alta sensibilidad situado a más de 50 metros del perímetro de la obra, también debería tenerse en cuenta en el indicador.

Tabla C.6. Definición de los coeficientes de afección según las molestias causadas por la obra a los centros de alta sensibilidad.

Consecuencias de la obra	Coefficiente de afección
Se continua la actividad aunque con molestias	1
La obra no permite continuar una actividad	5

El número de personas afectadas se obtiene a partir de la ocupación del centro multiplicado por un coeficiente de influencia. El coeficiente de influencia se define como el tanto por uno de las personas contabilizadas en la ocupación que tienen el mismo grado de afección. Si la obra permite continuar la actividad, el coeficiente de influencia es la parte proporcional de la superficie del negocio que queda dentro de la zona de influencia. Si la obra no permite continuar la actividad, es la parte proporcional de las personas de la ocupación que no pueden realizar la actividad. El impacto sobre las personas que no pueden continuar con su actividad queda contabilizado dos veces porque estas personas, además de no poder realizar la actividad sufren las molestias por ruido de las obras, igual que el resto de personas que ocupan el centro.

Por ejemplo, unas obras al lado de un centro de investigaciones científicas de 1000 m² producen molestias por ruidos que afectan a todos los trabajadores durante 2 meses (todo el edificio se encuentra dentro de la zona de influencia de la obra). Además, se produce otro impacto: durante una semana 20 trabajadores no pueden utilizar unos aparatos de precisión debido a las vibraciones producidas por el hincado de tablestacas. La respuesta del indicador para el ejemplo es la que se muestra en las ecuaciones C.1 a C.4. Se consideran meses con 22 días laborables y semanas con 5 días laborables.

$$Ocupación = n = 1000 \text{ m}^2 \cdot \frac{\text{persona}}{10 \text{ m}^2} = 100 \text{ personas} \quad (\text{C.1})$$

$$Cafec_{100 \text{ trabajadores}} = 1 \quad \text{y} \quad Cafec_{20 \text{ trabajadores}} = 5 \quad (\text{C.2})$$

$$Cinfl_{100 \text{ trabajadores}} = \frac{100}{100} = 1 \quad \text{y} \quad Cinfl_{20 \text{ trabajadores}} = \frac{20}{100} = 0,2 \quad (\text{C.3})$$

$$I_{1.4} = 100 \text{ pers} (44 \text{ días} \times 1 \times 1 + 5 \text{ días} \times 5 \times 0,2) = 22000 \text{ días} \cdot \text{personas} \quad (\text{C.4})$$

Por lo tanto, un mismo centro puede tener varios impactos sociales que impliquen a distintos números de personas y grados de afección. Los impactos con distintos grados de afección corresponden a sumandos distintos en el indicador aunque se produzcan en el mismo centro de alta sensibilidad porque están multiplicados por distintos coeficientes de afección. También pueden ir multiplicados por distintos tiempos de afección y número de personas afectadas.

C.1.1.5. Contaminación acústica sobre residentes en viviendas

El presente indicador recoge la afección por contaminación acústica a las personas residentes en el entorno inmediato de la obra.

Para la definición del indicador se considera la generación de ruido del mismo modo que se había considerado en el subcriterio de contaminación acústica dentro de impacto ambiental y, además, el número de personas residentes en el entorno de la obra, que son uno de los principales receptores de dicha contaminación acústica.

Se define el indicador del impacto social provocado por la afección a los residentes de las viviendas como:

El sumatorio, para los residentes en las viviendas afectados por la generación de ruido generado por la maquinaria de uso al aire libre en las distintas fases de obra y periodos horarios, del tiempo de funcionamiento de la maquinaria multiplicado por la ocupación de las viviendas afectadas y por el grado de afección a los residentes.

Las máquinas de uso al aire libre consideradas son las definidas en el Anexo I del Real Decreto 212/2002 y listadas en el subcriterio 2.3 Contaminación acústica dentro de impacto ambiental.

Análogamente a la contaminación acústica dentro de impacto ambiental y por los motivos allí descritos, se distinguen los dos periodos de generación de ruidos que se indican en la tabla C.7. Los tiempos de generación de ruido de la maquinaria en cada periodo se contabilizan por separado.

A efectos de la presente metodología y aunque pueda haber más residentes afectados por la contaminación acústica generada por la obra solamente se consideran los residentes de las viviendas que están situadas total o parcialmente en la zona de influencia de la obra (ocupación de la obra más una franja de 50 metros contados a partir del perímetro exterior de la misma).

La ocupación de las viviendas se puede obtener a partir de la densidad de ocupación del Código Técnico de la Edificación según el uso (tabla C.5) que en el caso de viviendas es de 20 m² por persona y la superficie útil. La superficie de la vivienda se puede obtener del catastro (www.sedecatastro.gob.es) a partir de las direcciones de las viviendas anotadas durante la visita in situ.

La anterior forma de calcular las personas afectadas puede ser útil en caso de pocas viviendas dispersas en el entorno de la obra. En caso de una densidad de población elevada, el número de personas afectadas se puede calcular como la densidad de población multiplicada por la superficie de la zona de afección de la obra (incluyendo la ocupación de la misma).

El grado de afección se define como el coeficiente de influencia multiplicado por el coeficiente según el periodo de día en que se genere el ruido y por el nivel de potencia acústica de la máquina L_{WA} .

El coeficiente de influencia se define como el tanto por uno de las personas contabilizadas en la ocupación que sufren las molestias de la obra y corresponde a la parte proporcional de la superficie de la vivienda que queda dentro de la zona de influencia de la obra. Si toda la vivienda queda dentro de dicha zona se considera que todos los residentes de la vivienda sufren las molestias de la obra y, por tanto, el coeficiente toma el valor de la unidad.

El grado de afección depende de si el ruido se genera en periodo día o periodo noche, es decir, del periodo del día de funcionamiento de la maquinaria y se recoge mediante un coeficiente (α) indicado en la tabla C.7. Estos coeficientes son los mismos que se utilizan en el subcriterio de contaminación acústica de impacto ambiental.

Tabla C.7. Coeficientes según el periodo del día de funcionamiento de la maquinaria.

Periodo del día	Horas del día	α
Día	7:00 h a 23:00 h	1,0
Noche	23:00 h a 7:00 h	1,2

El nivel de potencia acústica L_{WA} de la maquinaria de uso al aire libre aparece en la Declaración CE de conformidad y normalmente se indica de forma visible en la superficie de las máquinas. Si en el momento de aplicar la metodología no se conocen los niveles de potencia acústica de las máquinas al aire libre utilizadas, se pueden tomar en su lugar los valores aproximados de nivel de ruido a 15 metros obtenidos de Canter (1997) y mostrados en la tabla B.18.

El anterior indicador puede aplicarse cuando se disponga de toda la información necesaria y se desee un resultado más preciso. En entornos densamente poblados se recomienda, por practicidad, utilizar el indicador simplificado definido a continuación:

Número promedio de personas dentro de la zona de influencia de la obra multiplicado por el sumatorio de la maquinaria de uso al aire libre y periodos horarios del tiempo de funcionamiento de la maquinaria multiplicado por el grado de afección a los residentes.

El número promedio de personas dentro de la zona de influencia se calcula como el área promedio de la zona de influencia de la obra en sus distintas fases (ponderando el área de cada fase por su duración) y multiplicando por la densidad de población de la zona.

El grado de afección se define como el coeficiente según el periodo de día en que se genere el ruido y por el nivel de potencia acústica de la máquina L_{WA} . Análogamente al indicador detallado, si no se conocen los niveles de potencia acústica de las máquinas al aire libre utilizadas, se pueden tomar en su lugar los valores aproximados de nivel de ruido a 15 metros obtenidos de Canter (1997) y mostrados en la tabla B.18.

En caso de que la obra se realice en zona rural sin ninguna vivienda no es de aplicación el presente indicador.

C.1.1.6. Negocios

Dentro de este apartado se engloban los negocios no incluidos en los centros de alta sensibilidad. A efectos de la presente metodología, se distinguen dos tipos de negocios con dos indicadores distintos:

- Negocios tipo 1: disponen de un local en el que los clientes pueden entrar y estar un determinado tiempo y en los que, por tanto, se puede medir la ocupación y el número de puertas de entrada afectadas por la obra. El local en el que están ubicados no se puede desplazar.

- Negocios tipo 2: pequeños negocios ubicados en la calle, tipo quiosco, en los que el cliente compra lo que necesita en un periodo breve de tiempo, sin entrar en ningún local. En estos negocios no se puede medir la ocupación, pues no hay un espacio interior destinado al cliente, ni la afectación a las puertas de entrada, porque no existen. En caso de afección, estos negocios pueden desplazarse. Dentro de este grupo también se incluyen las terrazas que, aunque sí que se puede medir su ocupación, están situadas en la calle, no disponen de puertas de entrada y se puede modificar su ubicación, es decir, los tipos de afectación que pueden sufrir son más parecidos a los quioscos.

A continuación se listan algunos de los negocios tipo 1:

Gimnasios
 Hoteles
 Locales comerciales
 Restauración y cafeterías (sin incluir terrazas)
 Salas de cine
 Teatros
 Otros

Existen dos tipos de afecciones a estos negocios:

1. La disminución del confort de los trabajadores y los clientes que están en el negocio debido a las molestias causadas por el ruido, vibraciones, polvo, humos, etc. producidos por la obra.
2. La disminución de las ganancias del negocio debido a la reducción del número de clientes por:
 - La reducción de la visibilidad del negocio.
 - La disminución de la accesibilidad al mismo.
 - La disminución del confort.

En general, un comercio tiene que estar en una zona frecuentada por gente. Si la gente deja de pasar por una calle debido a la presencia de la obra o no ve el negocio porque han colocado una valla delante o le es difícil entrar al local porque queda un paso estrecho, etc. se produce una disminución de la clientela por falta de visibilidad y accesibilidad. Además, los clientes que van al negocio experimentan una falta de confort debido al polvo, ruidos, etc., no se siente cómodos y puede ser que no regresen aunque el comercio tenga visibilidad y accesibilidad. El indicador de afección a negocios de la presente metodología debería recoger las dos afecciones anteriores.

Según el borrador del Manual de qualitat de les obres a la ciutat de Barcelona (Ajuntament de Barcelona, 2013), la ocupación de la obra debe permitir, bajo cualquier circunstancia, el acceso a edificios de uso terciario o actividad empresarial y comercios. En caso de que ello no sea posible, se tienen que tratar con los afectados los detalles de la afección y su compensación. En el check-list de inspección de la Ambientalització de les obres a la ciutat de Barcelona (Ajuntament de Barcelona, 2009a) se incluyen varios aspectos de la afección a los accesos a la actividad económica y empresas: garantía de acceso y limpieza.

Como muestra del impacto social a los locales comerciales y medidas para reducirlo están las obras del metro de Ámsterdam, en las que se pagó la publicidad a los vendedores locales cuyas tiendas sufrieron una disminución de visibilidad y accesibilidad durante las obras e incluso los trabajadores de la obra ayudaron a publicitarlos (van Wijck, 2012).

Para la presente metodología, se plantearon dos formas de definir el indicador:

- a) Tener en cuenta la ocupación de los negocios afectados, es decir, el número de personas que se encuentran en el negocio. De esta forma queda recogida la disminución del confort a los trabajadores y clientes. De forma indirecta también queda recogida la disminución en las ganancias, aunque puede dejar en desventaja a los pequeños y medianos comercios frente las grandes superficies comerciales.
- b) Contabilizar todos los negocios afectados por igual, sin tener en cuenta su facturación ni ocupación. De esta forma no se deja en desventaja a los pequeños comercios, pero no quedan recogidos en el indicador de forma realista. No se tienen en cuenta el número de clientes o de trabajadores y, por tanto, tampoco las molestias que les causa la obra.

Después de analizar las ventajas e inconvenientes de cada tipo de indicador se decidió tener en cuenta la ocupación de los negocios (indicador tipo a).

Para la presente metodología se considera que los negocios son igual de importantes independientemente del tipo de actividad que realicen. Lo que sí que se considera es el número de personas que están en el local.

Se define el indicador del impacto social provocado por la afección a negocios como:

El sumatorio, para los distintos negocios y sus entradas afectados por las distintas fases de obra, de la ocupación del negocio multiplicada por el grado de afección al negocio.

Análogamente a los centros de alta sensibilidad y viviendas, para determinar los negocios que se ven afectados por la obra hay que realizar una visita in situ con un plano y anotar, para cada negocio, la actividad que realiza y su dirección (datos necesarios para el cálculo de la ocupación). En la misma visita se pueden anotar los centros de alta sensibilidad y las direcciones de las viviendas. A efectos de la presente metodología y aunque pueda haber más negocios afectados por el paso de vehículos, generación de polvo, etc., solamente se consideran los negocios que están situados en la zona de influencia de la obra (ocupación de la obra más una franja de 50 metros contados a partir del perímetro exterior de la misma).

La ocupación del negocio se puede obtener a partir de la densidad de ocupación del Código Técnico de la Edificación según el uso (tabla C.5) y de la superficie útil. La superficie del negocio se puede obtener del catastro (www.sedecatastro.gob.es) a partir de la dirección anotada durante la visita in situ.

El grado de afección a un negocio se define como el sumatorio, para las distintas fases de obra con afección diferenciada al negocio, del tiempo de molestias de la fase multiplicado por el coeficiente de influencia de la fase más el coeficiente de captación

de clientes del negocio multiplicado por la afección a los accesos del negocio. Es decir, el grado de afección se define en la ecuación C.5:

$$\begin{aligned} \text{Grado de afección al negocio} &= \\ &= \sum_{\text{fases obra}} \text{Tiempo molestias} \cdot \text{Coef. influencia} + \text{Coef. captación clientes} \cdot \text{Afección accesos} \end{aligned} \quad (\text{C.5})$$

El primer sumando pretende medir las molestias a los clientes y trabajadores que se encuentran en el local del negocio (corresponde a la afección tipo 1 explicada más arriba). El segundo sumando corresponde a la disminución de clientes debido a la falta de visibilidad y accesibilidad al local (afección tipo 2). Esta afección es mucho mayor cuando el negocio capta los clientes en el ámbito de la zona, hecho que queda recogido mediante el coeficiente de captación de clientes.

El coeficiente de influencia se define como el tanto por uno de las personas contabilizadas en la ocupación que sufren las molestias de la obra y corresponde a la parte proporcional de la superficie del negocio que queda dentro de la zona de influencia de la obra. Si todo el negocio queda dentro de dicha zona se considera que todas las personas que ocupan el local sufren las molestias de la obra y, por tanto, el coeficiente toma el valor de la unidad.

El coeficiente de captación de clientes pretende reflejar el grado de impacto que las obras tienen en la captación de los clientes del negocio según cual sea el ámbito en el que el negocio atrae a sus clientes. Por ejemplo, un bar, que capta mayoritariamente sus clientes entre las personas que viven, trabajan o pasan por la zona, puede ver el número de clientes muy reducido debido a la ejecución de la obra. En cambio, una empresa que capta mayoritariamente sus clientes fuera del ámbito donde se ubica, tiene menor afección. Ejemplos de este caso serían una empresa de catering que recibe la mayoría de pedidos por teléfono o un bufete de abogados. Además, actualmente existen empresas que captan todos sus clientes a través de internet, sin que el cliente tenga que desplazarse en ningún momento a las dependencias de la empresa. Este tipo de negocios no tienen afección tipo 2 debido a las obras. En la tabla C.8 se definen los coeficientes de captación de clientes según el tipo de negocio.

Tabla C.8. Coeficientes de captación de clientes según el tipo de negocio.

Tipo de negocio	Coeficiente de captación de clientes
Todos los clientes se captan por internet y el cliente en ningún momento se desplaza al local del negocio sino que todo se realiza a distancia	0
La captación de clientes no depende, en su mayoría, de la visibilidad del negocio en la calle	1
Capta la mayor parte de los clientes en la zona de la obra, dependiendo de su visibilidad en la calle	5

La afección a accesos depende de si se dificulta o se impide alguna entrada al negocio y del número de entradas afectadas respecto al total de entradas del negocio. Se define como el sumatorio, para las distintas entradas de un negocio, del tiempo de

afección a la entrada, multiplicado por el coeficiente de afección a la entrada y dividido entre el número total de entradas al negocio.

Como entrada dificultada se entiende con una disminución de accesibilidad y/o visibilidad. Se considera que una entrada a un negocio está dificultada si se encuentra dentro de la zona de influencia de la obra. En la tabla C.9 se muestran los coeficientes según el tipo de afección a la entrada.

Tabla C.9. Coeficiente de afección según el tipo de afección a la entrada de los negocios.

Tipo de afección a la entrada	Coeficiente de afección
Se dificulta (entrada en la zona de influencia de la obra)	1
Se impide	2

Como futuras líneas de investigación podrían realizarse estudios sobre la disminución real en el número de clientes debido a las molestias de la obra y según el número de entradas con visibilidad y accesibilidad reducida y el número de entradas cerradas por la obra.

A continuación se muestran varios casos de afecciones a negocios tipo 1.

Ejemplo 1. Los 50 m² de la oficina de una compañía de seguros (figura C.2) están situados en la zona de influencia de la obra durante 3 meses incluyendo la única entrada (a). Durante un mes más, solamente la mitad de la superficie de la oficina se encuentra en la zona de influencia de la obra, incluyendo la entrada (b). Para el cálculo de la ocupación se supone uso administrativo, vestíbulos generales y zonas de uso público. Tanto en la obra como en la oficina se trabaja de lunes a viernes.

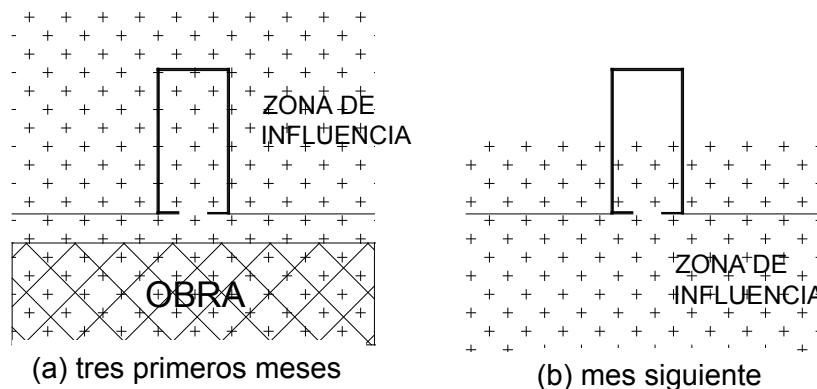


Figura C.2. Planta de la ocupación de la obra y la zona de influencia del ejemplo 1.

Se considera que los meses tienen 22 días laborables. Las molestias por ruido se producen solamente los días laborables (ecuaciones C.6 y C.7).

$$Ocupación = n = 50 \text{ m}^2 \cdot \frac{\text{persona}}{2\text{m}^2} = 25 \text{ personas} \tag{C.6}$$

$$I_{1,6} = 25 \text{ personas} \left(66 \text{ días} \times 1 + 22 \text{ días} \times 0,5 + \frac{1}{1} \times 1 \times 88 \text{ días} \right) 4125 \text{ días} \cdot \text{personas} \quad (\text{C.7})$$

Ejemplo 2. Una tienda de planta baja más primer piso (figura C.3), de 200 m² por planta, con 3 entradas, tiene una entrada impedida durante 2 meses (a) y las otras dos con accesibilidad y visibilidad reducida durante 6 meses (b). Toda la tienda se encuentra dentro de la zona de influencia de la obra durante 6 meses. En la obra se trabaja de lunes a viernes y la tienda está abierta de lunes a sábado.

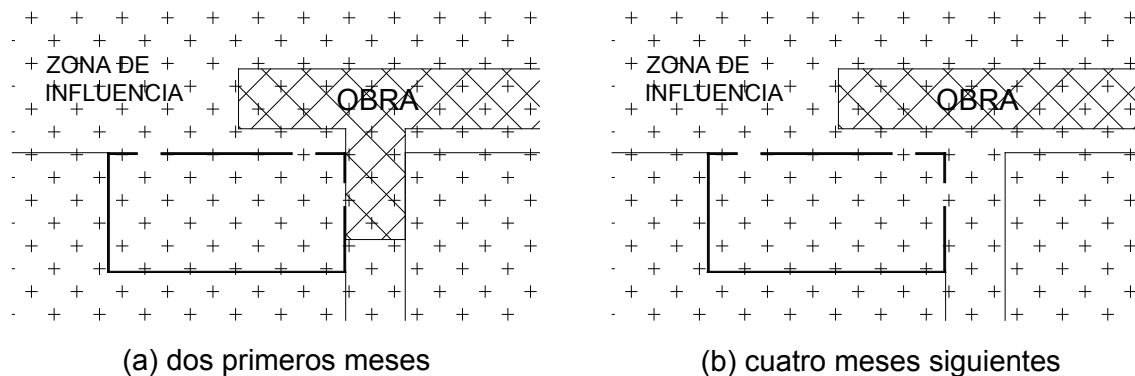


Figura C.3. Plantas de la ocupación de la obra y la zona de influencia del ejemplo 2.

Se considera que en la obra se trabaja 22 días al mes y en la tienda 26 días al mes (ecuaciones C.8 y C.9).

$$\text{Ocupación} = n = 200 \text{ m}^2 \cdot \frac{\text{persona}}{2 \text{ m}^2} + 200 \text{ m}^2 \cdot \frac{\text{persona}}{3 \text{ m}^2} = 166,7 \text{ personas} \quad (\text{C.8})$$

$$I_{1,6} = 166,7 \text{ personas} \left(132 \text{ días} \times 1 + \frac{5}{3} \times (1 \times 156 \text{ días} \times 2 + 2 \times 52 \text{ días} + 1 \times 104 \text{ días}) \right) = 166477,7 \text{ días} \cdot \text{personas} \quad (\text{C.9})$$

Ejemplo 3. Un mercado de 1.600 m² tiene dos puertas de entrada, una de las cuales con acceso impedido durante 4 meses (figura C.4). Durante los mismos 4 meses toda la superficie del mercado se encuentra dentro de la zona de influencia de la obra (a). Durante los 2 meses posteriores, 720 m² se encuentran dentro de la zona de influencia de la obra y una de las puertas tiene el acceso dificultado (b). El mercado está abierto de lunes a sábado y en la obra se trabaja de lunes a viernes.

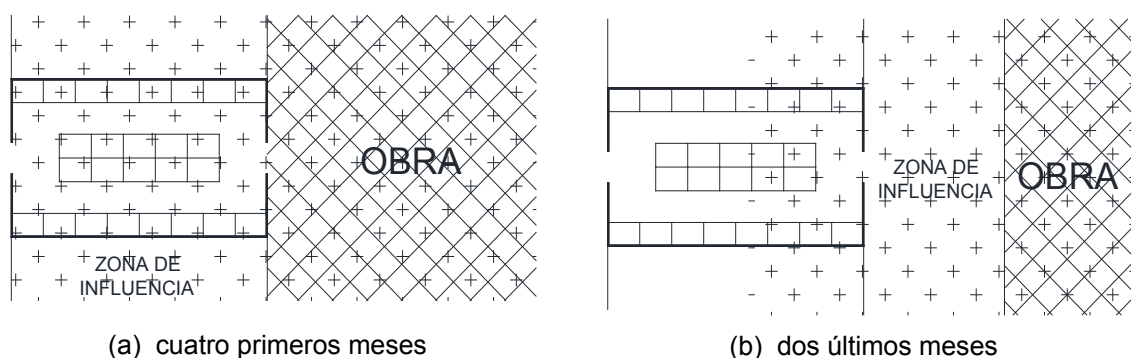


Figura C.4. Plantas de la ocupación de la obra y la zona de influencia del ejemplo 3.

Se considera que en la obra se trabaja 22 días al mes y el mercado abre 26 días al mes (ecuaciones C.10 a C.12).

$$Ocupación = n = 1600 \text{ m}^2 \cdot \frac{\text{persona}}{2\text{m}^2} = 800 \text{ personas} \quad (\text{C.10})$$

$$C_{infl} = \frac{720 \text{ m}^2}{1600 \text{ m}^2} = 0,45 \quad (\text{C.11})$$

$$I_{1,6} = 800 \text{ personas} \left(88 \text{ días} \times 1 + 44 \text{ días} \times 0,45 + \frac{5}{2} \times (2 \times 104 \text{ días} + 1 \times 52 \text{ días}) \right) = 606240 \text{ días} \cdot \text{personas} \quad (\text{C.12})$$

Ejemplo 4. Un centro comercial de 2.050 m² situado en planta baja tiene 4 entradas, una de ellas con acceso impedido y la otra con acceso dificultado debido a la obra. Unos 1.640 m² del centro comercial quedan dentro de la zona de influencia de la obra. Todas las afecciones tienen una duración de mes y medio (figura C.5). En la obra se trabaja de lunes a viernes y el centro comercial está abierto todos los días de la semana.

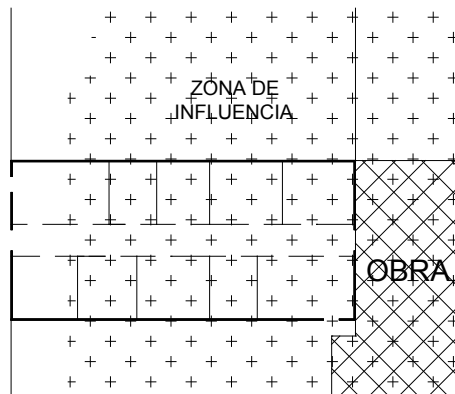


Figura C.5. Planta de la ocupación de la obra y la zona de influencia del ejemplo 4.

Se considera que en la obra se trabaja 22 días al mes y que el centro comercial está abierto 30 días al mes (ecuaciones C.13 a C.15).

$$Ocupación = n = 2050 \text{ m}^2 \cdot \frac{\text{persona}}{3} = 683,3 \text{ personas} \quad (\text{C.13})$$

$$C_{infl} = \frac{1640 \text{ m}^2}{2050 \text{ m}^2} = 0,80 \quad (\text{C.14})$$

$$I_{1,6} = 683,3 \text{ personas} \left(33 \text{ días} \times 0,80 + \frac{5}{4} \times (1 \times 45 \text{ días} + 2 \times 45 \text{ días}) \right) = 133346,0 \text{ días} \cdot \text{personas} \quad (\text{C.15})$$

A efectos de la presente metodología no se distingue entre las entradas al pasillo del centro comercial y las entradas directas a una tienda del centro comercial que tiene otra puerta conectada con el pasillo del centro comercial.

En los ejemplos mostrados la obra solamente afecta a un negocio pero, en la realidad, la misma obra puede afectar a varios negocios a la vez.

En los negocios tipo 2 se incluyen:

Quioscos de bebidas y alimentación
 Quioscos de flores
 Quioscos de lotería de la ONCE
 Quioscos de periódicos
 Terrazas de locales de alimentación

Según el borrador del Manual de qualitat de les obres a la ciutat de Barcelona (Ajuntament de Barcelona, 2013), en estos casos hay que priorizar el traslado o la realización de la obra por fases con el objetivo de mantener activo el punto de venta. En caso de anulación temporal hay que prever las posibles medidas compensatorias.

Como para este tipo de negocios no se puede calcular la ocupación, se define el indicador de la siguiente forma:

El sumatorio, para los distintos quioscos o terrazas afectados por las distintas fases de obra, del tiempo de afección multiplicado por el grado de afección.

El grado de afección se define según si se dificulta el acceso al negocio, se desplaza o se anula temporalmente. Se considera que se dificulta el acceso al negocio si el mismo queda dentro de la zona de influencia de la obra, es decir, en la ocupación de la obra o en la franja de 50 metros alrededor del perímetro exterior de la misma. En la tabla C.10 se muestran los coeficientes según el grado de afección.

Tabla C.10. Coeficientes de afección según el grado de afección a los quioscos o terrazas de locales de alimentación.

Grado de afección	Coeficiente de afección
Dificulta el acceso (quiosco o terraza dentro de la zona de influencia de la obra)	1
Se desplaza el quiosco o la terraza	5
Se anula temporalmente el quiosco o terraza	10

Si la obra produce distinto tipo de afecciones en el mismo negocio durante las distintas fases de la obra, las distintas afecciones se contabilizan por separado en el indicador (sumandos distintos) con sus correspondientes tiempos y grados de afección.

Para el presente subcriterio se han definido dos indicadores, para dos tipos de negocio distintos. Para cada indicador se obtiene su correspondiente impacto social (ecuación 7.2 o 7.3). Para obtener el impacto social del subcriterio (Imp. social_{1,6}) se realiza una suma ponderada del impacto social de cada indicador (Imp. social_{1,6.1} y Imp. social_{1,6.2}) utilizando los pesos de la tabla 4.7 asignados por expertos. En general, los pesos de la tabla son suficientes pero, si se desea, se pueden acabar de ajustar a las condiciones reales teniendo en cuenta los datos comunes en los dos indicadores, que es el tiempo de afección a cada negocio y otros factores como, por ejemplo, el tamaño de los negocios y su grado de afección.

En el caso que todas las alternativas estudiadas solamente tengan afección a negocios tipo 1 o negocios tipo 2, el impacto del subcriterio es el impacto del indicador distinto de cero, no hay que ponderar por el indicador nulo, ya que no es discriminante entre alternativas.

Para los casos en que los anteriores indicadores supongan una carga de trabajo excesiva o no sea necesario un grado tan elevado de detalle, se define un indicador simplificado:

El sumatorio, para los distintos negocios afectados por las distintas fases de obra, del tiempo de afección multiplicado por un coeficiente.

El coeficiente depende de si el negocio tiene o no terraza y si ésta permanece en el mismo lugar, se desplaza o se anula durante alguna fase de obra. Lo mismo aplica en caso de tratarse de un quiosco. Los coeficientes a adoptar son los que se muestran en la tabla C.11.

Tabla C.11. Coeficientes según tipo de negocio y afección.

Tipo de negocio y afección	Coeficiente
Negocio en planta baja sin terraza, incluyendo quioscos	1
Negocio con terraza que no se anula ni desplaza	1,5
Negocio con terraza o quiosco que hay que desplazar	2
Negocio con terraza anulada o quiosco anulado	5

En el presente indicador solamente se consideran los negocios ubicados en la planta baja de los edificios, por lo que no hay que considerar la forma de captación de clientes ya que, la mayoría de los negocios de las plantas bajas captan los clientes de las personas que pasan por la calle, dependiendo de su visibilidad. No se consideran las ocupaciones de los negocios es decir, se estaría en el caso de indicador b) planteado más arriba.

C.1.1.7. Sector primario y secundario

Se incluyen dentro del presente subcriterio:

Actividades extractivas
Industria

Aunque, tradicionalmente, la industria se considera sector secundario y las actividades extractivas sector primario, estas actividades no dejan de ser negocios que ofrecen algún tipo de servicio a otras personas o empresas, ya sea mediante el suministro de materia prima o de algún producto elaborado. Por ello, a efectos de la presente metodología, la afección que una obra pueda causar a fábricas o actividades extractivas se considera dentro del criterio de afectación a servicios.

Las actividades extractivas no se encuentran en entorno urbano pero sí que se pueden encontrar en un entorno periurbano o rural. La afección a estas actividades se ha incluido en la metodología para mayor generalidad. Así, por ejemplo, queda recogida la afección de la obra a los accesos a una cantera situada en un entorno periurbano.

Aunque la obra también puede generar otras afecciones como, por ejemplo, ruido, éstas no se contabilizan en el presente indicador porque se consideran de menor importancia ya que la industria y actividades extractivas también generan ruido.

Se define el indicador de afección a la industria y sector primario como:

El sumatorio, para los accesos a fábricas y actividades extractivas dificultados por la obra, del tiempo de afección multiplicado por la facturación de la empresa y por el coeficiente de afección.

La facturación de la empresa pretende discriminar entre tamaños de empresa. Si no se conoce este dato y la afección es a una industria, se puede utilizar la superficie de nave industrial en su lugar o, si no, se puede prescindir de este dato.

El coeficiente de afección depende de si se dificulta o se corta el acceso a la industria o actividad extractiva. En la tabla C.12 se realiza una propuesta de coeficientes de afección según la situación producida. Aunque muy raramente se corta el acceso a una industria o actividad extractiva debido al elevado coste que supone la indemnización, el indicador recoge esta posibilidad. La indemnización por los daños causados a la empresa tiene una repercusión en el coste de la obra y queda contabilizado en ese el indicador.

Tabla C.12. Definición de los coeficientes de afección según las molestias causadas por la obra a los accesos de industrias y actividades extractivas.

Consecuencias de la obra	Coeficiente de afección
Dificulta el acceso	1
Impide el acceso	5

C.1.1.8. Espacios verdes y arbolado

En la presente metodología, la afección a espacios verdes se incluye dentro de afección a servicios porque los ciudadanos se benefician de ir allí a pasear, correr, leer relajarse, desconectar del estrés de la ciudad, etc.

Se entiende por espacios verdes y arbolado:

- Árboles catalogados y no catalogados
- Jardines urbanos
- Parques urbanos
- Parques forestales
- Suelos con vegetación pertenecientes al sistema viario
- Otros suelos con vegetación, de titularidad pública o privada, no ocupados por edificación

En las normas urbanísticas del Plan General Metropolitano de Ordenación Urbana (Comisión Provincial de Urbanismo de Barcelona, 1976) se definen los distintos tipos de espacios verdes.

El hecho de que existan varios tipos de espacios naturales con o sin algún tipo de protección, en zona rural, periurbana o urbana puede dar lugar a confusión a la hora de incluir el espacio verde en un u otro indicador. A continuación se indican algunas pautas:

- Si el espacio verde o árbol está dentro de algún núcleo de población y no goza de ninguna protección, su afectación se incluye en el presente subcriterio, dentro de impacto social, afección a espacios verdes.
- Si el espacio natural no es adyacente a ningún núcleo de población, su afección se incluye dentro del impacto ambiental, en espacio natural protegido o no protegido según sea el caso.
- Si el espacio verde o árbol está dentro de un núcleo urbano pero, a la vez, tiene un valor patrimonial como, por ejemplo, el Parque Güell en Barcelona, o está catalogado, hay que valorar la posibilidad de incluirlo en el indicador de riesgo afección al patrimonio, en lugar o además de afección a espacios verdes, ambos subcriterios dentro de impacto social.
- Si el espacio verde es adyacente a un núcleo urbano, se valora si la afectación es más un impacto social porque la gente va allí a pasear, relajarse, etc., con lo que se contabiliza en el presente indicador, o si, por el contrario, es más una afección medioambiental, pues la zona no está muy frecuentada por personas (un ejemplo de este caso en Barcelona podría ser, dependiendo de la afección, el Parque de Collserola) con lo que se contabiliza en impacto ambiental, afección a espacios naturales protegidos o no protegidos, según el caso.

En el borrador del Manual de qualitat de les obres a la ciutat de Barcelona (Ajuntament de Barcelona, 2013) se establecen medidas para la protección del arbolado que queda dentro del ámbito de la obra. En el check-list de inspección de la ambientalización de las obras (Ajuntament de Barcelona, 2009a) se incluyen varios aspectos de la afección a los espacios verdes a verificar.

Se define el indicador de afección a los espacios verdes como:

El sumatorio, para los espacios verdes afectados por las distintas fases de la obra, del tiempo de afección multiplicado por la superficie afectada.

Se planteó la posibilidad de incluir en el indicador el número de personas que van al espacio verde. Como es posible que, en muchos casos, no se disponga de este dato, finalmente se descartó incluirlo.

Se considera como superficie afectada, la que deja de ser accesible por los ciudadanos debido a la presencia de la obra.

En caso de cortar árboles en zona urbana el impacto social es mayor que si éstos dejan de ser inaccesibles por los peatones. Por ello, por cada árbol cortado se contabiliza en el indicador la superficie en planta de su copa multiplicada por el tiempo desde que se corta el árbol hasta que se planta uno nuevo. Si no se conoce la superficie de la copa se utiliza un valor de 25 m². Si no se planta otro árbol en el lugar del árbol cortado, se contabiliza el tiempo desde que se corta el árbol hasta que termina la obra.

Si la obra consta de fases con distintas ocupaciones (distintas superficies del mismo espacio verde que dejan de ser accesibles), se contabiliza cada fase por separado en sumandos distintos, con sus correspondientes tiempos y superficies de afección.

C.1.1.9. Riesgo de afección patrimonio

El Real Decreto Legislativo 1/2008 establece que la evaluación de impacto ambiental debe identificar, describir y evaluar los efectos directos e indirectos de un proyecto sobre los bienes materiales y el patrimonio cultural, entre otros factores. La Ley 16/1985, define y establece que los bienes inmuebles del Patrimonio Histórico Español pueden ser declarados:

- Monumentos
- Jardines
- Conjuntos y sitios históricos
- Zonas arqueológicas

Según la Llei 9/1993 del Patrimonio Cultural Catalán, se considera patrimonio inmueble:

- Monumentos históricos
- Conjunto histórico
- Jardín histórico
- Lugar histórico
- Zona de interés etnológico
- Zona arqueológica
- Zona paleontológica

Además, se incluyen dentro del presente subcriterio los árboles catalogados, que son ejemplares de árboles, arbustos y palmeras que presentan un interés debido a su ubicación, antigüedad, tamaño, características botánicas, rareza, cualidades estéticas o valor histórico o simbólico.

De acuerdo con la Ley 16/1985, en los Monumentos declarados Bienes de Interés Cultural y en Jardines Históricos declarados de interés cultural no puede realizarse obra que afecte a ellos o a su entorno sin autorización del organismo competente. La conservación de los Conjuntos Históricos declarados Bienes de Interés Cultural comporta el mantenimiento de la estructura urbana y arquitectónica, así como de las características generales de su ambiente. Cualquier obra o remoción de terreno que se proyecte realizar en un Sitio Histórico o en una Zona Arqueológica declarados Bien de Interés Cultural debe ser autorizada por la Administración competente, que puede ordenar la realización de prospecciones y excavaciones arqueológicas. Igualmente, la Llei 9/1993 establece que cualquier intervención que se pretenda realizar en un monumento histórico, jardín histórico, zona arqueológica o zona paleontológica de interés nacional debe ser autorizada por el Departament de Cultura.

Es decir, las decisiones sobre la conservación o no, el traslado temporal o permanente del patrimonio no son competencia de la obra sino de otros organismos. Una obra solamente puede afectar al patrimonio previa autorización. Por lo tanto, se supone que la afección permanente al patrimonio no depende de las alternativas constructivas. A partir de la legislación revisada y de las conversaciones con Patrimonio Arquitectónico del Ayuntamiento de Barcelona se decide contabilizar únicamente en el indicador las posibles afecciones no previstas que las alternativas constructivas puedan tener sobre el patrimonio.

Se define el indicador del presente subcriterio:

El sumatorio, para los distintos elementos patrimoniales situados en el entorno de la obra, del tiempo que dura una actividad de obra con riesgo de afección al elemento patrimonial multiplicado por el grado de afección que ello supondría.

Se considera que un elemento del patrimonio está en el entorno de la obra cuando se realiza una excavación a una distancia horizontal inferior al doble de su profundidad respecto a edificios o estructuras catalogados, como se muestra en la figura C.6. Se excluyen las obras de canalizaciones de distribución y de alcantarillado de la red local. Estas distancias de referencia se han tomado de la Instrucció relativa a l'auscultació de les obres de promoció municipals (Ajuntament de Barcelona, 2011).

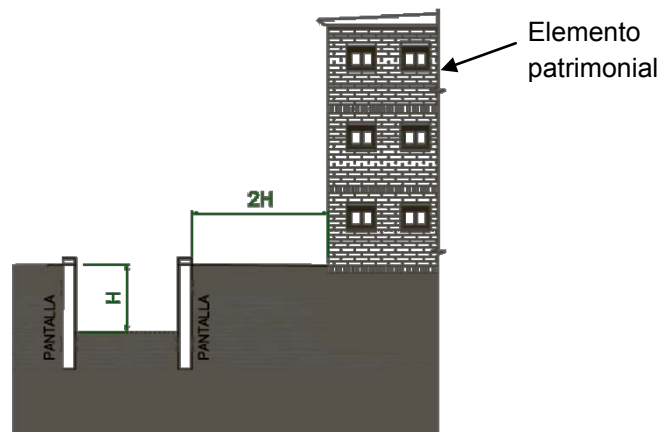


Figura C.6. Criterio para la consideración de una afección imprevista al patrimonio según la relación entre la profundidad de excavación y la distancia al elemento patrimonial (Ajuntament de Barcelona, 2011).

El grado de afección se define como la relación entre la profundidad de excavación y la menor distancia entre la excavación y el elemento patrimonial que puede verse afectado multiplicado por un coeficiente de importancia del patrimonio. Para determinar la importancia o interés del patrimonio, se utilizan los coeficientes de ponderación que se muestran en la tabla C.13, obtenidos de Conesa (2009).

Tabla C.13. Coeficientes de ponderación según el interés del patrimonio situado en el entorno de la obra (Conesa, 2009).

Interés del patrimonio	Coficiente de importancia
Local	0,2
Regional	0,4
Estatad	0,8
Universal	1

C.1.2. Afectación a la movilidad

En muchas obras y en especial en obras en zona urbana se afecta a la movilidad. En general, aunque se afecte a los medios de transporte, se intenta que los servicios de

transporte colectivo continúen en funcionamiento ya que son utilizados por un gran número de personas.

La afección al transporte colectivo, al transporte no colectivo y a las bicicletas y otros ciclos puede ser debida al desvío o corte de los carriles o vías y al desplazamiento o anulación de las paradas, estaciones o plazas de estacionamiento. En la tabla C.14 se puede ver la clasificación de las afecciones al transporte según el elemento afectado y el tipo de afección.

Tabla C.14. Clasificación de las afecciones al transporte colectivo, transporte no colectivo y bicicletas y otros ciclos según el elemento afectado y el tipo de afección.

Elemento afectado	Tipo de afección
Parada, estación o plaza de estacionamiento	Desplazamiento
	Anulación
Carril o vía	Desvío
	Corte

Las paradas o estaciones, tanto temporales como restituidas, tienen que cumplir la normativa de accesibilidad vigente (Llei 20/1991 y Decret 135/1995).

En el borrador del Manual de qualitat de les obres a la ciutat de Barcelona (Ajuntament de Barcelona, 2013) se establece que, si no se ha contemplado en proyecto se tiene que realizar un estudio de movilidad de peatones, vehículos y viajeros para comprobar que los itinerarios y recorridos afectados o restringidos por las obras tengan suficiente capacidad y seguridad para no provocar acumulaciones ni colapso en las vías.

En Gangoells *et al.* (2011) se definen dos indicadores para los problemas de transporte causados por la obra: el incremento de tráfico externo se mide como la superficie de suelo ocupada por la obra y las interferencias en el tráfico externo se miden como el número de cortes de tráfico.

C.1.2.1. Vehículos de emergencia

Se consideran todos los posibles vehículos de emergencia:

- Ambulancias
- Bomberos
- Seguridad
- Protección Civil
- Otros

A efectos de la presente metodología, se considera que todos los vehículos de emergencia tienen la misma importancia.

Según el borrador del Manual de qualitat de les obres a la ciutat de Barcelona (Ajuntament de Barcelona, 2013), se debe garantizar el acceso y el paso de los vehículos de emergencia, tanto dentro del ámbito de la obra, como por el exterior de la misma.

La afectación de la obra a los vehículos de emergencia puede producirse en tres fases:

- En la entrada y salida del vehículo en su origen (en un hospital, parque de bomberos, comisaría, etc.).
- Durante el recorrido del vehículo de emergencia en servicio.
- En la zona donde se produce la emergencia. La accesibilidad a alguna zona donde puede ocurrir una emergencia se puede ver reducida o incluso cortada totalmente durante un periodo de tiempo breve.

Estas afecciones pueden repercutir en la disponibilidad y en el tiempo de respuesta del servicio de emergencia. Idealmente se definiría un indicador que incluyera el grado de afección global (de las tres fases anteriores) a los vehículos de emergencia que podría medirse como el incremento de tiempo de respuesta del servicio debido a la ejecución de la obra. Se descartó este indicador por la dificultad en cuantificarlo.

Se define, para la presente metodología, el indicador de la afección a los vehículos de emergencia incluyendo la afección a las entradas o salidas de estos vehículos en sus locales y la disminución o corte de la accesibilidad a una zona:

Sumatorio, para los puntos de entrada y salida de vehículos de emergencia afectados en las distintas fases de obra y para las zonas sin accesibilidad o con accesibilidad reducida debido a la obra, del tiempo total en que se dificulta su entrada o salida o se afecta a la accesibilidad de una zona multiplicado por el número de personas afectadas y por el grado de afección.

El indicador no incluye el impacto social de una obra en los recorridos de los vehículos de emergencia ya que resulta complicado evaluarlo debido a que estos vehículos no tienen un carril especial reservado, sino que pueden utilizar cualquier carril y realizar múltiples rutas con múltiples destinos.

En caso de afectar a la entrada o salida de vehículos de emergencia, el número de personas afectadas es el número de salidas que realizan los vehículos de emergencia del servicio afectado.

En caso de afección a la accesibilidad de una zona, el número de personas afectadas se puede calcular a partir de la superficie de la zona con accesibilidad reducida de los vehículos de emergencia multiplicada por la densidad de población en dicha zona. De esta forma se obtiene la población potencial de necesitar un servicio de emergencia. Para obtener una estimación del número de personas que realmente podrían necesitar el servicio es necesario conocer el número de salidas de los vehículos de emergencia al año por habitantes, que se considera de 12.354 salidas por cada 100.000 habitantes al año. Este dato se ha calculado a partir del número de salidas de los vehículos terrestres del Sistema de Emergencias Médicas de Cataluña del año 2011 obtenido de la web www.gencat.cat y de la población oficial en Cataluña del mismo año obtenida de la web www.idescat.cat del Instituto de Estadística de Cataluña. Al dato anterior se le ha sumado el número promedio de actuaciones anuales por cada 100.000 habitantes realizadas por los bomberos de Cataluña en los años 2008-2012 obtenido de la página web www.gencat.cat.

El vehículo de emergencia de mayores dimensiones es el camión de bomberos, es decir, por donde pueda pasar un camión de bomberos, puede pasar el resto de vehículos de emergencia. Como regla general, la anchura máxima autorizada de un vehículo es de 2,55 metros (Real Decreto 2822/1998). A partir de este dato se definen dos situaciones o grados de afección:

- Corte o estrechamiento que impide el paso del camión de bomberos: se considera que se produce esta situación cuando el ancho libre de paso es igual o inferior a 3,10 metros.
- Estrechamiento que dificulta, pero no impide, el paso del camión de bomberos: se considera que se produce esta situación cuando el ancho libre de paso es superior a 3,10 metros e inferior o igual a 3,5 metros.

Para anchos libres de paso superiores a 3,5 metros se considera que no se produce afección. En la tabla C.15 se definen los coeficientes de afección correspondientes a las anteriores situaciones.

Tabla C.15. Coeficiente de afección según el grado de afección de una obra a los vehículos de emergencia.

Grado de afección	Ancho libre de paso (m)	Coeficiente de afección
Estrechamiento que dificulta, sin impedir, la entrada del vehículo de emergencia	$3,10 < \text{ancho libre} \leq 3,5$	1
El vehículo de emergencia no puede entrar	$\text{ancho libre} \leq 3,10$	5

C.1.2.2. Transporte colectivo

Se consideran los siguientes medios de transporte colectivo:

Autobús
Autocar
Metro
Tranvía
Tren

Como se muestra en la tabla C.14, los elementos del transporte colectivo afectados por las obras pueden ser las paradas, estaciones, carriles o vías.

Según el borrador del Manual de qualitat de les obres a la ciutat de Barcelona (Ajuntament de Barcelona, 2013), la planificación de obra tiene que prever los itinerarios provisionales alternativos de los servicios de bus y otros transportes públicos que se vean afectados y proponer los desvíos necesarios. También hay que prever el traslado provisional de las paradas de autobús afectadas al lugar más adecuado cercano a la obra. En caso de metro, tranvía o ferrocarril se propone el siguiente orden de prioridades, según la afectación a los accesos:

1. Afectar parcialmente el acceso, garantizando la accesibilidad de los usuarios al servicio.

2. Cerrar uno de los accesos, si existe otro alternativo.
3. Anular la estación y proponer un plan de transporte alternativo.

Para la presente metodología, se define el indicador del impacto social de la afección al transporte colectivo como:

El sumatorio, para los elementos de los distintos transportes colectivos afectados por las distintas fases de la obra (paradas o estaciones y carriles o vías), del tiempo de afección multiplicado por el número de personas afectadas y por el grado de afección.

Se entiende por desvío de una vía cuando ésta es desviada temporalmente, caso poco probable, y cuando la vía está cortada y se ofrece un transporte alternativo en el tramo cortado como, por ejemplo, un servicio de autobuses.

En caso de desvío de carril o vía o desplazamiento de parada o estación el número de personas afectadas son los usuarios del carril o vía o de la parada o estación afectada. En caso de corte de carril o vía o anulación de parada o estación, los carriles o vías o paradas o estaciones que se utilizarán en su lugar también se ven afectadas por la obra, pues tendrán un incremento de usuarios. En este caso, el número de personas afectadas son los usuarios del carril o vía cortada o de la parada o estación anulada más los usuarios de los carriles o vías o las paradas o estaciones utilizadas en sustitución.

El grado de afección depende de la existencia o inexistencia de medios de transporte colectivo alternativos equivalentes. El grado de afección se define como el incremento de distancia relativo multiplicado por la distancia del tramo afectado durante la obra o por la distancia máxima entre estaciones o paradas durante la obra, multiplicado por el incremento de precio relativo y dividido por el incremento relativo de la capacidad.

En la definición del indicador se planteó utilizar el incremento de tiempo en lugar del incremento de distancia ya que define mejor la afección al usuario. Sin embargo, se descartó esta idea ya que el incremento de tiempo depende de la velocidad de desplazamiento que, a su vez, depende del tráfico existente y, por tanto, de la hora del día, por lo que resulta difícil de determinar con exactitud. En cambio, el incremento de distancia se puede medir fácilmente y no depende de los anteriores factores.

El incremento de distancia relativo se expresa como factor que multiplica la distancia original, es decir, en tanto por uno. En caso de que el elemento afectado sea un carril o vía, el incremento de distancia es la distancia de recorrido durante la ejecución de la obra dividida entre la distancia de recorrido sin obra. La distancia de recorrido con obra se mide desde el punto que comienza el recorrido alternativo debido a la obra hasta el punto que termina el recorrido alternativo. Se incluye el incremento de distancia como un factor, en lugar de como diferencia de distancias de recorrido, porque de esta forma también queda recogido en el indicador el corte de una sola vía en un tramo de ferrocarril con varias vías en el mismo sentido. Si se cortase una vía, el incremento de distancia de recorrido en valor absoluto sería cero porque el recorrido por las otras vías del tramo férreo tiene la misma distancia. En cambio, el incremento de distancia expresado como factor multiplicativo de la distancia original toma el valor de la unidad y, por tanto, permite considerar esta situación.

En caso de que el elemento afectado sea un acceso, una parada o una estación, el incremento de distancia relativo se define como la máxima distancia que el usuario tiene que caminar en condiciones normales (sin obra) dividida entre la máxima distancia que el usuario tiene que recorrer en situación de afección por obra. Se considera que la máxima distancia que el usuario tiene que recorrer es la mitad de la distancia entre dos paradas consecutivas. Es decir, si existen tres paradas o estaciones consecutivas A, B y C separadas entre sí una distancia d_1 y d_2 respectivamente (figura C.7) y se elimina la parada o estación B, el incremento de distancia se calcula como se indica en la ecuación C.16.

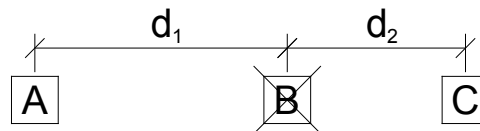


Figura C.7. Eliminación de una parada o estación.

$$\Delta d = \frac{\text{Máxima distancia recorrido con obra}}{\text{Máxima distancia recorrido sin obra}} = \frac{(d_1+d_2)/2}{d_1/2} = \frac{d_1+d_2}{d_1}, \text{ siendo } d_1 > d_2 \quad (\text{C.16})$$

Si lo que se anula es un acceso al metro o ferrocarril, se procede de forma análoga. En esos casos, el incremento de distancia relativo es muy próximo a la unidad o incluso igual a la unidad.

En caso de que se desplace una parada de autobús, se procede de forma similar, como se indica en la figura C.8 y ecuación C.17.

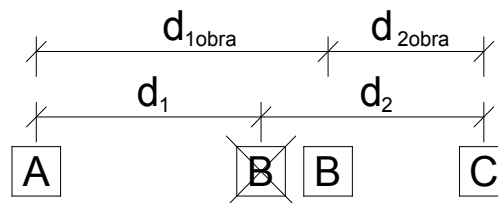


Figura C.8. Desplazamiento de una parada.

$$\Delta d = \frac{\text{Máxima distancia recorrido con obra}}{\text{Máxima distancia recorrido sin obra}} = \frac{d_{1obra}/2}{d_1/2} = \frac{d_{1obra}}{d_1} \quad (\text{C.17})$$

siendo $d_1 > d_2$ y $d_{1obra} > d_{2obra}$

Si solamente se considerase el incremento de distancia relativo se podría dar el caso de que, a igualdad del resto de datos, dos incrementos de distancia muy distintos en valor absoluto pero con el mismo incremento de distancia relativo generasen la misma respuesta del indicador cuando en realidad el impacto generado sería muy distinto. Por ejemplo, una alternativa afecta a una línea de autobuses de manera que un tramo de recorrido que inicialmente era de 500 metros, con la obra pasa a ser de 1.000 metros. Otra alternativa afecta a la misma línea de autobuses de forma que un tramo de recorrido que inicialmente era de 10 km con la obra pasa a ser de 20 km. Ambas

alternativas tienen el mismo incremento de distancia relativo, pero la segunda tiene un impacto mucho mayor. Incluso podría darse el caso de que una alternativa tuviera un incremento de distancia relativo mayor que otra pero un impacto menor. Volviendo al ejemplo anterior, si la primera alternativa pasara de un recorrido inicial de 300 metros a 900 metros y la segunda de 10 km a 20 km.

En conclusión, el incremento de distancia relativo tiene un buen comportamiento para comparar incrementos de distancia de recorrido en valor absoluto similares pero no para incrementos de distancia de recorrido muy distintos. Para evitar que ocurra lo anterior, es necesario incluir una distancia en valor absoluto. Se utiliza la distancia máxima entre paradas o estaciones, en caso de afección a paradas o estaciones o la distancia de recorrido en fase de obra, en caso de afección a carril o vía. Esta última distancia se mide desde el punto que comienza el recorrido alternativo debido a la obra hasta el punto que termina el recorrido alternativo.

Si solamente se incluyera la distancia en valor absoluto pero no el incremento de distancia relativo podría pasar lo que se muestra en la figura C.9, es decir, que dos alternativas con la misma distancia de recorrido durante la obra produjesen la misma respuesta del indicador, cuando, a igualdad del resto de parámetros, la alternativa (a) tiene un impacto mayor que la alternativa (b). Por este motivo es importante incluir tanto la distancia de recorrido durante la obra en valor absoluto como el incremento de distancia relativo.

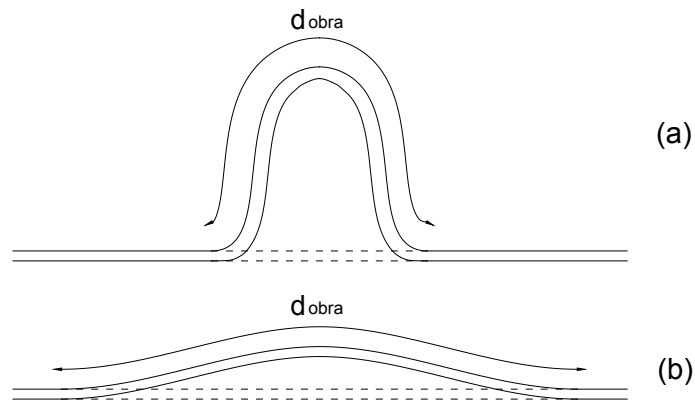


Figura C.9. Alternativas con la misma distancia de recorrido durante la obra pero con incrementos de distancia relativos muy distintos.

En las ecuaciones C.18 a C.21 se muestra la respuesta de los indicadores del primer ejemplo, sin tener en cuenta la distancia de recorrido en valor absoluto (ecuaciones C.18 y C.19) y teniendo en cuenta la distancia de recorrido en valor absoluto en fase de obra (ecuaciones C.20 y C.21).

$$I_{2.2}(\text{alternativa 1}) = \frac{t \cdot n \cdot 2 \cdot 1}{1} = 2 \cdot t \cdot n \text{ días} \quad (\text{C.18})$$

$$I_{2.2}(\text{alternativa 2}) = \frac{t \cdot n \cdot 2 \cdot 1}{1} = 2 \cdot t \cdot n \text{ días} \quad (\text{C.19})$$

$$I_{2.2}(\text{alternativa 1}) = \frac{t \cdot n \cdot 2 \cdot 1000 \cdot 1}{1} = 2000 \cdot t \cdot n \text{ días} \cdot m \quad (\text{C.20})$$

$$I_{2.2}(\text{alternativa 2}) = \frac{t \cdot n \cdot 2 \cdot 20000 \cdot 1}{1} = 40000 \cdot t \cdot n \text{ días} \cdot m \quad (\text{C.21})$$

El incremento de precio relativo que experimenta el usuario de transporte colectivo debido a la obra se expresa como un factor que multiplica al precio original, es decir, en tanto por uno. Si no se produce un incremento de precio, el factor que multiplica el precio original toma el valor de la unidad.

El incremento relativo de la capacidad se define como la capacidad final dividida por la capacidad inicial. Se incluye para recoger el caso en que existen varias vías y una o varias sufren un corte durante la obra. En este caso no hay un incremento de distancia de recorrido pero sí un incremento de tráfico por el resto de vías no cortadas, que se ven afectadas indirectamente por la obra.

En caso de corte de carriles donde existen varios carriles o corte de vías donde existen varias vías se define como el número de carriles o vías por las que circula el tráfico de los carriles o vías cortados durante la obra dividido entre el número de carriles o vías anterior más el número de carriles o vías cortados. Por ejemplo, si en una estación de cuatro vías por sentido se anula una vía durante las obras, el incremento relativo de capacidad es de $3/4$ (se produce un decremento de la capacidad).

En caso de anulación de parada o estación se supone que las personas que utilizaban la parada o estación anulada utilizarán la parada o estación no anulada más cercana, es decir, la parada o estación adyacente a la anulada (inmediatamente anterior o posterior). Partiendo de esta hipótesis, se define el incremento relativo de capacidad como el número de paradas o estaciones que utilizan las personas que utilizaban las paradas o estaciones anuladas por la obra (es decir, dos, a excepción de anular la parada o estación final de la línea, que en ese caso sería uno) dividido entre el número de estaciones o paradas anterior más el número de estaciones o paradas anuladas. En caso de anulación de una o dos paradas o estaciones se producen los incrementos relativos de capacidad mostrados en la tabla C.16.

Tabla C.16. Incrementos relativos de capacidad en caso de anulación de una o dos paradas o estaciones según la ubicación de la parada o estación en la línea.

Número de paradas o estaciones anuladas	Tipo de parada o estación anulada	
	Intermedia	Final de línea
1	2/3	1/2
2	2/4	1/3

Se es consciente de que si se anulan varias paradas o estaciones consecutivas y la parada o estación más cercana en funcionamiento está excesivamente lejos, el usuario puede buscar otro medio de transporte.

En caso de anulación de un acceso a una parada de metro o estación con varios accesos el incremento de capacidad se define como el número de accesos a la parada de metro o estación disponibles durante la obra dividido entre el número total de accesos a la parada de metro o estación.

En caso de desvío de carril o vía o desplazamiento de parada o estación la capacidad no se modifica y por tanto el incremento de capacidad relativo es igual a la unidad.

A continuación se muestran varios ejemplos de aplicación del presente indicador.

Ejemplo 1. Una línea de autobuses utilizada por 2.000 personas al día se desvía de su recorrido durante 6 meses por la ejecución de una obra como se muestra en la figura C.10, lo que supone también el desplazamiento de una parada que utilizan 200 personas al día. En las ecuaciones C.22 y C.23 se calcula la respuesta del indicador.

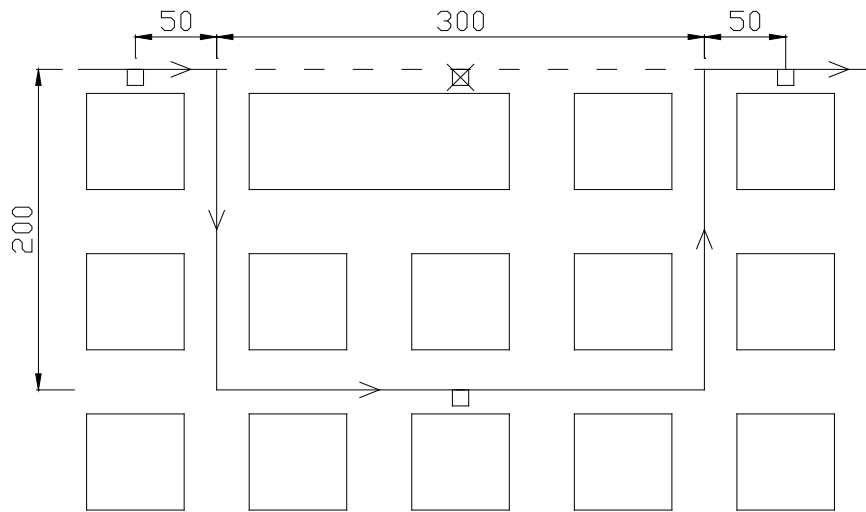


Figura C.10. Planta de la afección a una línea de autobuses y una parada.

$$\Delta d_{carril} = \frac{200+300+200}{300} = 2,33 \quad \text{y} \quad \Delta d_{parada} = \frac{400}{200} = 2 \quad (\text{C.22})$$

$$I_{2.2} = \frac{180 \text{ días} \cdot 2000 \frac{\text{pers}}{\text{día}} \cdot 2,33 \cdot 0,70 \text{ km} \cdot 1}{1} + \frac{180 \text{ días} \cdot 200 \frac{\text{pers}}{\text{día}} \cdot 2 \cdot 0,40 \text{ km} \cdot 1}{1} =$$

$$= 587160 \text{ pers} \cdot \text{km} + 28800 \text{ pers} \cdot \text{km} = 615,960 \cdot 10^3 \text{ pers} \cdot \text{km} \quad (\text{C.23})$$

Ejemplo 2. Unas obras afectan a un acceso de una parada de metro que tiene un total de 2 accesos durante 3 meses, como se muestra en la figura C.11. La parada de metro la utilizan 400 personas al día. En las ecuaciones C.24 y C.25 se calcula la respuesta del indicador.

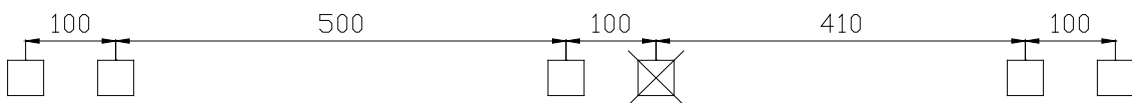


Figura C.11. Planta de la afección a un acceso al metro en una parada con dos accesos.

$$\Delta d_{acceso} = \frac{100+410}{500} = 1,02 \quad \text{y} \quad \Delta Cap_{acceso} = \frac{1}{2} = 0,5 \quad (\text{C.24})$$

$$I_{2.2} = \frac{90 \text{ días} \cdot 400 \frac{\text{pers}}{\text{día}} \cdot 1,02 \cdot 0,510 \text{ km} \cdot 1}{0,5} = 37,454 \cdot 10^3 \text{ pers} \cdot \text{km} \quad (\text{C.25})$$

Ejemplo 3. El mismo ejemplo anterior pero para una estación de metro con cuatro accesos, como se muestra en la figura C.12. En las ecuaciones C.26 y C.27 se calcula la respuesta del indicador.

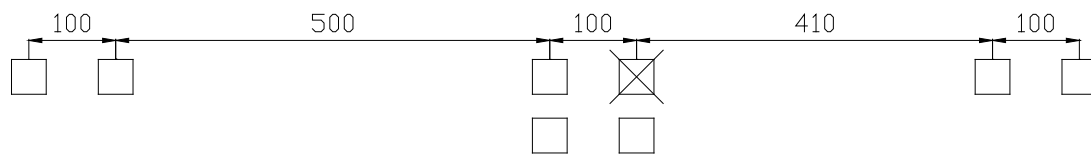


Figura C.12. Planta de la afección a un acceso al metro en una parada con cuatro accesos.

$$\Delta d_{\text{acceso}} = \frac{500}{500} = 1,00 \text{ y } \Delta Cap_{\text{acceso}} = \frac{3}{4} = 0,75 \quad (\text{C.26})$$

$$I_{2.2} = \frac{90 \text{ días} \cdot 400 \frac{\text{pers}}{\text{día}} \cdot 1,00 \cdot 0,500 \text{ km} \cdot 1}{0,75} = 24,000 \cdot 10^3 \text{ pers} \cdot \text{km} \quad (\text{C.27})$$

Ejemplo 4. En una estación de ferrocarril con 3 vías por sentido se corta una vía en una longitud de 500 metros durante 8 meses. Cada una de las tres vías la utilizan una media de 2.000 personas al día.

En este caso el indicador considera la afección a las 3 vías, la que se corta porque dejan de circular los trenes por ella y las otras dos porque habrá un incremento en el tráfico de trenes. Aunque, en principio, los usuarios no tendrían que notar ninguna afección en el servicio, es más probable que se produzcan retrasos en los trenes. En las ecuaciones C.28 y C.29 se calcula la respuesta del indicador.

$$\Delta d_{\text{vías}} = 1,00 \text{ y } \Delta Cap_{\text{estación (mismo sentido)}} = \frac{2}{3} = 0,67 \quad (\text{C.28})$$

$$I_{2.2} = \frac{240 \text{ días} \cdot 3 \cdot 2000 \frac{\text{pers}}{\text{día}} \cdot 1,00 \cdot 0,500 \text{ km} \cdot 1}{0,67} = 1074,627 \cdot 10^3 \text{ pers} \cdot \text{km} \quad (\text{C.29})$$

En caso de que no se conozca el número de personas afectadas por la afección a las paradas o estaciones o por la afección a los carriles o vías, no se incluye este dato en el indicador.

Como futuras líneas de investigación, en caso de afección a paradas de metro o estaciones de ferrocarril situadas a un nivel distinto de la calle, se puede estudiar la definición de un indicador que diferencie entre tipos de acceso afectado: escalera normal, escalera mecánica o ascensor. Esta diferenciación se puede llevar a cabo mediante la inclusión de unos coeficientes que representen la molestia causada a una persona que utiliza el acceso. Si no se conoce el número de personas que utilizan cada tipo de acceso, no se deberían utilizar estos coeficientes porque, aunque el impacto de cerrar un ascensor sobre una persona con movilidad reducida es mucho mayor que el impacto de cerrar una escalera normal sobre una persona sin movilidad reducida, el número de personas que utilizan las escaleras normales es mucho mayor que el número de personas que utilizan el ascensor y ello no quedaría reflejado en el indicador.

C.1.2.3. Transporte no colectivo

Se consideran los siguientes medios de transporte:

- Ciclomotores
- Coches
- Furgonetas
- Motocicletas
- Taxis
- VAO
- Otros

Aunque el taxi se considera un transporte público, por su forma de funcionar (no sigue una ruta preestablecida sino según el destino que le pida el cliente) se asemeja más a un transporte privado y el indicador que mide su afección se puede definir igual que el resto de transportes no colectivos. Por este motivo y a efectos de la presente metodología, el taxi se incluye en el presente subcriterio.

Aunque para poder circular por un carril VAO sea necesaria una ocupación mínima del vehículo, normalmente de 2 o 3 personas, esta ocupación sigue siendo mucho menor que en el transporte colectivo. Por este motivo la afección a los carriles VAO se considera dentro del presente subcriterio.

Como se ha comentado, el transporte no colectivo puede verse afectados por un desvío o corte temporal en los carriles y por la eliminación de plazas de estacionamiento (tabla C.14).

Según el borrador del Manual de qualitat de les obres a la ciutat de Barcelona (Ajuntament de Barcelona, 2013), en caso de que las obras afecten a la calzada se tienen que prever las medidas a llevar a cabo. El Manual de qualitat de les obres (Ajuntament de Barcelona, 1999) hace referencia a los cortes de carriles o desvíos en vías con alta densidad de circulación de vehículos; en esos casos se tienen que prever itinerarios alternativos desde la distancia necesaria para desviar el tráfico de paso fuera del ámbito de la obra.

Para la presente metodología, se define el indicador de la afectación a los carriles como:

El sumatorio, para los carriles afectados en las fases de obra, del tiempo de afección multiplicado por la IMD del carril, por la ocupación media de los vehículos y por el grado de afección.

Si no se conoce la Intensidad Media Diaria (IMD) de todos los carriles o vías cortadas, no se incluye este factor en el indicador. Si no se conoce el número medio de personas por vehículo del carril, se pueden tomar los datos mostrados en la tabla C.17.

Tabla C.17. Ocupación media de los vehículos según el tipo de carril.

Tipo de carril	Ocupación media de los vehículos (personas/vehículo)
Convencional en Barcelona o lugar asimilable ¹	1,21
VAO	Número mínimo de personas para circular por el carril VAO

¹ La ocupación media por vehículo en Barcelona se ha obtenido del Plan de Movilidad Urbana de Barcelona (Ajuntament de Barcelona, 2012)

El grado de afección se puede cuantificar como el incremento de distancia relativo de recorrido multiplicado por la distancia de recorrido en valor absoluto en el tramo afectado durante la obra, multiplicado por el incremento de precio del recorrido alternativo y dividido entre el incremento relativo de capacidad.

Análogamente al transporte público colectivo, se planteó la posibilidad de incluir el incremento de tiempo del recorrido alternativo en el indicador, en lugar del incremento de distancia, pero se descartó por los motivos que ya se han comentado.

El incremento de distancia relativo se expresa como factor que multiplica la distancia de recorrido sin obra, es decir, es la distancia de recorrido durante la ejecución de la obra dividida entre la distancia de recorrido sin la obra. Análogamente al transporte colectivo, se ha optado por definir el incremento de distancia como un factor en lugar de una diferencia de distancias de recorrido porque de esta forma también queda recogido en el indicador el corte de un solo carril en una calzada con varios carriles en el mismo sentido. Si se cortase un carril, el incremento de distancia de recorrido en valor absoluto sería cero porque el recorrido por el resto de carriles de la calzada tiene la misma distancia; en cambio, el factor multiplicativo de la distancia original toma el valor de la unidad y el indicador recoge esta situación.

Análogamente al transporte colectivo y por los motivos allí comentados, se incluye la distancia en valor absoluto, definida como la distancia de recorrido en fase de obra, y medida desde el punto que comienza el recorrido alternativo debido a la obra hasta el punto que termina el recorrido alternativo.

Análogamente al incremento de distancia relativo, el incremento de precio relativo se expresa como un factor que multiplica el precio original. Si el recorrido alternativo no supone un incremento de precio, este factor toma el valor de la unidad. Si el precio durante la obra es menor que el precio sin obra, el incremento de precio es menor que la unidad, lo que haría disminuir el valor del indicador.

Normalmente, si se corta una carretera gratuita debido a las obras y la carretera alternativa es de peaje, se permite circular de forma gratuita por la carretera alternativa mientras dure la afección por las obras. Si se diera el caso de que el recorrido inicial fuese gratuito y el recorrido durante la obra no, el incremento en valor relativo tomaría el valor de infinito. Por ello, cuando en alguna alternativa suceda eso, el incremento de precio se expresa en valor absoluto para todas las alternativas, es decir, el precio del recorrido durante la obra menos el precio del recorrido sin la obra. Para incrementos de precio inferiores a la unidad se toma el valor de la unidad.

Además del incremento de coste debido al peaje, existe un incremento de coste debido al incremento de consumo de combustible, que es debido al incremento de la distancia del trayecto. Como el incremento de consumo es proporcional al incremento de distancia recorrida, además de otros factores, se considera que el incremento de coste debido a un mayor consumo de combustible está implícito en el incremento de distancia recorrida y no se contabiliza explícitamente en el indicador.

El corte de un carril implica que los vehículos que, en situación normal, circularían por ese carril, en situación de obra circulan por otros carriles produciendo un incremento en su IMD e incluso pudiendo llegar a congestionarlos. En este caso no hay un incremento de distancia de recorrido pero sí un incremento de tráfico por el resto de carriles no cortados, que se ven afectados indirectamente por la obra. Este impacto queda recogido en el indicador como el incremento relativo de la capacidad que se define como la capacidad final dividida entre la capacidad inicial. Es el número de carriles por los que circula el tráfico de los carriles cortados durante la obra dividido entre el número de carriles totales (número de carriles cortados y número de carriles que experimenta un incremento de tráfico procedente de los carriles cortados). Por ejemplo, si en una calle de un solo sentido con cuatro carriles se corta un carril durante una fase de la obra, el incremento relativo de capacidad es de 3/4. En caso de desvío de carril, la capacidad no se modifica y por tanto el incremento de capacidad relativo es igual a la unidad.

A continuación se muestran varios ejemplos de aplicación del presente indicador.

Ejemplo 1. Dos carriles con una IMD de 500 cada uno se desvían durante un año en un tramo de 2 km de modo que el recorrido final es de 3 km como se muestra en la figura C.13. En las ecuaciones C.30 y C.31 se calcula la respuesta del presente indicador.

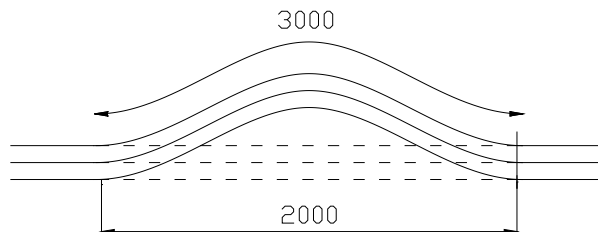


Figura C.13. Planta del desvío de los carriles.

$$\Delta d = \frac{3}{2} = 1,50 \tag{C.30}$$

$$I_{2.2} = \frac{365 \text{ días} \cdot \frac{1,21 \text{ pers}}{\text{veh}} \cdot 2 \cdot \frac{500 \text{ veh}}{\text{día}} \cdot 1,50 \cdot 3 \text{ km} \cdot 1}{1} = 1987,425 \cdot 10^3 \text{ pers} \cdot \text{km} \tag{C.31}$$

Ejemplo 2. En una calle de sentido único y tres carriles se corta un carril en un tramo de 200 m durante 4 meses (figura C.14). La IMD es de 600 para cada uno de los carriles. En este caso hay tres carriles afectados, el que se corta y los otros dos porque tendrán un incremento de tráfico (ecuaciones C.32 y C.33).

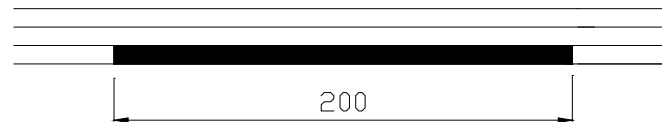


Figura C.14. Planta del corte del carril.

$$\Delta d = 1,00 \text{ y } \Delta Cap = \frac{2}{3} \quad (\text{C.32})$$

$$I_{2.2} = \frac{120 \text{ días} \cdot \frac{1,21 \text{ pers}}{\text{veh}} \cdot 3 \cdot \frac{600 \text{ veh}}{\text{día}} \cdot 1,00 \cdot 0,200 \text{ km} \cdot 1}{\frac{2}{3}} = 78,408 \cdot 10^3 \text{ pers} \cdot \text{km} \quad (\text{C.33})$$

Ejemplo 3. En una carretera de 3 carriles en el mismo sentido se corta un carril en un tramo de cuatro kilómetros y se desvía otro carril esa misma longitud de forma que el recorrido final del carril desviado es de 6 kilómetros (figura C.15). Cada carril tiene una IMD de 400. Todas las afecciones duran 6 meses. En este caso los tres carriles resultan afectados, el cortado, el que se desvía por el incremento de longitud e incremento de tráfico y el tercer carril por incremento de tráfico (ecuaciones C.34 a C.36).

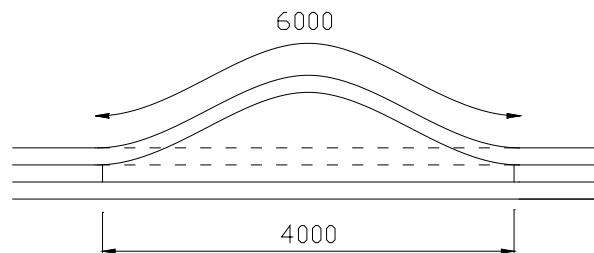


Figura C.15. Planta de corte de un carril y desvío de otro.

$$\Delta d_{\text{carril desviado}} = \frac{6}{4}, \quad \Delta d_{\text{resto de carriles}} = 1 \quad (\text{C.34})$$

$$\Delta Cap_{\text{conjunto de carriles}} = \frac{2}{3} \quad (\text{C.35})$$

$$I_{2.2} = \frac{180 \text{ días} \cdot \frac{1,21 \text{ pers}}{\text{veh}} \cdot 3 \cdot \frac{400 \text{ veh}}{\text{día}} \cdot \left(\frac{6}{4} \cdot 6 \text{ km} + 1 \cdot 4 \text{ km} + 1 \cdot 4 \text{ km} \right) \cdot 1}{\frac{2}{3}} = 6664,680 \cdot 10^3 \text{ pers} \cdot \text{km} \quad (\text{C.36})$$

Según el borrador del Manual de qualitat de les obres a la ciutat de Barcelona (Ajuntament de Barcelona, 2013), hay que gestionar con los servicios técnicos del distrito los desplazamientos de plazas de aparcamiento reservadas a personas con movilidad reducida, de carga y descarga, etc. afectados por las obras. Las zonas de carga y descarga afectadas se tienen que desplazar al lugar más cercano con el mismo número de plazas o espacio. En caso de no poder realizar el desplazamiento hay que plantearse ejecutar la obra por fases que permitan mantener las plazas. En caso de afectar una parada de taxis se tiene que proponer la reubicación en el lugar cercano más adecuado, teniendo en cuenta que debe ser una zona visible y concurrida.

A efectos de la presente metodología, se define el indicador de la afectación a las plazas de estacionamiento como:

El sumatorio, para las plazas de estacionamiento eliminadas en las distintas fases de obra, del tiempo de afección multiplicado por el número de plazas de estacionamiento eliminadas y por el grado de afección.

El grado de afección se puede cuantificar como el incremento del precio del aparcamiento multiplicado por un coeficiente según el tipo de plaza y por un coeficiente según el tipo de afección causado por la obra a la plaza de estacionamiento.

Idealmente, el grado de afección incluiría el incremento medio de tiempo de búsqueda de aparcamiento que supone la eliminación de las plazas de aparcamiento, pero este dato no es conocido. Alternativamente se podría incluir la distancia entre la zona de estacionamiento eliminada y la zona de estacionamiento más cercana pero este dato no tienen sentido en caso de plazas diseminadas a lo largo de las calles, pues se desconoce la distancia que se tiene que recorrer hasta encontrar una plaza libre. La casuística de las distancias complicaría en exceso el indicador.

El incremento del precio de aparcamiento se expresa como factor que multiplica el precio original, es decir, en tanto por uno. Si el precio por día de la plaza de estacionamiento sin obra es el mismo que el precio por día de la plaza de estacionamiento con obra, el incremento de precio relativo toma el valor de la unidad, así como si en ambas situaciones la plaza de estacionamiento es gratuita.

Si se diera el caso de que la zona de estacionamiento previa a la obra fuese gratuita y la zona de estacionamiento alternativa durante la obra no, el incremento en valor relativo tomaría el valor de infinito. Por ello, cuando en alguna alternativa suceda eso, el incremento de precio se expresa en valor absoluto para todas las alternativas, es decir, el precio por día de una plaza durante la obra menos el precio por día de una plaza sin la obra. Si el incremento de precio calculado de esta forma fuese inferior a la unidad, al multiplicarlo por el resto de factores del indicador, haría disminuir la respuesta del indicador, cuando en realidad se produce un aumento en el precio. Por este motivo, para incrementos de precio en valor absoluto inferiores a la unidad, se toma el valor de la unidad.

El impacto social de la afectación a una plaza de estacionamiento depende del tipo de plaza: convencional, de taxis, de autobuses cerca de un elemento del patrimonio, de carga y descarga o reservada a personas con movilidad reducida. Además, dentro de las plazas de taxis se distinguen dos casos:

- Las que están ubicadas delante o muy cerca de otro servicio, como un hospital, hotel, estación de tren o autobuses, aeropuerto, centro comercial, etc. y captan sus clientes, mayoritariamente, de entre las personas que salen del servicio.
- El resto de paradas, que no están ubicadas muy cerca de otro servicio y, en general, captan los clientes de la gente que pasa por la calle.

Desplazar una parada de taxis del primer tipo puede tener un impacto mayor que desplazar una parada de taxis del segundo tipo ya que los aleja de su fuente principal

de clientes. En la tabla C.18 se muestran los coeficientes a aplicar según el tipo de plaza afectada.

Tabla C.18. Coeficiente según el tipo de plaza de estacionamiento afectada por las obras.

Tipo de plaza de estacionamiento	Coeficiente de tipo
Convencional	1
Taxis no asociada a un servicio	1
Taxis asociada a algún servicio (hospital, hotel, estación de tren o autobuses, aeropuerto, etc.)	5
Autobuses cercana a un elemento de patrimonio visitable	5
Carga y descarga	5
Reservada a personas con movilidad reducida	10

El grado de afección también depende del tipo de afección generado por la obra, es decir, de si el estacionamiento se desplaza o se anula, y queda recogido mediante un coeficiente de afección que se define de forma análoga al coeficiente de afección de los servicios desplazables o prescindibles, de la tabla C.4.

Además del impacto social por la afección las plazas de estacionamiento (Imp. social_{2.3.2}) se obtiene el impacto social de la afección a los carriles (Imp. social_{2.3.1}). Para obtener el impacto social del subcriterio (Imp. social_{2.3}) se realiza una suma ponderada de los dos impactos sociales (Imp. social_{2.3.1} y Imp. social_{2.3.2}) utilizando los pesos de la tabla 4.7 asignados por expertos. En general, los pesos de la tabla son adecuado, pero, si se desea, se pueden acabar de ajustar a las condiciones reales de entorno. Así, por ejemplo, supongamos un pueblo situado en las montañas, que solamente tiene dos vías de acceso, una de las cuales implica un recorrido largo con muchas curvas y la otra vía de acceso es mucho más corta, rápida y sin tantas curvas. En el pueblo no hay problema de aparcamiento pues existen muchas zonas para estacionar vehículos. En este caso, la afección a la vía principal de acceso al pueblo tendría una importancia mucho mayor que la afección a alguna zona de estacionamiento. En cambio, en una ciudad, si se corta una calle, en general, existen muchos recorridos alternativos similares; sin embargo, encontrar aparcamiento puede suponer un problema incluso en condiciones sin obra. Por lo tanto, en este caso sería más importante la afectación a las plazas de estacionamiento.

En el caso que todas las alternativas estudiadas solamente tengan afección a carriles o solamente tengan afección a plazas de estacionamiento, el impacto del subcriterio es el impacto del indicador distinto de cero, no hay que ponderar por el indicador nulo, ya que no es discriminante entre alternativas.

C.1.2.4. Bicicletas

En el presente apartado se considera la afectación a:

- Bicicletas
- Resto de ciclos

Las bicicletas pueden desplazarse por vías especiales para este medio de transporte como carril bici, senda ciclable, etc. o por los carriles normales de tráfico. Además, existen estacionamientos públicos para bicicletas y estacionamientos para bicicletas pertenecientes a sistemas de transporte público.

Según el borrador del Manual de qualitat de les obres a la ciutat de Barcelona (Ajuntament de Barcelona, 2013), en la planificación de obra se tienen que prever los itinerarios provisionales alternativos de los servicios de Bicing que se vean afectados (Bicing es un servicio público de alquiler de bicicletas para transporte en Barcelona).

En caso de desvío o corte de algún carril especial para ciclos se define el siguiente indicador:

Sumatorio, para los carriles para ciclos afectados en las distintas fases de obra, del tiempo de afección multiplicado por el número de ciclos afectados y por el grado de afección.

El número de ciclos afectados es la Intensidad Media Diaria de ciclos. Si no se conoce este dato, situación bastante probable, puede aplicarse el indicador sin incluirlo.

El grado de afección se define como el incremento de distancia que supone el corte o desvío del carril (expresado como un factor que multiplica la distancia original, es decir, en tanto por uno) multiplicado por la distancia de recorrido en valor absoluto en el tramo afectado durante la obra y por un coeficiente de incremento de peligrosidad del recorrido alternativo.

El incremento de distancia se expresa como factor que multiplica la distancia de recorrido sin obra, es decir, es la distancia de recorrido durante la ejecución de la obra dividida entre la distancia de recorrido sin la obra. Análogamente a los dos anteriores subcriterios, se ha optado por definir el incremento de distancia como un factor en lugar de una diferencia porque de esta forma también queda recogido en el indicador el corte de un carril bici en una calle con carriles convencionales sin cortar y sin un carril bici cercano como ruta alternativa. En ese caso, la diferencia de distancias de recorrido con obra y sin obra es cero; en cambio, el factor multiplicativo de la distancia original toma el valor de la unidad y el indicador puede recoger esta situación.

Análogamente al transporte colectivo y no colectivo, se incluye la distancia de recorrido en valor absoluto en el tramo afectado durante la obra, medida desde el punto que comienza el recorrido alternativo debido a la obra hasta el punto que termina el recorrido alternativo.

En cuanto a la peligrosidad, se pueden dar varias situaciones: que el recorrido alternativo se realice por un carril bici segregado del resto de vehículos o que no exista un carril bici cercano y el recorrido alternativo se tenga que realizar por un carril

convencional. A su vez, el carril convencional puede tener distintas densidades de tráfico. Todas estas situaciones se tienen que valorar de forma distinta por lo que en la tabla C.19 se muestra una propuesta de coeficientes de incremento de peligrosidad.

Tabla C.19. Coeficiente de incremento de peligrosidad según el entorno del recorrido alternativo.

Recorrido alternativo equivalente		Coeficiente de incremento de peligrosidad
Por carril especial para ciclos		1
Por carril convencional (no existe un carril especial para ciclos con recorrido equivalente)	con poco tráfico	2
	con alta densidad de tráfico	5

De acuerdo con el borrador del Manual de qualitat de les obres a la ciutat de Barcelona (Ajuntament de Barcelona, 2013), según la duración de la afectación, se propone anular temporalmente la parada de Bicing. En caso de duraciones largas, se plantea reubicar la parada en el lugar cercano más adecuado teniendo en cuenta la proximidad a la siguiente parada.

La afectación a los módulos para el estacionamiento de bicicletas ya sean de uso público o de servicios de alquiler de bicicletas públicas se puede evaluar de la siguiente forma:

Sumatorio, para los estacionamientos de bicicletas afectados por la obra en sus distintas fases, del tiempo de afección multiplicado por el número de plazas afectadas y por el grado de afección.

El grado de afección depende de si el estacionamiento se desplaza o se anula y se define de forma análoga al de los servicios desplazables o prescindibles y al de las plazas de estacionamiento no colectivo, utilizando los coeficientes de la tabla C.4.

Se considera que tiene la misma importancia afectar una plaza de estacionamiento pública que a una plaza de estacionamiento de un servicio de alquiler de bicicletas. Como futuras líneas de investigación se puede buscar otra ponderación.

Para el presente subcriterio se han definido dos indicadores, uno para la afección a los carriles bici y otro para la afección a las plazas de estacionamiento de bicicletas. Para cada indicador se obtiene su correspondiente impacto social (ecuación 7.2 o 7.3). Para obtener el impacto social del subcriterio ($\text{Imp. social}_{2.4}$) se realiza una suma ponderada del impacto social de cada indicador ($\text{Imp. social}_{2.4.1}$ y $\text{Imp. social}_{2.4.2}$) utilizando los pesos de la tabla 4.7 asignados por expertos.

En el caso que todas las alternativas estudiadas solamente tengan afección a carriles bici o solamente tengan afección a plazas de estacionamiento, el impacto del subcriterio es el impacto del indicador distinto de cero, no hay que ponderar por el indicador nulo, ya que no es discriminante entre alternativas.

C.1.2.5. Peatones

En el presente apartado se considera la afectación a:

Peatones

El grado de afección a los peatones depende de múltiples factores como la disminución de la anchura de paso, el incremento de la distancia de recorrido, si se corta el acceso a las viviendas durante un período de tiempo, etc.

El Manual de qualitat de les obres (Ajuntament de Barcelona, 1999) dice que es necesario estudiar los itinerarios para paso de peatones, intentando que a lo largo de la obra cambien de situación lo mínimo posible y los pasos de acceso a edificios, aparcamientos, etc.

En el check-list de inspección de la ambientalización de las obras (Ajuntament de Barcelona, 2009a) se incluyen varios aspectos a verificar de los pasos temporales de peatones (medidas, pendiente, pavimento, protección y limpieza) y de la afección a los accesos a viviendas y a servicios básicos como contenedores (garantía de acceso y limpieza).

Según el borrador del Manual de qualitat de les obres a la ciutat de Barcelona (Ajuntament de Barcelona, 2013) la ocupación de la obra debe permitir, bajo cualquier circunstancia, el acceso a viviendas. En caso de que ello no sea posible, se tiene que tratar con los afectados los detalles de la afección y su compensación. Si la ocupación afecta itinerarios de peatones hay que prever itinerarios provisionales alternativos que deben garantizar las condiciones de accesibilidad establecidas por la normativa vigente.

A semejanza de los indicadores definidos para el transporte colectivo y no colectivo y a efectos de la presente metodología, se define el indicador de impacto social a los peatones como:

El sumatorio, para las zonas peatonales inaccesibles para los peatones debido a la ocupación de la obra en sus distintas fases, del tiempo de afección multiplicado por el grado de afección y por el coeficiente de densidad de la zona peatonal.

Se entiende como zona peatonal las aceras, los pasos de peatones, las calles con la señal S-28 de calle residencial (figura C.16) y, en general, las zonas de la vía pública donde los peatones tienen prioridad.



Figura C.16. Señal de tráfico S-28 de calle residencial.

Se define como grado de afección, el ancho de la zona peatonal previo a las obras multiplicado por el incremento relativo de distancia del recorrido de los peatones,

multiplicado por la distancia de recorrido de los peatones en valor absoluto durante la afección de la obra y dividido por el incremento relativo de ancho peatonal.

El incremento relativo de distancia del recorrido de los peatones se expresa como factor que multiplica la distancia de recorrido original de los peatones, es decir, en tanto por uno, y define como distancia de recorrido de los peatones durante la afección de la obra a la zona peatonal dividido entre la distancia de recorrido de los peatones previa a la afección de la obra.

El incremento relativo de ancho del recorrido de los peatones se expresa como factor que multiplica el ancho de recorrido original de los peatones, es decir, en tanto por uno, y define como ancho del recorrido de los peatones durante la afección de la obra a la zona peatonal dividido entre el ancho del recorrido de los peatones previo a la afección de la obra.

El coeficiente de densidad depende de la afluencia de peatones a la zona peatonal que será afectada por la obra. En la tabla C.20 se muestran los coeficientes a utilizar según la densidad de peatones.

Tabla C.20. Coeficientes de densidad según la densidad de peatones en la zona afectada por la obra.

Densidad de peatones	Coeficiente
Baja	0,5
Media	1
Alta	5

A efectos de la presente metodología se definen las densidades de peatones:

- Baja: zona con pocas viviendas, pocos servicios y comercios, donde pasa algún peatón muy de vez en cuando. Ejemplos de baja densidad serían alguna calle en las afueras de ciudad, aceras de polígonos industriales, etc.
- Media: zona mayoritariamente de viviendas y algunos comercios con un flujo de personas bastante constante pero no muy denso. Un ejemplo sería una calle típica del Ensanche barcelonés que no pertenezca a ninguna zona comercial.
- Alta: zona con un elevado número de comercios, con un flujo continuo y elevado número de personas. Algunos ejemplos serían la calle del Portal de l'Àngel de Barcelona, las pequeñas calles turísticas del casco antiguo de Barcelona alrededor de la catedral, la calle Serrano de Madrid o la Puerta del Sol de Madrid.

El Manual de qualitat de les obres (Ajuntament de Barcelona, 1999) hace referencia a las vías de alta densidad de circulación de peatones y recomienda aumentar los anchos mínimos establecidos para los pasos provisionales o itinerarios para peatones con el fin de evitar la acumulación de personas en los puntos de estrechamiento del paso. Según el borrador del Manual de qualitat de les obres a la ciutat de Barcelona (Ajuntament de Barcelona, 2013) se deben extremar las medidas en las zonas de gran afluencia de público como pueden ser zonas de gran valor patrimonial, de gran importancia comercial, de rutas escolares y universitarias y en los alrededores de centros educativos y en las zonas de intercambiadores de transporte público. Estas

zonas son susceptibles de clasificarse como zona de elevada densidad para la presente metodología.

De acuerdo con el borrador del Manual (Ajuntament de Barcelona, 2013), las zonas de gran importancia comercial incluyen:

- Ejes comerciales, compuestos por una o más calles comerciales principales y un conjunto de calles adyacentes con comercios.
- Mercados y sus alrededores.
- Mercados y ferias en la calle, con ubicación espacial fija pero discontinuas en el tiempo, aunque, normalmente, periódicos.
- Centros comerciales. Se consideran dentro de esta categoría los centros comerciales, las galerías comerciales, los grandes almacenes, Mercabarna, etc.

A continuación se muestra un ejemplo de aplicación del presente indicador (ecuación C.37). Una zona peatonal de densidad media se ve afectada durante 2 semanas como se muestra en la figura C.17.

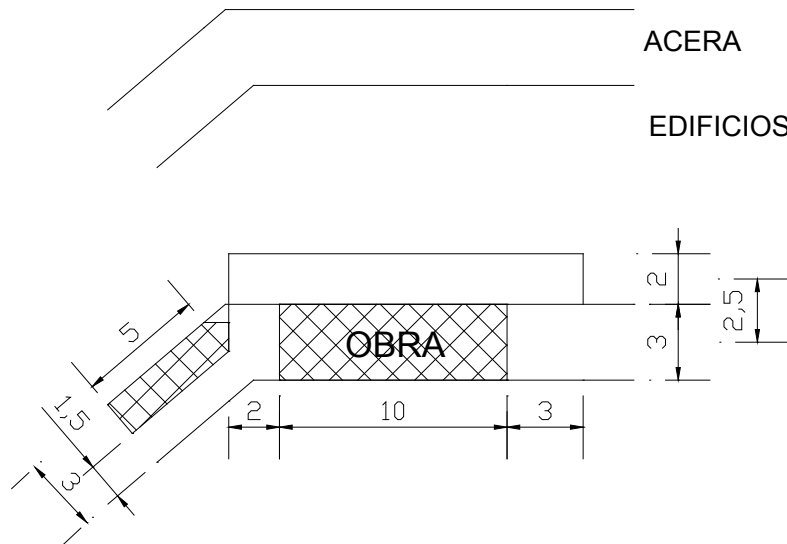


Figura C.17. Planta de afección a una zona peatonal.

$$I_{2.5} = 14 \text{ días} \cdot 1 \cdot \left(\frac{3 \text{ m} \cdot 1.5 \text{ m}}{\frac{1.5 \text{ m}}{3 \text{ m}}} + \frac{3 \text{ m} \cdot \frac{15 \text{ m}}{10 \text{ m}} \cdot 1.5 \text{ m}}{\frac{2 \text{ m}}{3 \text{ m}}} \right) = 1837,5 \text{ días} \cdot \text{m}^2 \quad (\text{C.37})$$

En caso de que no se dispongan de todos los datos anteriores, se puede aplicar el siguiente indicador en su lugar:

El sumatorio, para las zonas peatonales inaccesibles para los peatones debido a la ocupación en las distintas fases de obra, del tiempo de afección multiplicado por la superficie peatonal ocupada por la obra y por el coeficiente de densidad.

La aplicación del anterior indicador es más sencilla y más rápida. Sin embargo, no es tan preciso y, a igualdad de superficie peatonal ocupada por la obra, no recoge variaciones en el impacto de la obra en los peatones. En la figura C.18. se muestra un ejemplo que lo ilustra. La superficie peatonal ocupada por la obra durante un mes en

una zona de densidad media es la misma en ambas alternativas, sin embargo el impacto sobre los peatones es mucho mayor en (a) que en (b), ya que aumenta la distancia de recorrido y disminuye el ancho de paso. La diferencia de impacto queda recogida en las respuestas del indicador calculado de la primera forma (ecuaciones C.38 y C.39), pero no en las respuestas del indicador calculado de la segunda forma (ecuación C.40).

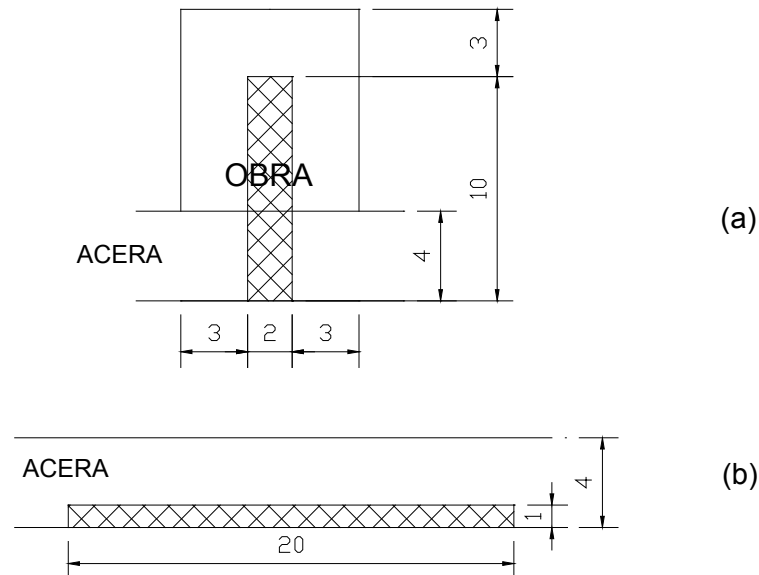


Figura C.18. Planta de la ocupación de la obra de la zona peatonal con la misma superficie de ocupación y distinto impacto ambiental.

$$I_{2.5}(\text{alternativa } a) = \frac{30 \text{ días} \cdot 1 \cdot 4 \text{ m} \cdot \frac{28 \text{ m}}{8 \text{ m}} \cdot 28 \text{ m}}{\frac{3 \text{ m}}{4 \text{ m}}} = 15680 \text{ días} \cdot \text{m}^2 \quad (\text{C.38})$$

$$I_{2.5}(\text{alternativa } b) = \frac{30 \text{ días} \cdot 1 \cdot 4 \text{ m} \cdot 1 \cdot 20 \text{ m}}{\frac{3 \text{ m}}{4 \text{ m}}} = 3200 \text{ días} \cdot \text{m}^2 \quad (\text{C.39})$$

$$I_{2.5}(\text{alternativa } a) = I_{2.5}(\text{alternativa } b) = 30 \text{ días} \cdot 1 \cdot 20 \text{ m}^2 = 600 \text{ días} \cdot \text{m}^2 \quad (\text{C.40})$$

C.1.2.6. Tiempo sin la prestación del servicio de movilidad que se está construyendo

Como ya se ha comentado en el subcriterio 1.3, el plazo de la obra está incluido en la seguridad y salud de los trabajadores, en el impacto ambiental, en el resto de impactos sociales y en el coste. Solamente hay un concepto por el que el plazo no está incluido, que es la urgencia por empezar a utilizar la obra que se está construyendo.

El tiempo sin la prestación del servicio de la obra que se está construyendo para obras no relacionadas con la movilidad se recoge en el subcriterio 1.3. En el presente subcriterio se consideran únicamente las obras que una vez terminadas prestarán un servicio relacionado con la movilidad de las personas o mercancías, para ser coherentes con los pesos asignados al criterio 1, afectación a servicios, y 2, afectación a movilidad.

Se define el indicador del tiempo sin la prestación del servicio de movilidad que se está construyendo como:

El tiempo desde el inicio de la obra hasta que ésta puede empezar a utilizarse.

Análogamente al subcriterio 1.3, para la definición del presente indicador, se ha supuesto que todas las alternativas constructivas comparadas construyen una obra que dará servicio al mismo número de personas, independientemente de la alternativa constructiva. De no ser así, el indicador se definiría de la siguiente forma:

El tiempo desde el inicio de la obra hasta que ésta puede empezar a utilizarse multiplicado por el número de personas a las que dará servicio la obra terminada.

A la hora de realizar la asignación de pesos hay que tener en cuenta que el peso asignado al presente subcriterio debe reflejar solamente la importancia de tener la prestación del servicio que se está construyendo lo más pronto posible, pues la importancia del plazo por otros conceptos ya está incluida en los otros criterios y subcriterios.

C.2. LEGISLACIÓN ESPAÑOLA, AUTONÓMICA Y LOCAL CONSULTADA

En la tabla C.21 se lista la legislación española, autonómica y local consultada en la definición de los criterios, subcriterios e indicadores de impacto social de las obras, acompañada de un análisis jurídico.

Tabla C.21. Legislación social española, autonómica y local consultada relacionada con el impacto social de las obras.

Nombre abreviado	Legislación española	Análisis jurídico
LEY 16/1985	Ley 16/1985, de 25 de junio, del Patrimonio Histórico Español.	Deroga: Real Decreto 2832/1978, Ley 26/1972, Decreto 1641/1959, Ley de 22 de diciembre de 1955, Ley del Patrimonio Artístico Nacional de 13 de mayo de 1933, Ley de 10 de diciembre de 1931, Real Decreto-ley de 9 de agosto de 1926, Ley de excavaciones arqueológicas de 7 de julio de 1911; Afectada por: Ley 17/2012, Real Decreto-ley 20/2011, Real Decreto Legislativo 3/2004, Ley 62/2003, Ley 46/2003, Ley 24/2001, Resolución de 20 de noviembre de 2001, Ley 50/1998, Ley 43/1995, Ley 42/1994, Ley 30/1994, Ley 21/1993, Ley 37/1988, Ley 33/1987, Corrección de erratas en BOE núm. 296; Desarrollada por: Real Decreto 1680/1991, Real Decreto 111/1986.
RD 2822/1998	Real Decreto 2822/1998, de 23 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento General de Vehículos.	Deroga: Real Decreto 490/1997, Orden de 28 de noviembre de 1996, Orden de 9 de septiembre de 1993, Párrafos del Real Decreto 1571/1993, Orden de 22 de abril de 1987, Orden de 26 de junio de 1986, Orden de 6 de marzo de 1985, Orden de 16 de julio de 1984, Orden de 10 de octubre de 1980, Orden de 20 de junio de 1979, Orden de 26 de junio de

		1978, Orden de 21 de octubre de 1977, Orden de 31 de mayo de 1977, Orden de 27 de abril de 197, Orden de 8 de noviembre de 1974, Orden de 5 de noviembre de 1973, Orden de 7 de octubre de 1971, Orden de 24 de septiembre de 1971, Orden de 30 de julio de 1970, Orden de 23 de marzo de 1955, Orden de 6 de abril de 1951, Arts. del Código de la Circulación aprobado por Decreto de 25 de septiembre de 1934; Afecta a: Real Decreto 2042/1994, Real Decreto Legislativo 339/1990; Afectado por: Orden PRE/629/2011, Real Decreto 866/2010, Real Decreto 369/2010, Orden PRE/52/2010, Real Decreto 224/2008, Orden PRE/438/2008, PRE/43/2007, Real Decreto 711/2006, Orden PRE/1355/2005, Orden PRE/3298/2004, Orden PRE/0513/2002, Real Decreto 3485/2000, Orden de 15 de septiembre de 2000, Orden de 9 de diciembre de 1999, Corrección de errores en BOE núm. 38, de 13 de febrero de 1999.
RD 212/2002	Real Decreto 212/2002, de 22 de febrero, por el que se regulan las emisiones sonoras en el entorno debidas a determinadas máquinas de uso al aire libre.	Transpone: Directiva 2000/14/CE; Afecta a: Real Decreto 245/1989; Afectado por: Real Decreto 524/2006.
RD 314/2006	Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación.	Deroga: Real Decreto 2177/1996, Orden de 5 de julio de 1996, Real Decreto 1829/1995, Real Decreto 1723/1990, Real Decreto 1572/1990, Real Decreto 1370/1988, arts. del Real Decreto 2816/1982, Real Decreto 2429/1979, Real Decreto 1650/1977, Orden de 9 de diciembre de 1975; Afectado por: Orden FOM/1635/2013, Ley 8/2013, Sentencia del TS de 4 de mayo de 2010, Real Decreto 410/2010, Real Decreto 173/2010, Orden VIV/984/2009, Corrección de errores y erratas en BOE núm. 22, de 25 de enero de 2008, Real Decreto 1371/2007.
RDL 1/2008	Real Decreto Legislativo 1/2008, de 11 de enero, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Evaluación de Impacto Ambiental de proyectos.	Deroga: Ley 6/2001, Real Decreto-ley 9/2000, Real Decreto Legislativo 1302/1986; Afecta a: Ley 27/2006, Ley 9/2006, Ley 62/2003, Ley 54/1997, Ley 4/1989; Afectado por: Ley 17/2013, Ley 40/2010, Ley 6/2010.
Nombre abreviado	Legislación autonómica	Análisis jurídico
LLEI 20/1991	Llei 20/1991, de 25 de novembre, de promoció de l'accessibilitat i de supressió de barreres arquitectòniques.	Afectada por: Decret Legislatiu 6/1994; Desarrollada por: Decret 97/2002, Resolució de 20 de juliol de 2000, Resolució de 27 de maig de 1999, Decret 135/1995, Decret 256/1992.
LLEI 9/1993	Llei 9/1993, de 30 de setembre, del Patrimoni Cultural Català.	Deroga: Decret 30/1984; Afecta: Llei 6/1985; Afectada por: Llei 5/2012, Qüestió d'inconstitucionalitat núm. 2622-1999, Llei 10/2001; Desarrollada por: Decret 389/2006, Decret 348/2006, Decret 78/2002, Ordre de 2 de maig de 1995, Decret 175/1994.
DECRET 135/1995	Decret 135/1995, de 24 de març, de desplegament de la Llei 20/1991, de 25 de novembre, de promoció de l'accessibilitat i de supressió de barreres arquitectòniques, i d'aprovació del Codi d'accessibilitat.	Desarrolla: Llei 20/1991; Deroga: Ordre 03.12.93, Ordre 21.12.92., Decret 256/1992; Afecta: Decret 399/1988, Ordre 19.08.86, Decret 95/1986, Ordre 05.11.85, Ordre 09.04.1985, Decret 100/1984, Decret 170/1980; Afectado por: Decret 312/2004, Decret 204/1999; Desarrollado por: Decret 97/2002.
Nombre abreviado	Normativa municipal de Barcelona	Análisis jurídico
-	Decret de l'Alcaldia, a fecha 15 de octubre de	-

	2009, Manual bàsic per a l'elaboració de la Memòria Ambiental.	
-	Decret de l'Alcaldia, a fecha 30 de octubre de 2011, Aprovació de la Instrucció relativa a l'auscultació de les obres de promoció municipals (Instrucció i Manual annexos).	-

Anexo D

**Planos de la aplicación práctica de la
metodología**

En el presente anexo se incluyen los planos de los pozos de Bruc y Enric Granados utilizados para calcular los indicadores en una de las aplicaciones prácticas de la metodología.

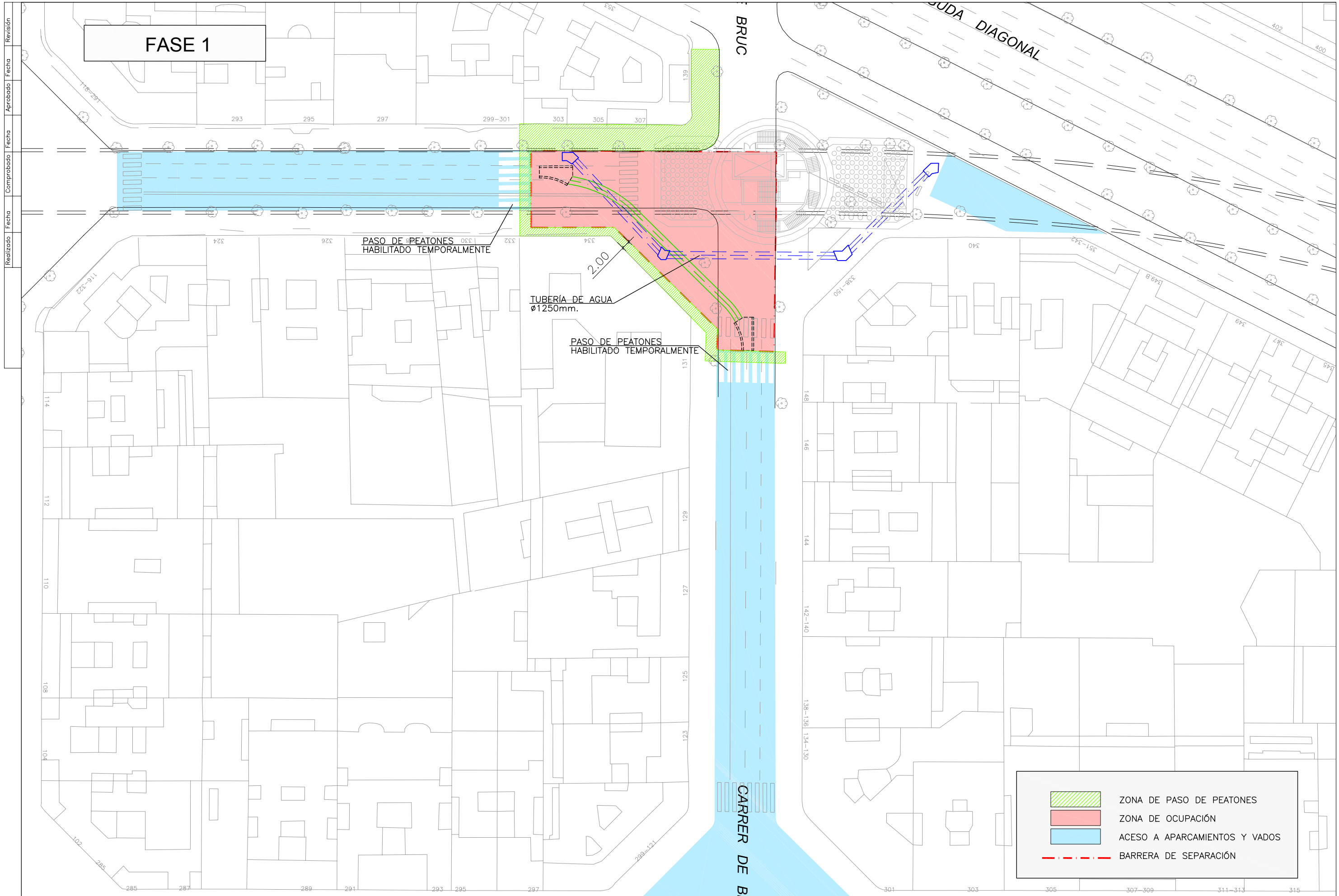
Planos del pozo de Bruc:

- Zona de ocupación fase 1
- Zona de ocupación fase 2
- Zona de ocupación fase 3
- Desvío líneas de autobuses
- Desvío de tráfico

Planos del pozo de Enric Granados:

- Zona de ocupación fases 1 y 3
- Zona de ocupación fase 2
- Desvío de recorrido línea de bus
- Desvío de tráfico

Y:\16_SSA Y SERVIDUMBRES\02_TRAMO II. POZOS\06_POZO CALLE BRUC\06_INFORMES ADIF\2009-11-03 (CASI DEFINITIVO)\02_FASES Y OCUPACIONES\02_OCUPACION FASE-1.DWG



FASE 1

Revisión	Fecha	Aprobado
Comprobado	Fecha	Realizado

	ZONA DE PASO DE PEATONES
	ZONA DE OCUPACIÓN
	ACCESO A APARCAMIENTOS Y VADOS
	BARRERA DE SEPARACIÓN



TÍTULO
 PROYECTO CONSTRUCTIVO DE PLATAFORMA Y VÍA
 DEL TRAMO TÚNEL DE CONEXIÓN SANTS - SAGRERA
 (BARCELONA) EN LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD
 MADRID-ZARAGOZA-BARCELONA-FRONTERA FRANCESA

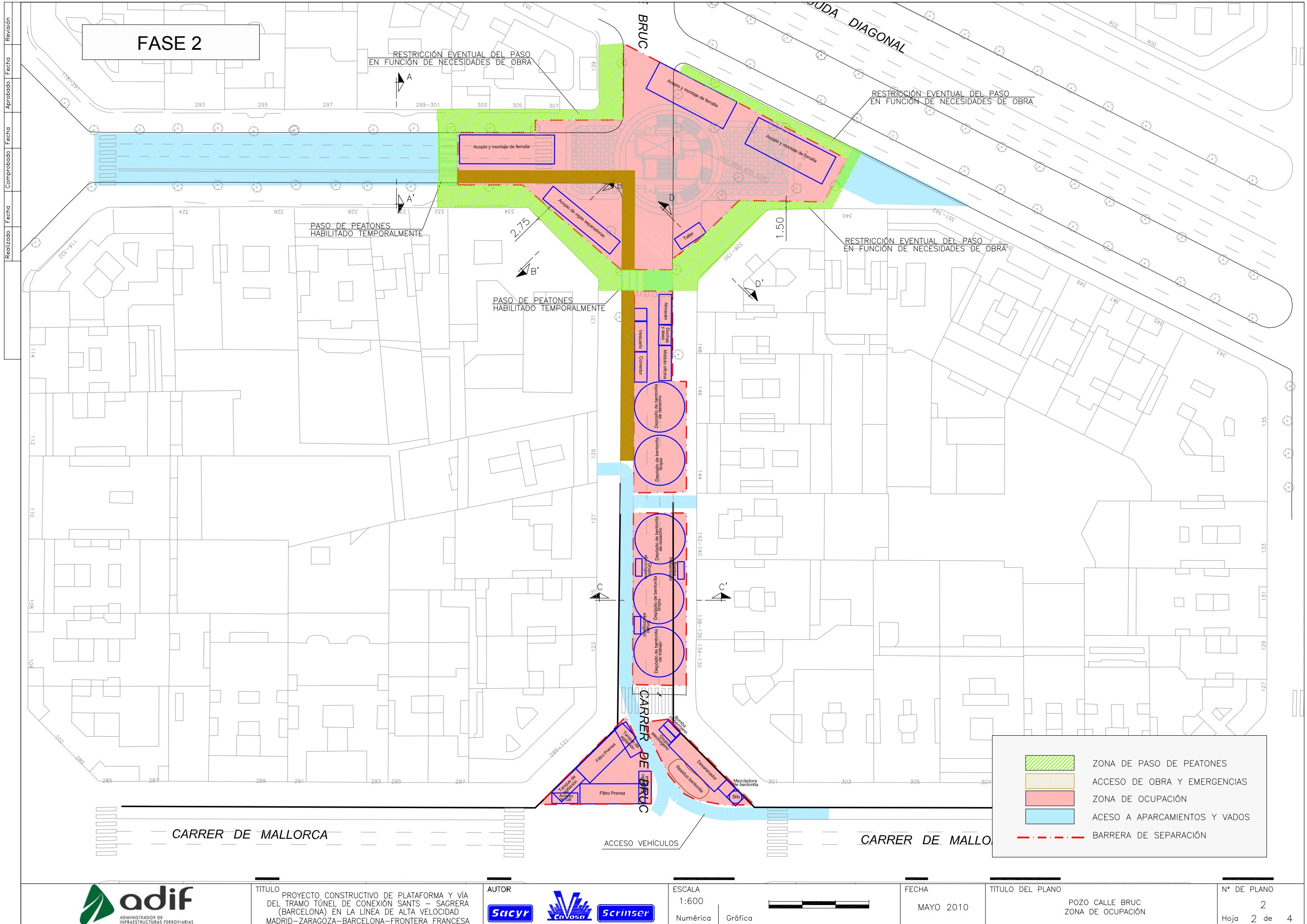
AUTOR

ESCALA
 1:600
 Numérica Gráfica

FECHA
 OCTUBRE 2009

TÍTULO DEL PLANO
 POZO CALLE BRUC
 ZONA DE OCUPACIÓN

Nº DE PLANO
 2
 Hoja 1 de 4



TÍTULO
 PROYECTO CONSTRUCTIVO DE PLATAFORMA Y VÍA DEL TRAMO TÚNEL DE CONEXIÓN SANTS - SAGRERA (BARCELONA) EN LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-ZARAGOZA-BARCELONA-FRONTERA FRANCESA

AUTOR

ESCALA
 1:600

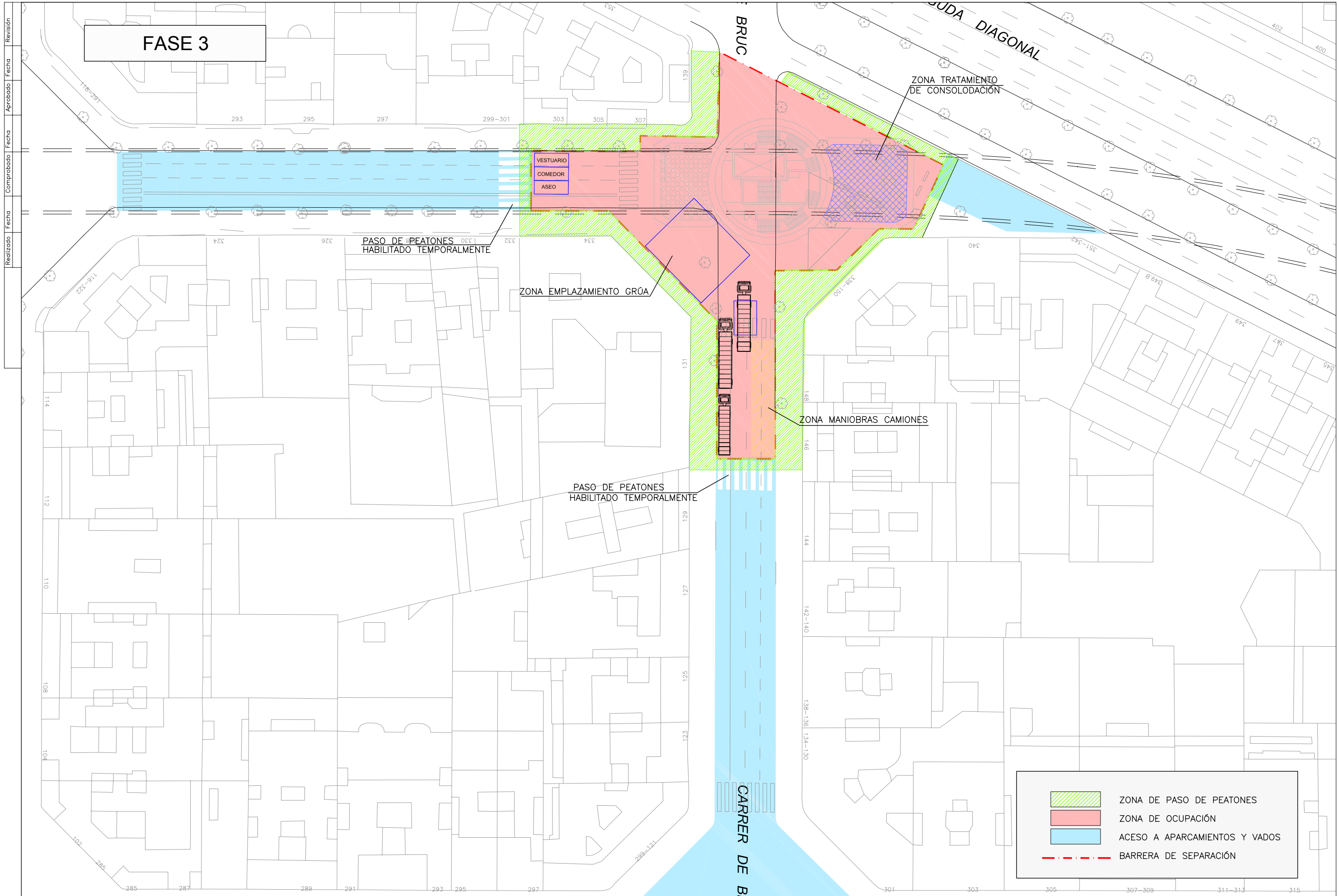
Numérica Gráfica

FECHA
 MAYO 2010

TÍTULO DEL PLANO
 POZO CALLE BRUC
 ZONA DE OCUPACIÓN

Nº DE PLANO
 2
 Hoja 2 de 4

Y:\16_SSA Y SERVIDUMBRES\02_TRAMO II. POZOS\06_POZO CALLE BRUC\06_INFORMES ADIF\2009-10-07 (MONTANDO)\02_FASES Y OCUPACIONES\02_OCUPACION FASE-3.DWG



FASE 3

Revisión	Fecha
Aprobado	Fecha
Comprobado	Fecha
Realizado	Fecha

	ZONA DE PASO DE PEATONES
	ZONA DE OCUPACIÓN
	ACCESO A APARCAMIENTOS Y VADOS
	BARRERA DE SEPARACIÓN



TÍTULO
 PROYECTO CONSTRUCTIVO DE PLATAFORMA Y VÍA
 DEL TRAMO TÚNEL DE CONEXIÓN SANTS - SAGRERA
 (BARCELONA) EN LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD
 MADRID-ZARAGOZA-BARCELONA-FRONTERA FRANCESA

AUTOR

ESCALA
 1:600

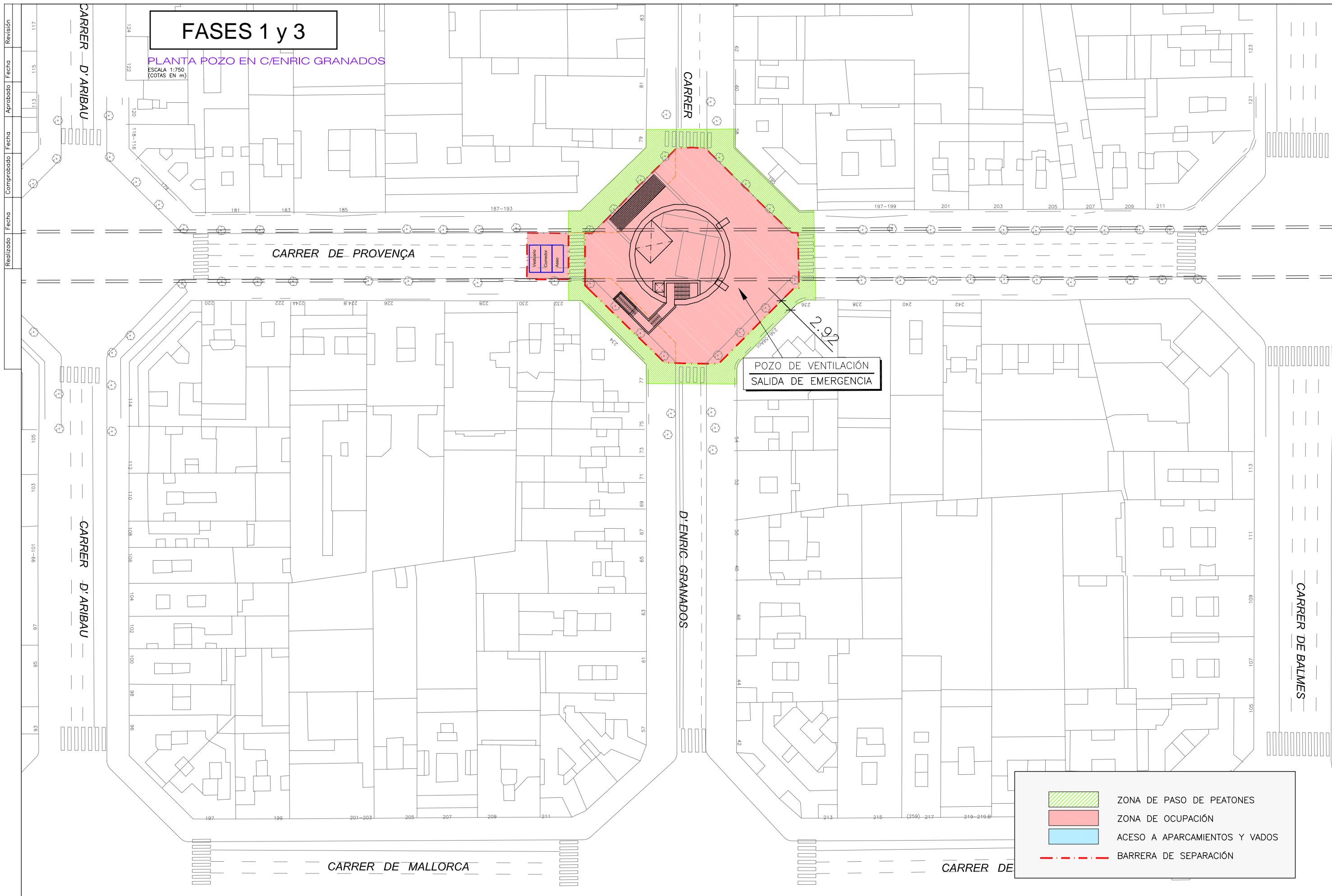
Numérica Gráfica

FECHA
 OCTUBRE 2009

TÍTULO DEL PLANO
 POZO CALLE BRUC
 ZONA DE OCUPACIÓN

Nº DE PLANO
 2
 Hoja 4 de 4

Y:\16_SSA Y SERVIDUMBRES\02_TRAMO II. POZOS\08_POZO CALLE ENRIC GRANADOS\06_INFORMES ADIF\2010-05-25\02-FASES Y OCUPACIONES\PLANTA_OCUPACION_FASE-1.DWG



FASES 1 y 3

PLANTA POZO EN C/ENRIC GRANADOS
ESCALA 1:750
(COTAS EN m)

POZO DE VENTILACIÓN
SALIDA DE EMERGENCIA

	ZONA DE PASO DE PEATONES
	ZONA DE OCUPACIÓN
	ACCESO A APARCAMIENTOS Y VADOS
	BARRERA DE SEPARACIÓN



TÍTULO PROYECTO CONSTRUCTIVO DE PLATAFORMA Y VÍA DEL TRAMO TÚNEL DE CONEXIÓN SANTS - SAGRERA (BARCELONA) EN LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-ZARAGOZA-BARCELONA-FRONTERA FRANCESA

AUTOR

ESCALA 1:750

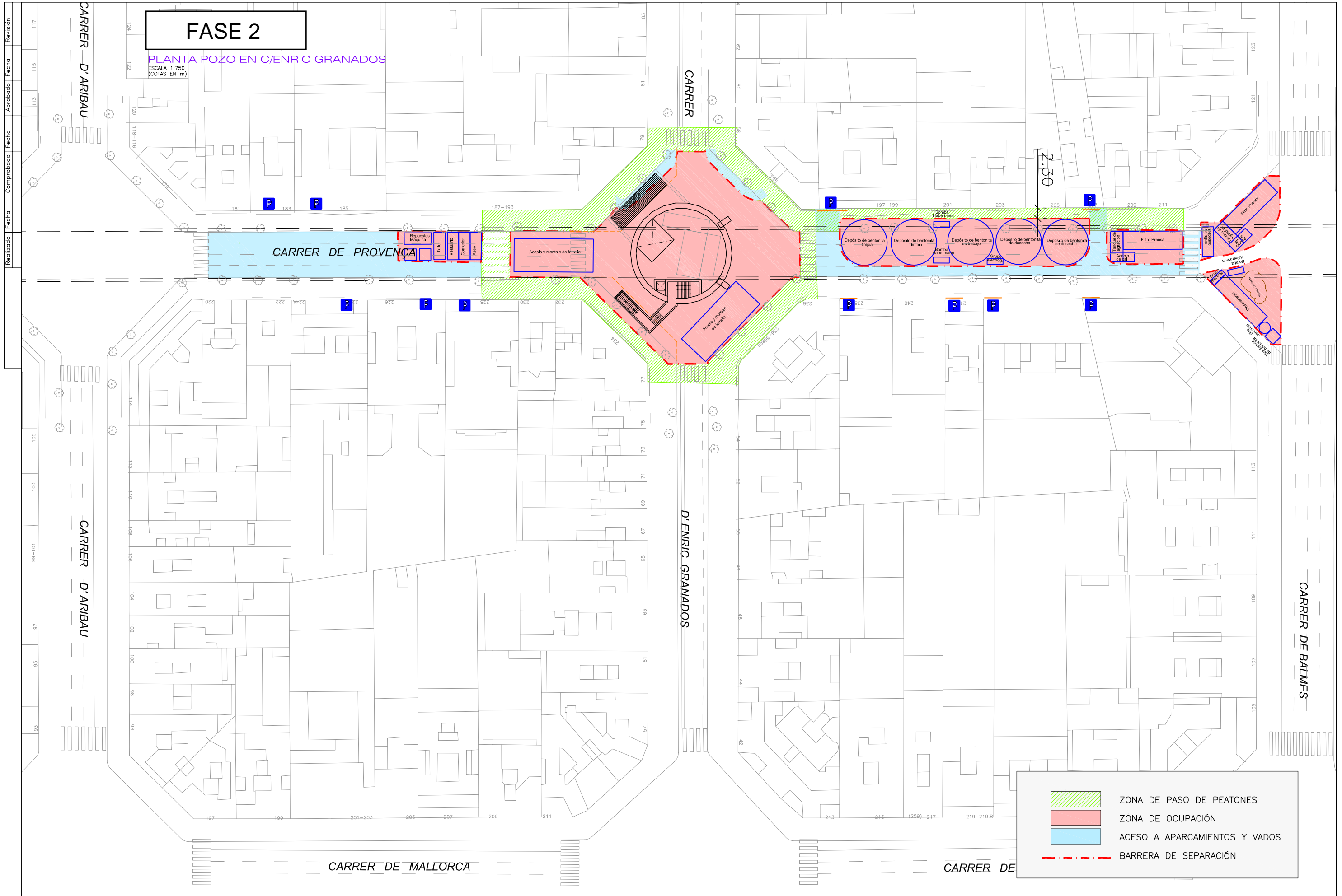
Numérica Gráfica

FECHA MAYO 2010

TÍTULO DEL PLANO POZO CALLE ENRIC GRANADOS ZONA OCUPACIÓN FASE-1

Nº DE PLANO 2
Hoja 1 de 3

Y:\16_SSA Y SERVIDUMBRES\02_TRAMO II_POZOS\08_POZO CALLE ENRIC GRANADOS\06_INFORMES ADIF\2010-05-25\02-FASES Y OCUPACIONES\PLANTA_OCUPACION_FASE-2_V1.DWG



FASE 2

PLANTA POZO EN C/ENRIC GRANADOS
ESCALA 1:750
(COTAS EN m)

	ZONA DE PASO DE PEATONES
	ZONA DE OCUPACIÓN
	ACCESO A APARCAMIENTOS Y VADOS
	BARRERA DE SEPARACIÓN



TÍTULO PROYECTO CONSTRUCTIVO DE PLATAFORMA Y VÍA DEL TRAMO TÚNEL DE CONEXIÓN SANTS - SAGRERA (BARCELONA) EN LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-ZARAGOZA-BARCELONA-FRONTERA FRANCESA

AUTOR

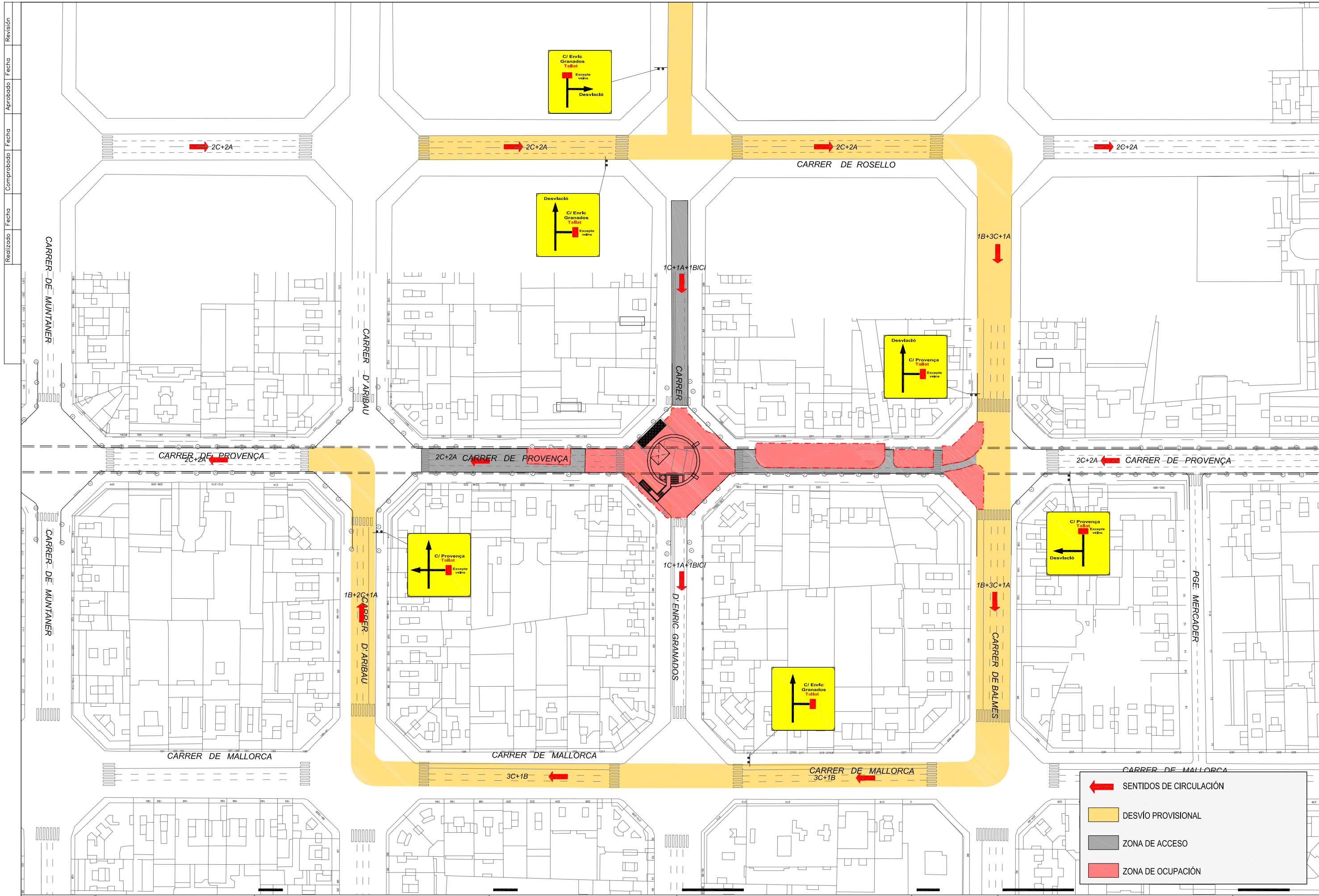
ESCALA 1:750

Numérica Gráfica

FECHA MAYO 2010

TÍTULO DEL PLANO POZO CALLE ENRIC GRANADOS ZONA OCUPACIÓN FASE-2 VERSIÓN-1

Nº DE PLANO 2
Hoja 2 de 3



Revisión	Fecha	Aprobado	Fecha	Comprobado	Fecha	Realizado	Fecha

SENTIDOS DE CIRCULACIÓN
 DESVÍO PROVISIONAL
 ZONA DE ACCESO
 ZONA DE OCUPACIÓN



TÍTULO PROYECTO CONSTRUCTIVO DE PLATAFORMA Y VÍA DEL TRAMO TÚNEL DE CONEXIÓN SANTS - SAGRERA (BARCELONA) EN LA LINEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-ZARAGOZA-BARCELONA-FRONTERA FRANCESA

AUTOR

ESCALA S/E

Numérica Gráfica

FECHA MAYO 2010

TÍTULO DEL PLANO POZO CALLE ENRIC GRANADOS DESVÍO DE TRÁFICO Y SEÑALIZACIÓN

Nº DE PLANO 3
Hoja 1 de 1