

-UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
NÚCLEO ORIENTADO PARA A INOVAÇÃO DA EDIFICAÇÃO

**LA ENERGÍA COMO INDICADOR DEL IMPACTO AMBIENTAL EN LOS SISTEMAS
CONSTRUCTIVOS CONFORMADOS A PARTIR DE MATERIALES DE PRODUCCIÓN
NACIONAL.**

Virginia Casañas (UDELAR)

Montevideo, Porto Alegre

2011

VIRGINIA CASAÑAS (UDELAR)

**LA ENERGÍA COMO INDICADOR DEL IMPACTO AMBIENTAL EN LOS SISTEMAS
CONSTRUCTIVOS, CONFORMADOS A PARTIR DE MATERIALES DE PRODUCCIÓN
NACIONAL.**

Tesis presentada en el Programa de Maestría Interinstitucional (MINTER) entre la Universidad Federal de Rio Grande del Sur (UFRGS - NORIE) y la Universidad de la República (UDELAR- Farq), como parte de los requisitos para obtener el Título de "Master en Construcción de Obras de Arquitectura". Orientación: Prof. Dr. Miguel Aloysio Sattler.

Montevideo, Porto Alegre

2011

CIP - Catalogação na Publicação

Casañas, Virginia

La energía como indicador del impacto ambiental en los sistemas constructivos conformados a partir de materiales de producción nacional / Virginia Casañas. -- 2011.

156 f.

Orientador: Miguel Aloysio Sattler.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Porto Alegre, BR-RS, 2011.

1. Sustentabilidad. 2. Energía incorporada. 3. Impactos ambientales. 4. Sistemas constructivos. I. Sattler, Miguel Aloysio , orient. II. Título.

VIRGINIA CASAÑAS

**LA ENERGÍA COMO INDICADOR DEL IMPACTO AMBIENTAL EN LOS SISTEMAS
CONSTRUCTIVOS, CONFORMADOS A PARTIR DE MATERIALES DE PRODUCCIÓN
NACIONAL**

Esta Tesis de Maestría fue juzgada adecuada para la obtención del título "MASTER EN CONSTRUCCIÓN DE OBRAS DE ARQUITECTURA", Área de Construcción, y aprobada en su forma final por el profesor Orientador y por el programa de Pos Graduación en Ingeniería Civil en la UFRGS.

Montevideo, Porto Alegre, noviembre de 2011

Prof. Miguel Aloysio Sattler
Ph.D. por la University of Sheffield, Inglaterra
Orientador

Prof. Luiz Carlos Pinto da Silva Filho
Ph.D. por la University of Leeds, Inglaterra.
Coordinador de PPGE-UFRGS

BANCA EXAMINADORA

Prof. Ana Luiza Raabe Abitante (UFRGS)
Dra. por la Universidade Federal do Rio
Grande do Sul

Prof. Sergio Fernando Tavares (UFSC)
Dr. por la Universidade Federal de Santa
Catarina

Prof. Márcio Rosa D'Avila
Dr. por la Universität Kassel

AGRADECIMIENTOS

A mi tutor, Profesor Miguel Sattler por su apoyo y sus correcciones.

A Carlos Formoso por sus respuestas, y su confianza, a Jorge Schinca y Luis Carlos Bonin por sus lecturas y comentarios.

A Rafael Cortazzo (Rafa) por sus innumerables aportes, su interés permanente, su paciencia y su generosidad.

A Patricia Barrios, socia y amiga por comprenderme y apoyarme.

A los entrevistados de las empresas: Darío Borges, Elizabeth Fernández, Fabrizio Bagnasco y Leonardo Isola Gaetan por el tiempo dedicado y los datos aportados.

A Peco (Fernando Casañas) y Alejandra Poey, por el apoyo con los gráficos.

RESUMEN

CASAÑAS Virginia. **La energía como indicador del impacto ambiental en los sistemas constructivos, conformados a partir de materiales de producción nacional.** 2011. Tesis (Maestría Interinstitucional en Construcción de Obras de Arquitectura). MINTER, Universidad Federal de Río Grande del Sur (Brasil) – Facultad de Arquitectura, Universidad de la República (Uruguay), Porto Alegre, 2011.

El consumo de energía es uno de los temas ambientales más importantes que enfrenta la sociedad contemporánea. La energía usada en las viviendas y edificios proviene principalmente de la combustión de combustibles fósiles (petróleo, gas natural y carbón mineral), que contribuyen de manera importante a la contaminación atmosférica.

La industria de la construcción a nivel mundial es responsable por el 50 % de los recursos naturales y del 40 % del consumo de energía, considerando el mismo en el Ciclo de Vida de la Edificación: energía en la fabricación de los materiales de construcción, en la vida útil de las edificación, en la obra misma y en la deconstrucción de ésta.

El reto que tiene por delante la Industria de la Construcción es el empleo de materiales apropiados, que economicen energía tanto en la etapa de fabricación materiales y construcción de las edificaciones, así como en su vida útil, dado que éstos son los que repercuten sobre el ambiente, generando impactos relacionados con el consumo de energía.

En este contexto, el **objetivo principal** de esta investigación fue identificar, utilizando datos de consumo energético, la mejor opción constructiva para la construcción de viviendas aisladas.

De la revisión bibliográfica analizada, surge que los impactos relativos al consumo de energía son significativos, y que el uso de la energía permite evaluar en forma resumida el impacto ambiental del ciclo de vida de la edificación, mediante la estimación de consumos energéticos.

Los métodos de Análisis del Ciclo de Vida Energético (ACVE) en las edificaciones, utilizan la energía como medida del impacto ambiental y permite presentar índices de energía incorporada, en MJ/kg ó MJ/m².

La investigación se dividió en dos etapas que permitieron llegar a los resultados buscados. Primeramente fue estimada la **energía incorporada** en tres materiales de producción nacional: ladrillo, acero y cemento; para luego, en una segunda etapa, a analizar unidades funcionales constructivas compuestas con los materiales estudiados.

Se tomaron como indicadores del impacto ambiental, el consumo energético y las emisiones de CO₂, y los impactos asociados se pudieron caracterizar en cada etapa del ciclo de vida de la producción de los materiales analizados.

Finalizado este proceso fue posible sacar algunas conclusiones que permiten contribuir al abordaje de la sustentabilidad en la Industria de la Construcción a nivel local.

Las principales conclusiones obtenidas fueron: de los tres materiales analizados el ladrillo y los sistemas constructivos asociados son los que producen menor impacto ambiental, ya que el consumo de energía proviene de fuentes renovables y las emisiones pueden ser menores. Para los materiales acero y cemento las cantidades de energía requerida y emisiones son mayores, además que el transporte tiene una influencia significativa, incrementando los valores de energía incorporada, y, por lo tanto, los impactos generados en el ambiente.

Palabras clave: sustentabilidad; energía incorporada; impactos ambientales; sistemas constructivos.

ABSTRACT

CASAÑAS Virginia. **La energía como indicador del impacto ambiental en los sistemas constructivos, conformados a partir de materiales de producción nacional.** 2011. Tesis (Maestría Interinstitucional en Construcción de Obras de Arquitectura). MINTER, Universidad Federal de Río Grande del Sur (Brasil) – Facultad de Arquitectura, Universidad de la República (Uruguay), Porto Alegre, 2011.

Energy consumption is one of the most important environmental issues facing contemporary society. The energy used in homes and buildings comes mainly from burning fossil fuels (oil, natural gas and coal) which contribute significantly to air pollution.

The construction industry worldwide is responsible for 50 % of natural resources and 40 % of energy consumption, considering the same in the Lifecycle Building: energy in the manufacture of buildings materials, in the life of the building, in the work itself and in the deconstruction of it.

The challenge ahead for the construction industry is the use of appropriate materials, energy – saving both in the stage of manufacturing materials and construction of buildings, as well as life, as these are impacting on the environmental, generating impacts related to energy consumption.

In this context, the **main objective** of this research was to identify, using energy consumption data, the best option for building constructive isolated dwellings.

Analyzed the literature review, it appears that the relative impacts of energy consumption are significant, and that energy use in summary form allows you to evaluate the environmental impacts of the life cycle of the building through the estimation of energy consumption.

A method of Life Cycle Energy Analysis (LCEA) in buildings, using energy as a measure of environmental impact, allows the presentation rates of embodied energy in MJ/kg or MJ/m².

The research was divided into two stages for reaching the desired outcomes: first it was estimated the **embodied energy**, in three domestically produced materials: brick, steel and cement, and then, in a second step, functional units composite with the construction materials studied were analysed.

Indicators of environmental impact energy consumption and CO₂ emission, and associated impacts could be characterised at each stage of the life cycle of production of the materials analysed.

After this process, it was possible to draw some conclusions that can contribute to the emerging approach to sustainability in the construction industry locally.

The main findings were: of the three materials analysed, the brick and associated systems are those that produce less environmental impact, since, energy consumption comes from renewable sources and emissions are lower than those others materials. For steel and concrete the amount of energy required and emissions are higher, and they also have a significant influence of energy consumed for transport, increasing the values of embodied energy, and, therefore, the impacts on the environment.

Keywords: sustainability, embodied energy, environmental impacts, construction systems.

INDICE

1. INTRODUCCIÓN	19
1.1. JUSTIFICACIÓN Y ENFOQUE.....	22
1.2. OBJETIVO Y ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN.....	22
1.2.1. Pregunta que orientó el trabajo de investigación.....	22
1.2.2. Objetivo de la investigación.....	22
1.2.3. Alcance de la investigación.....	23
1.2.4. Limitaciones de la investigación.....	23
1.2.5. Estructura del trabajo.....	23
2. SOSTENIBILIDAD, ARQUITECTURA Y CONSTRUCCIÓN	25
2.1. DESARROLLO SUSTENTABLE.....	25
2.2. EL CICLO DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN.....	27
2.3. CONSTRUCCIÓN SUSTENTABLE.....	29
3. IMPACTOS AMBIENTALES DE LOS PRODUCTOS DE LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN	33
3.1. CONSUMO DE RECURSOS NATURALES.....	35
3.2. GENERACIÓN DE RESIDUOS.....	36
3.2.1. Reutilización y reciclaje.....	37
3.3. CONSUMO DE ENERGÍA Y EMISIONES.....	37
3.4. CONSUMO DE ENERGÍA EN URUGUAY.....	40
3.4.1. Ubicación geográfica y datos generales.....	40
3.4.2. Características principales.....	41
3.4.3. Consumo de energía en la Industria de la Construcción.....	43
3.4.4. Generación de CO ₂ de sectores ligados a la Industria de la Construcción.....	44
3.4.5. Energía consumida por el transporte.....	45
3.5. ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA ENERGÉTICO DE LAS EDIFICACIONES.....	46
3.6. ENERGÍA INCORPORADA EN LAS EDIFICACIONES.....	48
3.6.1. Método de análisis de Energía Incorporada.....	49
3.6.1.1. Análisis de Proceso.....	50
3.6.1.2. Análisis estadístico.....	50
3.6.1.3. Análisis por matrices de insumo por producto.....	51
3.6.1.4. Análisis híbrido.....	51
4. METODOLOGIA DE INVESTIGACIÓN	52
4.1. ABORDAJE METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN.....	52
4.1.1. Consideraciones iniciales.....	52
4.1.2. Estrategia de investigación.....	53
4.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	54

4.2.1.	Etapas y objetivos.....	54
4.3.	DESCRIPCIÓN DE LAS ETAPAS.....	57
4.3.1.	Etapa A.....	57
4.3.1.1.	Análisis de datos.....	57
4.3.1.2.	Descripción de los estudios de caso.....	58
	EC-01: Material 1- LADRILLO.....	58
	EC-02: Material 2- ACERO.....	59
	EC-03: Material 3- CEMENTO.....	60
4.3.2.	Etapa B.....	61
4.3.3.	Conclusiones.....	62
5.	CARACTERIZACIÓN DE LOS CASOS DE ESTUDIO.....	64
5.1.	EC-01: Material 1- LADRILLO DE CAMPO.....	64
5.1.1.	Aspectos arquitectónicos.....	64
5.1.2.	Características y propiedades del ladrillo de campo.....	67
5.1.3.	Aspectos ambientales.....	67
5.1.3.1.	Materia prima.....	67
5.1.3.2.	Consumo de energía y emisiones de CO ₂	68
5.1.4.	Consideraciones generales.....	70
5.1.5.	La industria de la cerámica roja en Uruguay.....	70
5.1.6.	Proceso de producción y caracterización de la industria.....	72
5.1.7.	Estimación de la energía incorporada en ladrillos de producción nacional.....	78
5.1.8.	Resultados obtenidos: cuantificación de los insumos energéticos utilizados.....	79
5.1.9.	Análisis de resultados.....	84
5.1.9.1.	Energía incorporada en el material.....	84
5.1.9.2.	Emisiones de CO ₂ , según fuentes utilizadas.....	84
5.1.9.3.	Comparación de resultados.....	85
5.1.10.	Conclusiones del capítulo.....	87
5.2.	EC-02: Material 2- ACERO.....	88
5.2.1.	Aspectos arquitectónicos.....	88
5.2.2.	Características y propiedades del acero.....	90
5.2.3.	Aspectos ambientales.....	91
5.2.3.1.	Materia prima.....	91
5.2.3.2.	Consumo de energía y emisiones de CO ₂	93
5.2.4.	Consideraciones generales.....	94
5.2.5.	La industria del acero en Uruguay.....	95
5.2.6.	Proceso de producción y caracterización de la industria.....	96
5.2.7.	Estimación de la energía incorporada en acero de producción nacional.....	102

5.2.8.	Resultados obtenidos: cuantificación de los insumos energéticos utilizados.....	102
5.2.9.	Análisis de resultados.....	106
5.2.9.1.	Energía incorporada en el material.....	106
5.2.9.2.	Emissiones de CO ₂ , según fuentes utilizadas.....	106
5.2.9.3.	Comparación de resultados.....	107
5.2.10.	Conclusiones del capítulo.....	109
5.3.	EC-03: Material 3-CEMENTO.....	110
5.3.1.	Aspectos arquitectónicos.....	110
5.3.2.	Características y propiedades del cemento.....	113
5.3.3.	Aspectos ambientales.....	115
5.3.3.1.	Materia prima.....	115
5.3.3.2.	Consumo de energía y emisiones de CO ₂	117
5.3.4.	Consideraciones generales.....	119
5.3.5.	La industria del cemento en Uruguay.....	120
5.3.6.	Proceso de producción y caracterización de la industria.....	121
5.3.7.	Estimación de la energía incorporada en el cemento de producción nacional.....	124
5.3.8.	Resultados obtenidos: cuantificación de los insumos energéticos utilizados.....	124
5.3.9.	Análisis de resultados.....	127
5.3.9.1.	Energía incorporada en el material.....	128
5.3.9.2.	Emissiones de CO ₂ , según fuentes utilizadas.....	128
5.3.9.3.	Comparación de resultados.....	129
5.3.10.	Conclusiones del capítulo.....	130
5.4.	CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO.....	131
6.	LA ENERGÍA COMO INDICADOR DE LA SOSTENIBILIDAD.....	133
6.1.	Introducción.....	133
6.2.	Unidad Funcional base.....	135
6.3.	Unidades Funcionales constructivas analizadas.....	137
6.4.	Análisis de resultados.....	140
6.5.	Análisis de impactos ambientales.....	142
6.5.1.	Contenido energético.....	142
6.5.2.	Emissiones CO ₂	143
6.5.3.	Resultados aplicados a una tipología de vivienda.....	144
6.6.	Conclusiones del capítulo.....	145
7.	CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES.....	147
7.1.	Sugerencias para trabajos futuros.....	149
	REFERENCIAS.....	150

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Economía Neoclásica / Economía Ecológica.....	27
Figura 2: Ciclo de materiales en el siglo XX y siglo XXI.....	29
Figura 3: Desarrollo del concepto de sustentabilidad en la construcción.....	31
Figura 4: Superficie autorizada en metros cuadrados, Montevideo 1971 – 2010.....	36
Figura 5: Mapa de Uruguay en América del Sur.....	41
Figura 6: Mapa político de Uruguay.....	41
Figura 7: Diagrama de Flujo de Energía en Uruguay	42
Figura 8: Oferta de Energía Primaria.....	42
Figura 9: Participación de las emisiones de CO ₂ , en 2004 por sector y subsector.....	45
Figura 10: Análisis energético del “Ciclo de Vida” y el coste ecológico.....	46
Figura 11: Ciclo de vida energético de una edificación.....	47
Figura 12: Diseño de la investigación.....	54
Figura 13: Ciclo de vida de la edificación asociado al ciclo energético, Etapas desarrolladas en la investigación.....	55
Figura 14: Energía de fabricación de materiales para un 1 m ² de construcción estándar en España.....	56
Figura 15: Identificación de las Etapas A y B.....	61
Figura 16: Estación ANCAP, Punta del Este Arq. Lorente Escudero	65
Figura 17: AEBU, Montevideo, Arq. Lorente 1964.....	65
Figura 18: AEBU, Montevideo, Arq. Lorente 1964.....	65
Figura 19: BPS, Montevideo, Arq. Payssé Reyes, 1957.....	65
Figura 20: Seminario Arquidiocesano de Montevideo, Arq. Payssé Reyes.....	65
Figura 21: Iglesia de Atlántida, Canelones, Ing. Eladio Dieste.....	65
Figura 22: Iglesia de Atlántida, durante su construcción.....	65
Figura 23: Iglesia de Atlántida, detalle de cubierta.....	65
Figura 24: Vivienda, Arq. Leborgne, Montevideo.....	66
Figura 25: COVIFAMI	66
Figura 26: COVIAMISTAD.....	66

Figura 27: Toneladas de carbono por hectárea en el bosque primario.....	69
Figura 28: Departamentos donde se encuentran ladrilleras	70
Figura 29: Evolución de la producción de viviendas nuevas y permisos de construcción en Uruguay, 1990-2009.....	72
Figura 30: Insumos y pérdidas en la producción del ladrillo.....	73
Figura 31: Ubicación de las industrias ladrilleras estudiadas.....	73
Figura 32: Etapas e insumos consumidos en el proceso de fabricación del ladrillo de campo.....	75
Figura 33: Pisadero donde se realiza la mezcla, ladrillera LGP	76
Figura 34: Pisadero donde se realiza la mezcla, ladrillera LGP.....	76
Figura 35: Secadero ladrilleros de Rivera.....	76
Figura 36: Secadero LGP.....	76
Figura 37: Secadero LGP	76
Figura 38: Horno artesanal tipo clamp, LGP.....	77
Figura 39: Cocción en horno artesanal tipo clamp, ladrilleros de Rivera.....	77
Figura 40: Cocción en horno artesanal tipo clamp, ladrilleros de Rivera.....	77
Figura 41: Almacenamiento del producto acabado, LGP.....	78
Figura 42: Almacenamiento del producto acabado, LGP.....	78
Figura 43: Gastos totales energía LMP.....	81
Figura 44: Gastos totales energía LGP.....	82
Figura 45: Participación por insumo energético en la producción semanal para ambas ladrilleras.....	83
Figura 46: Comparación de consumo de energía en la fabricación de 2.000 kg de producto acabado en ambas ladrilleras.....	84
Figura 47: Gráfico comparativo entre los resultados obtenidos y los resultados de la bibliografía internacional.....	86
Figura 48: Gráfico comparativo entre los resultados obtenidos y los resultados de la bibliografía regional.....	87
Figura 49: Galerie d'Orléans, París	89
Figura 50: Crystal Palace, Paxton, Londres.....	89
Figura 51: Torre Eiffel, París.....	89
Figura 52: Rieles de la vía del tren, Peñarol.....	89

Figura 53: Talleres de Peñarol.....	89
Figura 54: Puente sobre el Río Yí	89
Figura 55: Mercado del Puerto.....	90
Figura 56: Hipódromo Maroñas.....	90
Figura 57: Formación Valentines.....	93
Figura 58: Asignación de cargas ambientales en materiales reciclados	94
Figura 59: Ubicación de las cinco canteras de la Minera Aratirí en los departamentos de Durazno, Florida y Treinta y tres.....	95
Figura 60: Ubicación del Complejo Minero, proyecto del minero ducto y terminal portuaria.....	96
Figura 61: Esquema de producción de acero a partir de altos hornos y hornos de arco voltaico.....	97
Figura 62: Planta de Gerdau Laisa en Montevideo.....	98
Figura 63: Insumos y pérdidas en la producción del acero para la industria estudiada.....	98
Figura 64: Etapas e insumos consumidos en el proceso de producción del acero	99
Figura 65: Recolección de chatarra a nivel nacional.....	99
Figura 66: Patio de Chatarra.....	100
Figura 67: Horno de arco voltaico.....	100
Figura 68: Palanquillas de colada continua.....	101
Figura 69: Palanquilla de acero.....	101
Figura 70: Palanquilla de acero.....	101
Figura 71: Lecho de refrigeración	101
Figura 72: Embalaje.....	101
Figura 73: Almacenamiento.....	101
Figura 74: Gastos totales de energía en GL.....	104
Figura 75: Participación por insumo energético para una tonelada de acero.....	105
Figura 76: Comparación del consumo de energía en la fabricación de 1 tonelada de acero.....	105
Figura 77: Sistema de captación de gases, humos y polvo.....	107
Figura 78: Gráfico comparativo ente resultados obtenidos y resultados de la bibliografía internacional	108
Figura 79: Pirámide de Giza.....	110
Figura 80: Panteón de Roma.....	110

Figura 81: Faro de Eddystone.....	110
Figura 82: Apartamentos calle Franklin, Perret.....	111
Figura 83: Casa Dominó, Le Corbusier	111
Figura 84: Palacio Salvo, en construcción, Palanti.....	112
Figura 85: Edificio Lapidó.....	112
Figura 86: Estadio Centenario, Arq. Scasso.....	112
Figura 87: Facultad de Ingeniería, Arq. Villamajó.....	113
Figura 88: Edificio Panamericano, Arq. Síchero.....	113
Figura 89: Distribución geográfica y estructura geológica de las calizas uruguayas.....	116
Figura 90: Emisiones de CO ₂ equivalente.....	118
Figura 91: Departamentos con producción de cemento.....	119
Figura 92: Insumos y pérdidas en la producción del cemento Portland.....	121
Figura 93: Ubicación de la planta Cementos Artigas.....	122
Figura 94: Etapas e insumos consumidos en el proceso de producción del cemento.....	122
Figura 95: Planta de producción de clinker en Minas	124
Figura 96: Gastos totales de energía en CA	126
Figura 97: Participación por insumo en la energía total, consumida para una tonelada.....	127
Figura 98: Gráfico comparativo entre los resultados obtenidos y resultados de bibliografía internacional	129
Figura 99: Unidades funcionales compuestas por materiales estudiados en Etapa A.....	134
Figura 100: Unidades funcionales base con igual transmitancia térmica.....	135
Figura 101: Unidades funcionales constructivas.....	138
Figura 102: Ejemplos y características de los sistemas constructivos analizados.....	139
Figura 103: Tipología Proyecto Cuenca Carrasco.....	144
Figura 104: Comparación de los insumos energéticos, por metro cuadrado de pared, para cada UF...	145

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Impactos ambientales del producto de la Industria de la Construcción.....	34
Tabla 2: Producción de cemento Portland anual en Uruguay.....	36
Tabla 3: Consumo energético de algunos materiales usados por la industria de la construcción.....	39
Tabla 4: Consumo energético final por sectores 2007-2008-2009.....	43
Tabla 5: Transporte en diferentes etapas del Ciclo de Vida de una Edificación.....	45
Tabla 6: Características de los materiales elegidos y sus plantas de producción en Uruguay.....	57
Tabla 7: Características de las plantas ladrilleras.....	59
Tabla 8: Características de la planta de acero.....	59
Tabla 9: Características de las plantas de cemento.....	60
Tabla 10: Características mecánicas del ladrillo.....	67
Tabla 11: Características litológicas y recursos minerales asociados.....	68
Tabla 12: Valores medios de emisiones de vehículos diesel.....	69
Tabla 13: Ladrillera LMP, Montevideo.....	74
Tabla 14: Ladrillera LGP, San Carlos, Maldonado.....	75
Tabla 15: Valores de poder calorífico de diferentes materiales.....	79
Tabla 16: Gastos energéticos de transporte de carga.....	79
Tabla 17: Valores obtenidos en LMP, Montevideo.....	83
Tabla 18: Valores obtenidos en LGP, San Carlos, Maldonado.....	83
Tabla 19: Energía incorporada en el ladrillo macizo, obtenidos en la presente investigación.....	85
Tabla 20: Energía incorporada en el ladrillo macizo, datos internacionales.....	85
Tabla 21: Energía incorporada en el ladrillo cerámico, datos regionales.....	86
Tabla 22: Características litológicas y recursos minerales asociados.....	92
Tabla 23: Perfil medioambiental del acero. Valores para Reino Unido 1997.....	93
Tabla 24: Características de las canteras de la minera Aratirí.....	95
Tabla 25: Valores de Poder Calorífico.....	102
Tabla 26: Gastos energéticos de transporte de carga.....	103
Tabla 27: Valores obtenidos en GL.....	105

Tabla 28: Energía incorporada en el acero, obtenido en la investigación.....	107
Tabla 29: Energía incorporada en el acero, datos internacionales.....	108
Tabla 30: Tipos de cemento y composición.....	114
Tabla 31: Composición del cemento.....	114
Tabla 32: Características litológicas y recursos minerales asociados.....	116
Tabla 33: Consumo de energía en MJ requerido para la fabricación de 1 kg de cemento	117
Tabla 34: Valores de Poder Calorífico.....	125
Tabla 35: Valores obtenidos en CA.....	127
Tabla 36: Energía necesaria para la producción de clinker y cemento.....	127
Tabla 37: Energía incorporada en el cemento, obtenido en la investigación.....	129
Tabla 38: Energía incorporada en el cemento, datos internacionales.....	129
Tabla 39: Consumo primario de energía por fuentes en materiales de estudio de caso.....	131
Tabla 40: Consumo de energía (eléctrica + térmica) en MJ en la producción de 1 kg de material.....	131
Tabla 41: Emisiones por material.....	135
Tabla 42: Estimación de EI a partir de datos obtenidos para 1 m ² de muro.....	136
Tabla 43: Dosificación del Hormigón Común.....	140
Tabla 44: Desglose por tipo de muro de cantidades de materiales de construcción usados por sistema constructivo en cimientos y muros para 1 metro lineal.....	141
Tabla 45: Impactos ambientales asociados a la producción de los materiales de construcción usados por cada sistema constructivo en cimiento y muro, su traslado a la obra y su ejecución.....	141
Tabla 46: Síntesis de resultados obtenidos.....	142
Tabla 47: Consumo de material por metro cuadrado de pared para cada unidad funcional.....	143
Tabla 48: Comparación de los consumos energéticos, por metro cuadrado de vivienda.....	145

LISTA DE SIGLAS

ACV: Análisis de Ciclo de Vida

ACVE: Análisis de Ciclo de Vida Energético

ANCAP: Administración Nacional de Combustibles, Alcohol y Portland

BHU: Banco Hipotecario del Uruguay

CA Cementera Artigas

CIB: Conseil International du Bâtiment

CNUMAD Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y Desarrollo

COTAMA: Comisión Técnica Asesora de la Protección del Medio Ambiente

DINAMA: Dirección Nacional de Medio Ambiente

DINAMIGE: Dirección Nacional de Minería y Geología

DNETN: Dirección Nacional de Energía y Tecnología Nuclear

DNE: Dirección Nacional de Energía

EC: Estudio de Caso

EE: Energía Eléctrica

EIA: Energy Information Administration

EI: Energía Incorporada

GEI: Gases efecto invernadero

GL Gerdau Laisa

HA: Hormigón Armado

HC: Hormigón Común

IEA: International Energy Agency

INE: Instituto Nacional de Estadística

INEGEI: Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero

ISO: International Organization for Standardization

LGP: Ladrillera de gran porte

LMP: Ladrillera de mediano porte

MIEM Ministerio de Industria, Energía y Minería

MTOP: Ministerio de Transporte y Obras Públicas

MVOTMA: Ministerio de Vivienda Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente

PBI: Producto Bruto Interno

PCI: Poder Calorífico inferior

RT Reglamentación térmica

Tep: Toneladas equivalente de petróleo

UCC: Unidad de Cambio Climático

UF: Unidad Funcional

UNIT: Instituto Uruguayo de Normas Técnicas

1. INTRODUCCIÓN

Desde sus comienzos, el ser humano ha modificado su entorno para adaptarlo a sus necesidades; para ello ha hecho uso de todo tipo de materiales naturales, procedentes de su entorno inmediato, y técnicas constructivas que, inicialmente, no generaban impactos significativos en el medio ambiente.

En un primer momento la arquitectura fue extremadamente rústica y modesta, basada en materiales como cuero, adobe y paja. En las construcciones más elaboradas se usó la piedra, y en la segunda mitad del siglo XVII aparecieron el ladrillo y la cal, materiales que eran fácilmente obtenidos del territorio y constituían un recurso inagotable, a la escala de su explotación, y se incorporaban a la obra con un mínimo de transformaciones. (FERNANDES et al, 2007).

Con el desarrollo de la técnica y los avances industriales traídos por la inmigración, el hombre cambia la forma de diseñar y de construir sus edificaciones, dejando de lado las técnicas tradicionales de construcción.

La Revolución Industrial supone un cambio en las técnicas empleadas en la producción de los materiales de construcción, dependiendo menos de los materiales naturales, aumentando la extracción de materia prima de la corteza terrestre, desarrollando nuevas fuentes energéticas que requieren más recursos y aumentan los impactos ambientales, extendiendo el transporte horizontal en gran escala, facilitando el alejamiento de la actividad humana y aumentando las distancias entre la obtención de materias primas y su elaboración o construcción (ARENAS, 2008; FERNÁNDEZ, 2003). Esta situación permitió y fomentó que los procesos de concentración urbana comenzaron a acelerarse desde entonces, y que el siglo XXI se asocie a una superpoblación urbana, escases de materiales de construcción y preocupación por los impactos ambientales a nivel mundial (TAVARES, 2006).

La gran demanda de materiales de construcción lleva a la necesidad de extraer y procesar gran cantidad de materias primas y al tratamiento de una elevada cantidad de residuos de construcción y demolición, con un alto costo energético. El inminente agotamiento de los recursos energéticos, que hasta ahora han posibilitado el progreso tecnológico humano, vuelve prioritario, además del desarrollo de fuentes alternativas de energía, una búsqueda de conocimiento profundo sobre cómo actuar, reduciendo al máximo el impacto en nuestro entorno, alterando de menor forma posible, el equilibrio natural de los ecosistemas y ahorrando la mayor cantidad posible de energía (ARENAS, 2008).

Dentro de las actividades industriales, la construcción es una de las mayores consumidoras de energía y recursos naturales, y una de las principales causantes de la contaminación por emisiones a la atmósfera. Según la Administración de Información Energética de EEUU (EIA), el sector de la construcción fue responsable de casi la mitad de las emisiones de CO₂ de EEUU en 2009, (46,9 %). En comparación, el transporte representó el 33,5% y la industria solo el 19,6 %, del total de las emisiones de CO₂ (ARCHITECTURE 2030, 2011).

El procesamiento de materiales de construcción y la generación de residuos constituye, de manera indirecta un consumo energético intensivo. El hecho de que los edificios sean responsables de aproximadamente el 50 % de la energía utilizada, les convierte en los principales causantes de las emisiones contaminantes a la atmósfera.

El sector de la construcción toca casi todas las industrias, (fabricación de todo tipo de materiales, de equipos mecánicos y eléctricos), en todos los sectores de la economía desde la arquitectura, planificación, diseño, ingeniería, y desarrollo hasta la fabricación, construcción, venta y distribución.

En Uruguay, la industria de la construcción es uno de los motores que mueve y sostiene la economía. La actividad es un complejo entramado que nuclea empresas, trabajadores y servicios conexos, reuniendo, así, a más de un centenar y medio de empresas constructoras y proveedores, y más de 120.000 personas entre plazas de trabajo directo e indirecto (RODRIGUEZ, 2010).

Es entonces, la industria de la construcción, un ámbito estratégico de cambio social, económico y ambiental, basado en los principios del desarrollo sostenible. Varios autores han afirmado que el rediseño espacial del ambiente construido puede ser el medio más eficaz para alcanzar nuevos niveles de eficiencia y sostenibilidad (MOLLISON, 1983; ALEXANDER, 1977; VAN DER RYN et al, 1996; apud LYLE, 1994).

Para poder evaluar al sector de la construcción es necesario reconocer, cuantificar y calificar los recursos utilizados, en las diferentes etapas del proceso constructivo. Existen diversos métodos para el análisis ambiental de todo el ciclo de vida de la edificación, caracterizado por las etapas de - extracción – fabricación – transporte - proyecto – construcción - uso y mantenimiento - demolición, además métodos de análisis ambiental específicos del ciclo de vida de los materiales de construcción, ya que cada etapa del ciclo de vida de los materiales está relacionada con determinados impactos ambientales.

Una de estas metodologías que evalúa los impactos ambientales de un edificio durante toda su vida se conoce como Análisis de Ciclo de Vida (ACV). La metodología del ACV, establecida en las normas ISO 14040/43, permite cuantificar impactos ambientales asociados a un producto o servicio, desde su origen (extracción de la materia prima), hasta su disposición final (residuo), realizando un inventario completo del consumo de recursos y emisiones asociados al ciclo de vida de un producto.

La precisión de un estudio de ACV depende de la calidad y la disponibilidad de los datos pertinentes, y si estos datos no son lo suficientemente precisos la exactitud del estudio es limitado. Estos hechos afectan a la precisión

de los resultados finales, por lo que no es un método utilizado por el sector de la industria de la construcción. La complejidad de su aplicación en una industria de las características de la construcción hace que su ejecución sea difícil (WADEL, 2009).

De la bibliografía analizada sobre los resultados de ACVs surge, como denominador común, que los impactos relativos al consumo de energía son significativos, y que el uso de energía es uno de los indicadores más difundidos y aceptados como unidad de medida del impacto ambiental, permitiendo evaluar, de forma resumida el impacto ambiental del ciclo de vida de las edificaciones mediante la estimación de consumos energéticos. De hecho, las primeras medidas de eficiencia energética que se toman son, principalmente, para reducir la energía de funcionamiento de un edificio, teniendo poca atención la reducción del contenido de energía de los materiales que componen la materialización del edificio (WADEL, 2009).

Los métodos de Análisis de Ciclo de Vida Energético (ACVE), utilizan la energía como única medida de impacto ambiental. El ACVE no sustituye a métodos de evaluación más amplia, como el ACV, sino que facilita la toma de decisiones relativa a la eficiencia energética, pudiéndose utilizar para demostrar los beneficios de las estrategias diseñadas en el ciclo de vida, para la optimización de la energía incorporada de un edificio. El ACVE permite, además, estimar los ahorros netos sobre la vida del edificio calculando el tiempo necesario para que el costo inicial de la energía incorporada sea pagado por la energía de funcionamiento (FAY et al, 2000). En este tipo de análisis se ve la importancia de la llamada **energía incorporada**, que es el conjunto de los insumos energéticos para la fabricación y transporte de materiales, e insumos indirectos. Un ACVE de una edificación permite presentar índices de energía incorporada en GJ/m² (TAVARES, 2006).

En nuestro país, la producción de materiales responde a gran parte de los impactos ambientales generados por la industria de la construcción: la producción de cemento Portland genera el 91,8% de emisiones de CO₂, específicamente en la etapa de producción del clinker, consumiendo además grandes cantidades de energía eléctrica. La producción de acero, consume carbón mineral, generando considerables emisiones de CO₂ y los ladrillos cerámicos, utilizan madera natural (MVOTMA, 2010). Las extracciones de materiales como arena, balasto y piedra, se concentran próximas a zonas urbanas por razones de costos, degradando dunas, ríos y arroyos. Estas explotaciones fluctúan, teniendo períodos de expansión de su producción y del área afectada coincidentes con picos de la construcción, principalmente en el sur del país (GEO URUGUAY, 2008).

Lo anteriormente descrito justifica la necesidad de profundizar en el conocimiento de todos los aspectos medioambientales, que afecten al ciclo de vida de los productos de construcción elegidos y producidos en Uruguay. Pretendiendo caracterizar parte del ciclo de vida de la producción de dichos materiales, desde la etapa de extracción de la materia prima, hasta el producto acabado pronto para su uso, para luego poder hacer una evaluación de diferentes unidades constructivas, compuestas con los materiales caracterizados, buscando que los resultados del presente trabajo puedan ser aplicados a la industria de la construcción y, con ello, entre otras funciones, sirvan como apoyo al desarrollo de productos más sustentables.

1.1. JUSTIFICACIÓN Y ENFOQUE

La necesidad creciente de obtener edificios con mayor eficiencia energética debe estar sustentada por investigaciones que integren diferentes criterios energéticos y se sintetizen en el estudio de construcciones con un uso racional de los materiales, características constructivas y de uso determinadas.

La construcción, desde un punto de vista sostenible, debe ser abordada desde un pensamiento holístico en cuanto a construcción y gestión del ambiente construido con una perspectiva de ciclo de vida. No sólo los materiales de construcción deben ser producidos de forma sostenible, sino, también, su uso dar respuesta a nuevas exigencias que derivan de condiciones ambientales holísticas.

En Uruguay, la industria de la construcción carece de estudios de consumos de energía e impactos ambientales asociados. Las investigaciones realizadas sobre energía refieren a eficiencia energética asociada al consumo de energía eléctrica, iluminación y confort térmico.

La industria de la construcción está ligada a los sectores industriales del cemento, del cerámico, y del acero, que son grandes consumidores de energía, y utilizan un alto porcentaje de fuentes no renovables. A pesar de ello no existen investigaciones sobre valores de energía incorporada en materiales de construcción ni en la edificación. La producción de materiales de construcción consume grandes cantidades de recursos naturales, y emite cantidades considerables de gases de efecto invernadero (GEI).

Esta investigación intenta poner en relieve la importancia del consumo de energía en el sector de la industria de la construcción, desde una perspectiva integradora, focalizándose en el ciclo de vida de la producción de los materiales de construcción (de la cuna a la puerta), es decir, teniendo en cuenta la extracción y fabricación de las materias primas, el transporte, hasta el producto acabado pronto para su uso en la obra.

1.2. OBJETIVO Y ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1. Pregunta que orientó el trabajo de investigación

El siguiente trabajo intentó responder la siguiente pregunta:

¿Cómo, utilizando datos de consumo energético obtenidos de la producción nacional uruguaya, de materiales de construcción, se puede identificar la mejor opción constructiva?

1.2.2. Objetivo de la investigación

La investigación tiene como objetivo principal, a partir del análisis de diferentes tecnologías, identificar la mejor opción constructiva, teniendo en cuenta su consumo energético para una edificación más sustentable.

A partir de este objetivo principal, se propone los siguientes objetivos secundarios:

- Mapear el proceso productivo de diferentes materiales de producción, identificando el consumo energético consumido en ese proceso por kg de material.
- Identificar las diferentes cargas ambientales que ocurren durante el proceso de producción de los mismos.

1.2.3. Alcance de la investigación

El alcance de esta investigación, es el análisis energético de la producción de tres materiales elegidos, para luego, a partir de la conformación de unidades constructivas, identificar las soluciones más sustentables.

La investigación intenta hacer un aporte a la industria de la construcción, en cuanto a registro de datos de energía incorporada en algunos materiales de producción nacional, a la vez que identifica posibles mejoras en los procesos de producción, que podrían llevarse adelante con una buena gestión.

1.2.4. Limitaciones de la investigación

El presente trabajo de investigación analiza procesos productivos desarrollados en Uruguay. Debido a limitaciones de tiempo, la investigación se centró en el abordaje de una o dos industrias representativas de cada material analizado. Si bien en el caso del acero y cemento no existen otras alternativas más que las nombradas en la presentación de los estudios de caso de esta investigación; no es así en el caso de las industrias ladrilleras, que están localizadas en todo el país y solo se eligieron dos en la región sur, respondiendo a la alta demanda en esa zona.

Las unidades constructivas estudiadas, conformadas a partir de los materiales analizados, son las más utilizadas en el medio local, pero no son las únicas.

1.2.5. Estructura del trabajo

El documento se estructura en siete capítulos.

El **capítulo 1**, presenta el contexto en el cual se inserta la investigación, la definición de objetivos, la justificación del tema y sus limitaciones.

En el **capítulo 2**, se establece el marco conceptual basado en el Desarrollo Sustentable, tras una revisión bibliográfica, relacionada a la Construcción Sustentable, y se presentan aspectos contextuales del tema. Se exploran las relaciones entre la necesidad de la preservación del capital natural y el rol que la producción de materiales tiene en ello.

En el **capítulo 3**, también se presenta una revisión bibliográfica, con contribuciones más directas para los objetivos de la investigación. En este capítulo se presentan los principales impactos de la industria de la construcción en el ciclo de vida de la edificación y se enfatiza en la energía, como parámetro de evaluación, con el análisis del ciclo energético de las edificaciones, haciendo un acercamiento al contexto uruguayo.

El **capítulo 4** se describe el método de investigación utilizado, definiendo las estrategias adoptadas en las diferentes etapas de la investigación.

El **capítulo 5** se realiza una caracterización de los tres estudios de caso, y se presentan los resultados cualitativos, obtenidos de las entrevistas realizadas a las industrias, complementándolos y comprándolos con la bibliografía referente existente. Este capítulo finaliza con comentarios, que intentan ordenar la lectura de los resultados obtenidos.

El **capítulo 6**, analiza las unidades funcionales constructivas, definidas, desde el parámetro energético, a partir de los resultados obtenidos en el capítulo 5.

El **capítulo 7**, agrupa las conclusiones finales, mediante comentarios sobre los dos últimos capítulos. Además sugiere temas para investigaciones futuras, que den continuidad al presente trabajo.

2. SOSTENIBILIDAD, ARQUITECTURA Y CONSTRUCCIÓN

2.1. DESARROLLO SUSTENTABLE

La importancia dada a los factores ambientales no es nueva en la historia de la arquitectura; de hecho, es una constante en el pensamiento clásico. En la antigua Grecia, pensadores como Heródoto, Platón y Aristóteles eran conscientes de la degradación ambiental del suelo producido por la deforestación y la erosión, y de la importancia del uso racional de los recursos para no poner en peligro la supervivencia de la comunidad (PONTING, 1992).

Vitruvio (siglo I AP), en su libro “De Architectura libri decem”, pone de manifiesto las condiciones de un buen sitio y del aprovechamiento correcto de los recursos naturales, a través de la utilización de materiales disponibles en la región, dando recomendaciones ambientales de carácter práctico, como manera de garantizar que la arquitectura cumpla adecuadamente sus fines.

En la Edad Media se perciben los efectos negativos de las actividades humanas sobre el medio ambiente; pero al existir la posibilidad de ocupar nuevas tierras pocas veces esa preocupación resultaba en una acción positiva del uso de los recursos (LIBERMANNM, 1976; apud GRIGOLETTI, 2001).

Recién en la década del 70 las preocupaciones ambientales cobraron una fuerza hasta entonces desconocida. La crisis del petróleo de 1973 y la amenaza de problemas ambientales a gran escala colocan en tela de juicio al modelo de desarrollo basado en el consumo ilimitado de la energía fósil, colocando la reducción del consumo en la agenda de las discusiones económicas, adquiriendo protagonismo discusiones sobre la problemática ambiental ampliando el debate, luego, al área de la industria de la construcción (TAVARES, 2006; CIB 1999).

En 1972, se publica el informe “Los Límites del Crecimiento” (MEADOWS et al, 1972), que, mediante el modelo computacional global World3, reportó tendencias globales a largo plazo, en las áreas de población, economía y medio ambiente, poniendo en crisis al desarrollo económico desligado del deterioro ecológico, dando comienzo a un debate acerca de los límites de la capacidad de nuestro planeta para soportar la continua expansión económica del ser humano. Un crecimiento infinito es claramente incompatible con un planeta finito, nunca nada es totalmente reciclable, el crecimiento económico implica necesariamente crecimiento de consumo y siempre habrá cosas irremplazables (LATOUCHE, 2008).

En 1987, el informe de la Comisión Brundtland, "Nuestro futuro común", define el "Desarrollo Sustentable como aquel modelo de desarrollo que tiende a la satisfacción de las necesidades sociales e individuales presentes, sin comprometer la posibilidad que las futuras generaciones puedan satisfacer las suyas" (WCED, 1987, p.42). Es trascendente, a partir de este nuevo contexto, poner en debate los procesos de hecho y en curso, en particular cuando lo que se está proponiendo es el cambio en los objetivos del desarrollo tradicional (crecimiento macro económico) por los de la sustentabilidad socio-ambiental (CORTAZZO, 2009).

La satisfacción de las necesidades presente de una sociedad se produce a través de la provisión de bienes y servicios generados por el sistema productivo, en los que se utilizan y transforman recursos obtenidos de la naturaleza. El modelo productivo que propone la economía neoclásica (convertidor de recursos en residuos) se contrapone al modelo de sustentabilidad que ofrece la biosfera, que se caracteriza por el reciclaje constante y la inexistencia de residuos que se transforman en nutrientes (NAREDO et al, 1999).

La tierra cuenta con un stock de capital natural único y limitado; el sistema productivo dominante los utiliza como materias primas para la fabricación de productos o prestación de servicios, sin realizar el reciclaje de los recursos invertidos, por lo que éstos terminan convirtiéndose en residuos gaseosos, líquidos o sólidos que se dispersan en la biósfera en cantidades superiores a la capacidad de la misma de digerirlos o regenerarlos. El stock de capital natural se ve perjudicado y degradado, perdiendo utilidad ecológica, con lo que la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades se verá afectada (WADEL, 2009).

Es a partir del informe Brundtland que el crecimiento económico y la afectación ambiental de los recursos naturales quedan definitivamente ligados, lo que da lugar a un reordenamiento de la economía, incorporando costos ambientales desde dos grandes visiones, identificadas como la economía ambiental y la economía ecológica (WADEL, 2009). La economía ambiental, intenta incorporar los costos ambientales al precio de los bienes y servicios, considerando los problemas de la naturaleza como externalidades a valorar, desde el instrumental analítico de la economía ordinaria. La economía ecológica considera los procesos de la economía como parte integrada a la biosfera y los ecosistemas que la componen, viendo al planeta Tierra como un sistema abierto a la entrada de energía solar, concentrándose en el uso sostenible de los ecosistemas e incorporando las Leyes de la Termodinámica (MARTÍNEZ ALIER, 1998).

La economía ambiental analiza el problema desde la sustentabilidad débil, considerando que el capital natural puede sustituirse por otro producido por el hombre, por medio de aportes monetarios, sin que disminuya el stock total del capital. En cambio, la economía ecológica lo hace desde la sustentabilidad fuerte, sosteniendo que el capital natural no puede sustituirse por los otros factores de la producción (figura 1). El capital humano es complementario al capital natural, por lo que resulta imposible establecer un valor monetario para la sustitución del capital natural que supone el deterioro (MARTÍNEZ ALIER, 1998).

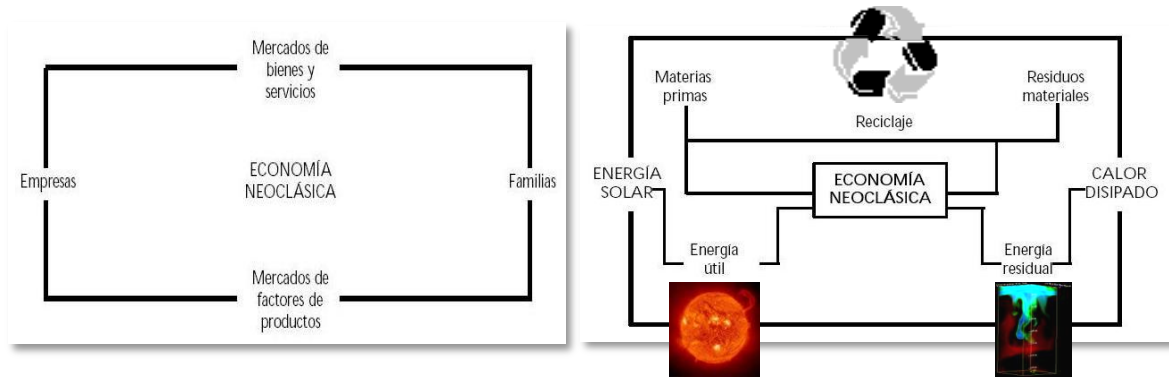


Figura 1: Economía Neoclásica / Economía Ecológica (adaptado de Cortazzo, 2009)

Según la Primera Ley de la Termodinámica, Ley de la Conservación de la Materia y la energía: “nada se crea...nada se destruye..., todo se transforma”, entonces no es de todo correcto hablar de producción y consumo de materiales, sino de la transformación del capital natural con que cuenta el planeta, hacia estados de menor entropía¹, actuando, luego, la industria solo en los procesos que los reordenan y transforman.

La extracción de materias primas y su transformación en productos, generan residuos diversos que se dispersan en el medio, acelerando el proceso natural de degradación entrópica, que conduce a los materiales y a la energía a su máxima dispersión (Segunda Ley de la Termodinámica). El ciclo productivo es, para la economía ecológica, un proceso de conversión de recursos en residuos dispersos que destruye sistemáticamente el Patrimonio Natural², y conservar ese patrimonio, es la única forma de posibilitar que las generaciones futuras dispongan de las mismas posibilidades que las actuales de satisfacer sus necesidades (WADEL, 2009).

Si el ciclo productivo convierte recursos en residuos, el principal reto en la transformación de los sectores de la industria es lograr invertir el flujo, convirtiendo los residuos nuevamente en recursos. Esto implica la necesidad de disponer de la energía que sea capaz de cerrar sus propios ciclos materiales, de una tecnología para recuperar y reorganizar los residuos; y de la organización social, que mantenga un interés económico sobre este proceso (CUCHÍ, 2003).

2.2. EL CICLO DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Toda actividad humana requiere del uso de materiales para poder desarrollarse. Estos materiales se extraen del medio natural produciendo impactos ambientales asociados a su extracción y consecuente disminución de sus reservas, regresando nuevamente al medio ambiente como residuos, que producen contaminación. Esta dinámica compromete la viabilidad del modelo de desarrollo a largo plazo, haciendo imprescindible asumir la

¹ Entropía: Medida de falta de disponibilidad de Materia o Energía= desagregación de la Materia = tendencia al “desorden” = CAOS (Cortazzo Rafael, 2009)

² Patrimonio Natural: Concepto de la sustentabilidad fuerte referido a preservar la Naturaleza (componentes bióticos y abióticos) para legarla a generaciones futuras, y no transable en el mercado. (Gudynas, 2010)

necesidad de un modelo de producción compatible con la sostenibilidad que garantice la capacidad de las futuras generaciones de satisfacer sus propias necesidades (SOCIETAT ORGÁNICA, 2005).

El sector de la industria de la construcción es uno de los sectores más intensivos en el uso de materiales, según el Worldwatch Institute³. La construcción de edificios e infraestructura consume entre el 45 % y 60 % de los materiales extraídos de la litósfera. Los productos utilizados en la industria de la construcción incluyen una variedad diversa de materiales, obtenidos mediante la extracción de las materias primas, a través de procesos que alteran el medio ambiente. Estas materias primas se transforman, necesitando una considerable cantidad de energía, obtenida de fuentes primarias basadas en combustibles fósiles, generando grandes cantidades de residuos, que vuelven al medio ambiente a través del agua (residuos líquidos) , aire (emisiones tóxicas) y suelo (residuos sólidos).

La incidencia de los materiales de construcción en el medio ambiente se da a lo largo de su ciclo de vida, desde su primera fase de extracción y procesamiento de materias primas, hasta el final de su vida útil, es decir, hasta su tratamiento como residuo, pasando por las fases de producción o fabricación del material y por la del empleo o uso racional de estos materiales (ARENAS, 2008).

La industria de la construcción convencional basa su modelo productivo en una secuencia lineal (ciclo abierto) de extracción-fabricación-uso-residuo, donde los recursos que los alimentan son transformados en residuos no asimilables por otro sistema. Este ciclo abierto de materiales y energía lleva a un agotamiento continuo de los recursos naturales del planeta (GRIGOLETTI, 2001).

A diferencia de estos procesos productivos, que siguen una línea recta, desde la extracción de recursos (no renovables de baja entropía), pasando por la fabricación, hasta la emisión de residuos (de alta entropía), la naturaleza, se caracteriza por alimentarse de recursos renovables (el sol) y de convertir los residuos generados en materia prima, con la que retroalimenta dicho proceso. El carácter insostenible de los actuales modos de producción y consumo, son determinados, precisamente, por esa gran explotación de recursos naturales y deposición de grandes cantidades de residuos, sin asimilar. Para hacer más sostenible las relaciones entre el hombre y la naturaleza se debe tomar el ejemplo de la biosfera, articulando procesos productivos que utilicen fuentes de energía renovable, y procedimientos que cierren el ciclo de materiales, posibilitando que los residuos se transformen nuevamente en recursos, contando, además, con una conciencia social que favorezca la producción renovable, frente a la extracción y el transporte a larga distancia de los recursos y sus residuos (CARPINTERO, 2005).

El modelo productivo para la industria de la construcción del siglo XXI debe ser la sustitución de este ciclo abierto por un ciclo cerrado, donde la gestión adecuada de los residuos (reutilización y el reciclaje) los convierta nuevamente en recursos para procesos posteriores, intentando enfrentar una nueva problemática, desarrollando

³ Worldwatch Institute es una organización de investigación ambiental centrado a nivel mundial con sede en Washington, DC.

diferentes estrategias, diseñando nuevos procesos y productos, aplicando nuevos modelos de gestión, que generarán, como resultado, el uso optimizado de los recursos naturales, un menor consumo de energía y una menor contaminación ambiental (SOCIETAT ORGÁNICA, 2005)

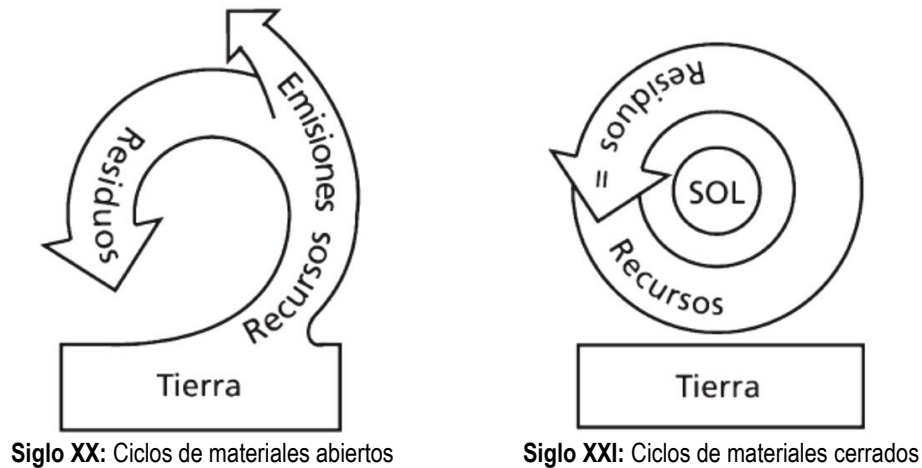


Figura 2: Ciclo de materiales en el siglo XX y siglo XXI (basado en: Wadel G.; Avellaneda, A; Cuchi, A, 1998)

2.3. CONSTRUCCIÓN SUSTENTABLE

La Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y Desarrollo (CNUMAD) también llamada “Cumbre para la Tierra”, desarrollada en Río de Janeiro en 1992, representa un gran avance en la lucha por la protección del medio ambiente. Da origen a diversos acuerdos, que tienen como objetivo desarrollar estrategias integradas para intentar frenar las consecuencias negativas que las actividades humanas provocan sobre el medio ambiente. Uno de ellos es Agenda 21, un Plan de Acción para transformar el modelo de desarrollo actual, basado en una explotación de los recursos naturales, como si fueran ilimitados, y en un acceso desigual a sus beneficios, en un nuevo modelo de desarrollo (CIB, 1999).

En Uruguay, en 1993, se crea la Comisión Técnica Asesora de la Protección del Medio Ambiente (COTAMA), organismo interinstitucional y multisectorial de asesoramiento y coordinación en materia de política y gestión ambiental, que funciona en la órbita del Ministerio de Vivienda Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente (MVOTMA) y toma decisiones en materia de desarrollo sostenible. Ese mismo año se celebran reuniones entre el MVOTMA y organizaciones no gubernamentales, donde se establecen los siguientes objetivos prioritarios de un Programa 21 nacional:

- combatir la pobreza
- promover la conciencia ambiental
- conservar la diversidad biológica

- proteger los recursos de agua dulce
- combatir la deforestación
- mejorar la situación de salud
- modificar las pautas de consumo y de producción
- promover la agricultura sostenible
- promover la seguridad en el manejo de los productos químicos tóxicos
- proteger la atmósfera.

En 1996, la Agenda Hábitat II aborda, específicamente, el papel de los asentamientos humanos en el desarrollo sostenible, previendo la promoción de materiales de construcción sostenible, que, junto con técnicas de diseño eficiente generan construcciones sustentables (PLESSIS, 2002). El sector de la construcción tiene un papel importante que desempeñar, en cuanto al desarrollo sostenible; la industria de la construcción y sus actividades son responsables de una cantidad sustancial de uso de los recursos, desempeñando un papel importante en el desarrollo socio-económico y en la calidad de vida (AGENDA 21 SOBRE CONSTRUCCIÓN SUSTENTABLE, CIB, Publicación 237).

La industria de la construcción es uno de los sectores productivos con relevante participación económica y social en el desarrollo de un país. En Uruguay, según el Instituto de Estadística (INE), en el año 2008 la participación del sector de la construcción en el PBI fue del 6 %, y el porcentaje de población activa ocupada en el sector, para el año 2010, fue del 7,3 %.

Según Plessis (2002), la creación de un entorno edificado sostenible en países en desarrollo requiere un enfoque diferente del adoptado en países desarrollados, ya que los impactos ambientales del sector son mayores. Cada contexto, con características diferentes en cuanto a la densidad demográfica, desarrollo económico, clima, matriz energética, etc. hará que la construcción sustentable asuma diversos enfoques y confiera prioridades diferentes (CIB, 1999).

El aumento de una conciencia por proteger el medio ambiente ha puesto de manifiesto que todos los sectores productivos se esfuercen en controlar y reducir acciones que contribuyen a dañar el medio ambiente. La sostenibilidad nos obliga a tener una mirada más amplia tanto en tiempo (análisis del ciclo de vida), espacio (el objeto en su configuración de sistema más amplio, mirada holística) y costos, de la que solíamos tener en la construcción tradicional, figura 3 (AUGEMBROU et al, 1998).



Figura 3: Desarrollo del concepto de sustentabilidad en la construcción (adaptado de AUGENBR, PEARCE, 1998, Synthesis report for CIB)

La construcción sustentable es abordada desde un pensamiento holístico, en cuanto a construcción y gestión del ambiente construido, con una perspectiva de ciclo de vida. Los materiales de construcción no solo deben ser producidos de forma sostenible, sino dar respuesta a las nuevas exigencias que se derivan de condiciones ambientales holísticas, incorporando la sostenibilidad económica y social (AGENDA 21, CIB 237, 1999).

Según CIB, algunas de las principales directrices que se deben seguir para que la construcción sea sustentable son las siguientes:

- utilización de materiales renovables
- valoración de residuos: reutilización de desechos y posibilidad de reciclado
- bajo contenido energético en el Ciclo de Vida del material
- ausencia de toxicidad durante la vida útil de material

La efectiva implantación de los principios de sustentabilidad en la industria de la construcción dependerá de:

- políticas estatales a largo plazo
- transformaciones en la curricula universitaria para capacitar profesionales
- concientización de los profesionales
- programas de capacitación del sector de la industria de la construcción
- desarrollo de investigaciones que estudien los impactos y el desempeño de los materiales a lo largo de su ciclo de vida
- motivación de los agentes, en cuestiones de sustentabilidad

Uruguay se encuentra en una fase primaria en cuanto a criterios de sostenibilidad ambiental aplicados a la industria de la construcción, en general, y a la edificación, en particular, relativos al empleo de materiales con menor impacto ambiental para su uso en la edificación, con alta eficiencia energética, durabilidad, recuperabilidad y recursos renovables. Se mantiene una posición tradicional, que pone al crecimiento económico como una meta de desarrollo y subordina la gestión ambiental (GUDYNAS, 2001). No alcanza con que diferentes empresas del sector lleven adelante iniciativas de interés ambiental. Las perspectivas ambientales deben integrarse a todos los niveles de toma de decisión (GEOURUGUAY, 2008).

3. IMPACTOS AMBIENTALES DE LOS PRODUCTOS DE LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN

En este capítulo se analizarán los principales impactos ambientales de la producción de materiales de la industria de la construcción, intentando establecer que la disminución de los mismos depende de la transformación del sistema productivo dominante, de secuencia lineal extracción-fabricación-residuo, que lo caracteriza en la actualidad, hacia el ciclo reciclaje-fabricación-reciclaje, que debería caracterizarlo en el futuro.

Según Lippiatt (1998), todas las etapas en la vida de un producto generan impactos ambientales y, por lo tanto, debe hacerse un abordaje de ciclo de vida, desde la “cuna a la tumba”, lo cual implica un análisis de todos los procesos involucrados en la producción, en el uso y en la disposición final. Por lo tanto, debe analizarse la extracción de las materias primas, la fabricación, incluir el transporte, operación y mantenimiento y, en última instancia el reciclado y la gestión de residuos. Es necesario actuar en forma integral sobre la cadena de producción que sigue esa secuencia lineal.

Con énfasis en el estudio de los materiales utilizados en el sector de la industria de la construcción, Parrot (1998), afirma que las investigaciones en materiales de construcción deben ser orientadas para facilitar el análisis de los impactos ambientales involucrados en todo su ciclo de vida, para de esta forma hacer posible la selección de las mejores opciones ambientales y, mediante herramientas de software y bases de datos, permitir la incorporación del análisis de ciclo de vida en la planificación de la rutina y del proyecto de las construcciones.

Toda interacción física entre un edificio y su entorno se realiza en términos de flujos de materia y energía, que puede ser vista como una cadena de transformaciones físicas. La secuencia de transformaciones se suele analizar como cargas ambientales o efectos ambientales. Las cargas sobre el ambiente se presentan en forma de emisiones gaseosas, sólidas y líquidas, y consumo de recursos naturales; los efectos ambientales son sus consecuencias inmediatas, que se caracteriza como la primera reacción del sistema ambiental. Los impactos ambientales se producen como el resultado de los efectos ambientales, que implica una pérdida para la sociedad o grupo de interés (IEA ANNEX 31, 2001).

Tabla 1: Impactos ambientales del producto de la Industria de la Construcción

PRODUCTO DE LA CONSTRUCCIÓN	CICLO DE VIDA		
	PRODUCCIÓN DE MATERIALES	USO - MANTENIMIENTO - REFORMA	DEMOLICIÓN - RECICLAJE - REUTILIZACIÓN DEPOSICIÓN
MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN	IMPACTOS AMBIENTALES		
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Consumo de energía y recursos naturales en los procesos de producción y transporte ▪ Producción de residuos ▪ Emisiones aéreas – efluentes líquidos – residuos sólidos ▪ Pérdida de suelo – daños en el paisaje ▪ Impacto visual ▪ Destrucción de ecosistemas 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Impactos potenciales traspuestos al producto intermedio o final que lo utiliza 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Impactos potenciales traspuestos al producto intermedio o final que lo utiliza
COMPONENTE O ELEMENTO	IMPACTOS AMBIENTALES		
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Consumo de energía y recursos naturales en los procesos de producción y transporte ▪ Producción de ruidos ▪ Producción de residuos ▪ Emisiones de partículas al aire 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Consumo de energía y recursos en los procesos de mantenimiento ▪ Producción de residuos o sustancias tóxicas en función de los procesos de mantenimiento, su naturaleza y vida útil 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Impactos potenciales traspuestos al producto intermedio o final que lo utiliza
EDIFICIO	IMPACTOS AMBIENTALES		
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Consumo de energía y recursos en los procesos productivos ▪ Producción de ruidos ▪ Producción de residuos excedentes de obra ▪ Emisiones de partículas al aire ▪ Impacto visual 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Consumo de energía y recursos naturales ▪ Producción de ruidos en función de la naturaleza de uso y vida útil ▪ Producción de residuos – desechos – aguas residuales – sustancias tóxicas ▪ Perturbación del entorno - tránsito 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Consumo de energía en los procesos de demolición ▪ Producción de ruidos ▪ Emisiones de partículas al aire – polvo ▪ Producción de residuos por demolición o selección para reciclado ▪ Consumo de energía en los procesos de transportes, selección o reciclado ▪ Impacto visual
CARGAS AMBIENTALES			
EMISIONES AÉREAS – EFLUENTES LÍQUIDOS – RESIDUOS SÓLIDOS			
EFFECTOS AMBIENTALES			
CALENTAMIENTO GLOBAL – DESTRUCCIÓN DE LA CAPA DE OZONO – ACIDIFICACIÓN - EUTROFIZACIÓN			
IMPACTOS AMBIENTALES			
REDUCCIÓN DE LA BIODIVERSIDAD			

(fuente: adaptado de CARDIM, 2001)

Durante las primeras etapas del ciclo de vida de los materiales de construcción (extracción de materias primas y fabricación de los mismos) se constata la generación de impactos ambientales, que podemos agrupar en tres: consumo de recursos naturales, generación de residuos, y consumo de energía y emisiones (SPERB, 2001).

3.1. CONSUMO DE RECURSOS NATURALES

Una de las principales causas de la degradación ambiental es el consumo de recursos naturales. La explotación de los mismos tiene como principal efecto la destrucción del stock de capital natural, pérdida de suelo, daños al paisaje, hábitats naturales y destrucción de ecosistemas, contaminación acústica y atmosférica. Los recursos naturales pueden dividirse en recursos renovables y no renovables. Los renovables se caracterizan por tener un elevado índice de reposición natural, y los no renovables por tener índices mínimos de reposición. Según Wadel, (2009), el deterioro ambiental progresivo de recursos no renovables es producido por la dispersión de los residuos en la biósfera, proceso que implica pérdida de calidad de los materiales en la corteza terrestre. El uso sostenible de los recursos materiales está unido a la capacidad del medio ambiente de reproducirlos; por lo tanto los recursos renovables deben ser explotados teniendo en cuenta los límites biológicos de regeneración y de capacidad de producción de la biósfera.

La industria de la construcción, mayoritariamente, utiliza recursos minerales, cuya explotación implica consumos de materiales, energía, agua, etc., cada vez mayores, debido a sus nuevas exigencias. Estos recursos minerales de diferentes tipos son explotados de acuerdo al modelo productivo de ciclo abierto, lo que se traduce en consumo de recursos no renovables y en generación de residuos contaminantes. Como se mencionó anteriormente, la industria de la construcción consume hasta el 60% de las extracciones de materias primas que la industria minera extrae de la litósfera. Algunos materiales, se están consumiendo a un ritmo más acelerado que la tasa natural de regeneración, lo que implica su agotamiento a largo plazo (Wadel, 2009). La consecuencia inmediata es la reducción de la disponibilidad de reservas en la naturaleza. Su potencial agotamiento se puede ver en la disminución de ciertos stocks naturales a escala global, regional o local. Se debe priorizar la utilización de recursos que posean una mayor reserva natural, según los índices de explotación actuales.

En Uruguay, es poco conocido, en general, la importancia e intensidad de uso de los materiales minerales en la industria de la construcción. Los materiales son el “soporte” de una de las industrias más importantes del país, en términos tanto económicos como sociales, como lo es la industria de la construcción. La construcción edilicia residencial, comercial o industrial demanda enormes volúmenes de materia prima mineral, y en particular, se destacan, por su intensidad de uso, el cemento, agregados y cerámicas rojas. Estos materiales forman parte de la obra, a través de diversos “componentes”. Existe una relación directa entre el consumo de materiales y el volumen de construcción en metros cuadrados (m^2); por lo tanto el nivel de actividad en el sector de la industria de la construcción y sus oscilaciones en el tiempo, son un excelente indicador del uso y necesidades de materiales. En este sentido, la figura 4, muestra la evolución de los m^2 construidos en Montevideo, entre los años 1971 y 2010 (TECHERA, et al, 2003).

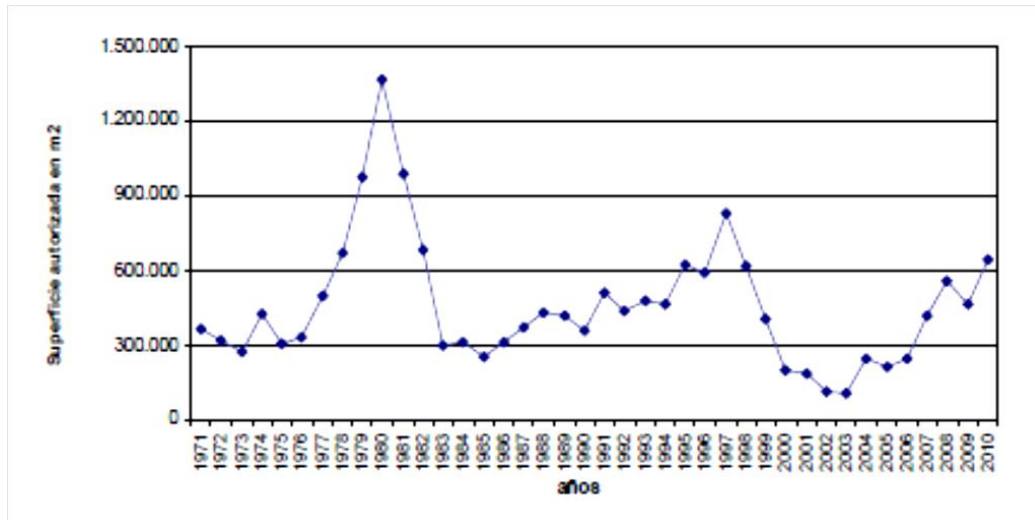


Figura 4: Superficie autorizada en metros cuadrados, Montevideo 1971 - 2010 (INE, 2010)

Otro indicador del consumo de recursos, es la venta del cemento Portland (tabla 2), ya que éste se utiliza, principalmente en la elaboración de hormigones y morteros.

Tabla 2: Producción de cemento Portland anual en Uruguay

Venta de cemento Portland en plaza (toneladas)								
Año	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
ANCAP	223.820	226.666	278.250	319.135	327.249	335.277	317.266	300.825
Artigas				334.920	373.029	416.829	465.627	
Total				654.055	700.278	752.106	782.893	

(fuente: ANCAP; CEMENTOS ARTIGAS, 2009)

3.2. GENERACIÓN DE RESIDUOS

Los productos utilizados por la industria de la construcción incluyen una variedad muy grande de materiales de diversos tipos, como piedra, madera, metal, plástico, cerámicos, etc., obtenidos mediante procesos que alteran el medio pre existente en diversas formas, degradando el medio natural. Posteriormente, estas materias primas, mediante energía, en procesos de fabricación, reorganizan su forma y su estructura para proporcionar la utilidad deseada del producto final. Estos procesos de transformación generan cantidades de residuos y materiales inútiles, restos de los procesos de purificación y configuración, que son devueltos al medio ambiente a través de varios medios de difusión. Esta dispersión de los residuos de producción de materiales de construcción genera impactos ambientales, tales como aumento del efecto invernadero natural, debido a las emisiones de gases de

efecto invernadero (GEI), destrucción de la capa de ozono, acidificación del suelo, eutrofización de los ecosistemas, contaminación atmosférica, etc.

Los impactos producidos por los residuos generados en el proceso de fabricación de los materiales utilizados por la industria de la construcción suponen buena parte de los impactos ambientales que genera dicha industria. Actuar sobre los procesos de extracción y fabricación, reduciendo los residuos que generan eliminará parte de los impactos al medio ambiente.

Un residuo puede ser la materia prima de un recurso, si tenemos la capacidad de regenerar ese residuo para que esté nuevamente disponible como recurso, evitando así los impactos asociados a su vertido. Cerrar el ciclo de materiales nos conduce a la sostenibilidad. Para ello hay dos caminos: el de los materiales renovables donde la biósfera recoge los residuos y los convierte en recursos a través de sus procesos naturales, y el de los materiales no renovables, realizando una gestión adecuada de los residuos para reciclarlos y convertirlos en recursos.

3.2.1. Reutilización y reciclaje

Un material puede ser usado de forma original como fue concebido o puede ser reciclado. El reciclaje de un material puede ser realizado en ciclos de producción abiertos o cerrados. En un ciclo cerrado, el material puede ser reutilizado como materia prima para fabricación de materiales semejantes; por ejemplo, el ladrillo de campo. En un ciclo abierto, el material reciclado es aprovechado en un uso diferente al original (TAVARES, 2006).

La reutilización de materiales es una solución que además de reducir el volumen de residuos en la etapa de demolición de una edificación, minimiza también el consumo de materia prima y de energía, en el proceso de producción de nuevos materiales (COLE, 2002, apud KUHN, 2006).

Este aprovechamiento es ventajoso para materiales compuestos por recursos no renovables, que poseen un alto costo ambiental de extracción o para aquellos que consumen grandes cantidades de energía en su procesamiento. La reutilización es considerada, desde el punto de vista ambiental, ventajosa con respecto al reciclaje, ya que no exige nuevos procesamientos (KUHN, 2006).

3.3. CONSUMO DE ENERGÍA Y EMISIONES

La energía es el parámetro más importante para su consideración, al evaluar los impactos de los sistemas técnicos en el medio ambiente, porque interviene en cualquier proceso productivo. Implica consumo de recursos cada vez más escasos, a medida que se agotan nuestras reservas de combustibles fósiles, y liberación de emisiones contaminantes. Las fuentes de la energía consumida varían sustancialmente sus consecuencias sobre el medio ambiente, según la naturaleza de la fuente energética utilizada. Las fuentes renovables pueden tener más bajos impactos medioambientales y ser más sostenibles a largo plazo (IEA ANEXO 31, 2004).

Conocer el consumo de energía de un determinado proceso permite hacer una primera valoración ambiental, aunque no permite distinguir entre energías renovables y no renovables.

Los impactos ambientales asociados al uso de energía primaria empleada en la fabricación de los materiales de construcción y en su puesta en obra, representa un indicador global, ya que los materiales que proveen de la energía, en estos procesos, generan grandes cantidades de residuos tóxicos. El gasto energético se expresa en Mega Joules (MJ), o en su equivalente kilo Watt hora (kWh), siendo $1\text{kWh} = 3,6\text{ MJ}$. El consumo de energía se puede traducir en emisiones de dióxido de carbono (CO_2), recurso útil para valorar la repercusión ambiental de las diferentes fuentes implicadas en los procesos. El aumento de CO_2 y de diferentes gases de efecto invernadero (GEI), emitidos a la atmósfera durante la producción de materiales de construcción, eleva la concentración de éstos, causando un potencial incremento del efecto invernadero natural, que da origen al calentamiento global (ARGÜELLO MENDEZ et al, 2008; WADEL, 2009).

En la industria de la construcción, la fabricación de materiales es la principal fuente de emisiones de gases contaminantes. La industria del cemento es la mayor emisora de dióxido de carbono (CO_2), óxidos de nitrógenos (NO_x), dióxido de azufre (SO_2) y materiales en suspensión en el aire (polvo), ya que, además de usar combustibles fósiles para la generación de energía térmica, ocurren emisiones adicionales provenientes de los hornos, equipos mecánicos y vehículos de transporte, que también consumen combustibles fósiles. La fabricación del cemento termina siendo responsable por el 4,5% del CO_2 emitido a la atmósfera por actividades humanas (MARLAND, 2007).

Por otro lado, el aluminio es uno de los materiales más criticados, desde el punto de vista ambiental. Grandes cantidades de energía son necesarias para su producción, además de generar cantidades importantes de residuos, del proceso de depuración, por unidad de metal fabricado, muy contaminantes, como los electrolíticos que se producen en la formación del material. Para producir 1 kg de aluminio se necesita un consumo de entre 190 y 210 MJ, cinco veces más, que el que se necesita para fabricar 1kg de acero (WADEL, 2009).

En la tabla 3, se hace una comparación del consumo de energía para la obtención de 1kg de diferentes materiales utilizados en la construcción, lo que pretende dar una idea de rendimientos energéticos de éstos. Se introduce, además, la relación energía / peso específico, lo que pretende dar una idea de rendimientos energéticos de estos materiales.

Tabla 3: Consumo energético de algunos materiales usados por la industria de la construcción

MATERIAL	EE (MJ/kg)	EC (kgCO ₂ /kg)	Energía / Peso específico (MJ/m ³)
Acero virgen	35.40	2.71	0.0037
Acero reciclado	9.40	0.44	0.0018
Aluminio general	155	8.24	0.057
Aluminio reciclado	29.0	1.69	0.0107
Cemento general	4.5	0.73	0.0013
Cemento Portland 94% Clinker	5.5	0.93	
Cerámica general	10	0.66	
Concreto general	0.75	0.10	0.00031
Ladrillo	3.00	0.23	0.0017
Nylon (Poliamida) 300g/m ²	130/m ²	6.7 GWP/m ²	
Vidrio Plano	15	0.86	0.006

Las cifras incluidas en la tabla se basan en un análisis de la "cuna a la puerta"⁴

(fuente: adaptado del estudio publicado por el Equipo de la Energía Sostenible (SERT) de la Universidad de Bath⁵)

La información de la tabla 3, corresponde a datos de Reino Unido. Para Uruguay, se desconoce dicha información, la que podrá diferir de ésta o de otros datos disponibles en la bibliografía internacional, dado que la energía incorporada en los materiales depende de la matriz energética de cada país, de las tecnologías utilizadas en los procesos productivos y de los sistemas de transportes utilizados.

Debido a la gran preocupación que existe en controlar las emisiones contaminantes y controlar el efecto invernadero, es que se están desarrollando diferentes investigaciones enfocadas a medir la participación de la industria de la construcción en el aumento de la contaminación del medio ambiente. Estudios sobre consumo energético, en la producción y transformación de materiales de construcción y emisiones de CO₂, se han realizado en diferentes países, como Nueva Zelanda, Japón, Australia e India. La selección de los materiales de construcción y la elección de la tecnología utilizada en la construcción debe satisfacer las necesidades del usuario, de la sociedad y de las generaciones futuras (TAVARES, 2006).

A nivel regional existen diferentes investigaciones, que abarcan temas como reutilización y reciclaje de materiales. En Uruguay, los datos referidos a consumo energético y emisiones de CO₂ en la producción de materiales específicamente, son temas intrínsecos de las propias industrias y no de investigaciones realizadas por la Academia. Además, muchos de los materiales que consume la industria de la construcción son

⁴ De la cuna a la puerta: incluye la energía incorporada de un material de construcción de la extracción, fabricación y transporte hasta que el producto sale de la puerta de la fábrica.

⁵ El "Inventario de Carbono & Energía (ICE) Versión 2.0 fue compilado y escrito por Prof. Geoff Hammond & Craig Jones, 2011. El estudio completo está disponible en <http://www.bath.ac.uk/mech-eng/sert/embodyed/>

importados, lo que implica el agregado de un recorrido extendido de transporte, que aportará, también, emisiones a la atmósfera.

3.4. CONSUMO DE ENERGÍA EN URUGUAY

3.4.1. Ubicación geográfica y datos generales

La República Oriental del Uruguay está situada en la zona templada de América del Sur, entre los paralelos 30° y 35° de latitud sur y los meridianos 53° y 58° de longitud oeste, limitando al norte y noroeste con la República Federativa de Brasil; al oeste, con la República Argentina, a través del Río Uruguay; al sur, con el Río de la Plata y al este, con el Océano Atlántico (figuras 5 y 6).

Según las Naciones Unidas, Uruguay está clasificado como un país en desarrollo de ingreso medio y de desarrollo humano alto. Ha logrado una cobertura casi universal de acceso al agua potable y al saneamiento, con servicios de alto nivel de calidad y acceso a electricidad en áreas urbanas. Es un país esencialmente agropecuario, siendo la ganadería, la agricultura y la forestación las principales fuentes de exportación.

En cuanto al clima, Uruguay es el único país sudamericano totalmente situado en la zona templada con temperaturas medias de 17,5°C, humedad relativa media de 75% y precipitaciones medias anuales de 1.300mm.

El territorio uruguayo está ubicado en una zona de transición biogeográfica en el continente, albergando una importante biodiversidad. Presenta diversidad de ambientes, como praderas naturales, bosques nativos, palmares, humedales, dunas móviles y una cadena de bahías, lagunas costeras, cabos rocosos y playas arenosa, a lo largo de la costa.

La oferta de energía primaria está escasamente diversificada con fuerte dependencia del petróleo y la energía hidroeléctrica, incorporándose a la red eléctrica, en el año 2007 la energía de origen eólico y de residuos de biomasa (MVOTMA, 2010).



Figura 5: Mapa de Uruguay, en América del Sur
 Figura 6: Mapa político de Uruguay (DINAMA, 2010)

3.4.2. Características principales

El Balance Energético Nacional aporta información sobre la composición de la matriz energética, desagregada por fuentes y consumo. Contabiliza el consumo de energía que ingresa al sistema socioeconómico, qué transformaciones sufre para su utilización y cómo se consume la misma, expresando estos flujos en toneladas equivalentes de petróleo (tep), que representa 10 millones de kilocalorías. La conversión de las magnitudes correspondientes a cada fuente a su expresión tep, se realiza a través de su respectivo Poder Calor Inferior (PCI), (BERTONI et al, 2010).

La energía final consumida por los sectores socioeconómicos (residencia, industria, transporte, agro, pesca, minería, comercio y servicios) está constituida por el total de la energía primaria y la energía secundaria. La fuente de energía primaria es aquella provista por los flujos de la naturaleza, en forma directa, como la hidráulica y eólica; o que pudo haber atravesado un proceso minero, como los hidrocarburos, carbón mineral, gas natural; o ser resultado de la fotosíntesis, como la leña y los residuos de biomasa. Las fuentes de energía secundaria son productos energéticos resultantes de diversas transformaciones de las fuentes primarias, que implican un cambio en sus características iniciales, a través de procesos químicos, físicos o bioquímicos (DNETN / MIEM, 2008).

El total de la energía primaria y secundaria consumida por los sectores socioeconómicos constituye la energía final. En el proceso de transformación de la energía, así como en su transporte se producen pérdidas, por lo que la energía final es menor. Una aproximación a la dinámica de las transformaciones y usos de la energía se ofrece en el Diagrama de Flujo de Energía (figura 7), (BERTONI et al. 2010).

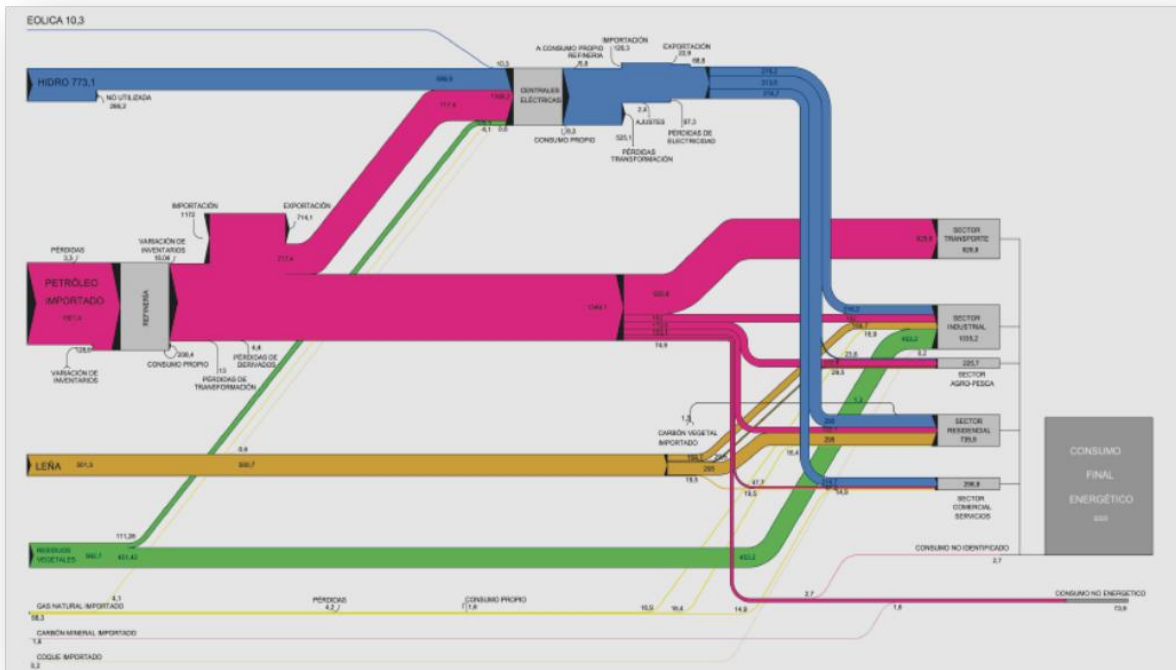


Figura 7: Diagrama de Flujo de Energía en Uruguay (DNETN, 2009)

La oferta de energía en Uruguay tiene una fuerte dependencia del petróleo y de la energía hidroeléctrica (figura 8). La mayor o menor participación del petróleo depende de las variaciones que se da en el caudal hidrológico anualmente. Durante el año 2008, las fuentes de energía importadas representaron el 47 % de la oferta, 46 % el petróleo principal fuente y 1 % de gas natural, y el 53 % sumaron la energía hidroeléctrica (23 %), leña (16 %) y residuos de biomasa (14 %). A partir del año 2007 se incorpora la energía eólica para la generación de energía eléctrica con una pequeña participación, pero con perspectivas de incrementarse (MVOTMA, 2010).

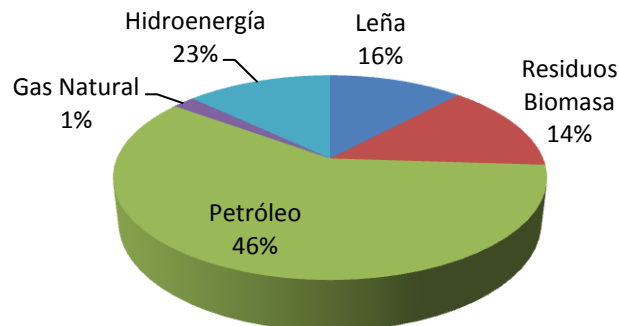


Figura 8: Oferta de Energía Primaria (Balance Energético Nacional, 2009. DNETN)

El consumo final de energía de Uruguay ha tenido una tendencia creciente desde el año 2004, alcanzando en el 2008, los 3.107 ktep. (Kilo toneladas equivalentes de petróleo). El consumo se distribuye entre cinco sectores principales: residencial – transporte – industrial – comercial – agro/pesquero (tabla 4). En el año 2007, el sector transporte significó el 32 %, el residencial 28 %, seguido de la industria 23 %. En el año 2008, el sector industrial pasa al 33 %, adquiriendo un lugar preponderante sobre los otros sectores, vinculado principalmente al consumo de residuos de biomasa y al inicio de la operativa de la planta de celulosa UPM Botnia (MVOTMA, 2010).

Tabla 4: Consumo final energético por sector, 2007- 2008 - 2009

SECTOR	AÑO 2007	AÑO 2008	AÑO 2009
Transporte	32%	29%	29%
Residencial	28%	23%	23%
Industria	23%	33%	32%
Comercial	9%	8%	9%
Agro/Pesca	8%	7%	7%

(fuente: Balance Energético Nacional, 2010. DNETN, MIEM)

La estructura de consumo final energético, por fuente, indica que en el año 2009, los derivados del petróleo representaron el 46 %, seguido del consumo de biomasa 30 %, y energía eléctrica 23 %. El consumo de energía per cápita alcanzó 932 kep/hab (kilos equivalentes de petróleo por habitante), siendo bajo, comparado con los datos a nivel regional y mundial.

La diferencia entre los valores de la oferta y consumo final de energía representa la pérdida energética en el proceso de transformación de energía primaria, en una forma de energía apta para el consumo. Los países con gran generación térmica presentan pérdidas de transformación entre 25 y 30 %. En el 2008, en nuestro país las pérdidas ascendieron a un 27 %; estas pérdidas varían año a año, en función de los sistemas utilizados para la generación de energía eléctrica. (BERTONI et al, 2010)

Uruguay presenta una baja tasa de emisiones de CO₂, 1.82 t CO₂/tep (IEA, 2008). Las emisiones de dióxido de carbono son las que provienen de la quema de combustibles fósiles y de la fabricación del cemento. Incluyen el dióxido de carbono producido durante el consumo de combustibles sólidos, líquidos, gaseosos y de la quema de gas.

3.4.3. Consumo de energía en la Industria de la Construcción

El estudio del consumo energético en la industria de la construcción es un componente esencial del análisis global de los procesos de producción industrial. El conocimiento de los diferentes tipos de combustibles utilizados en la industria, y el orden de magnitud de consumo, de cada uno de ellos, es un aspecto clave del

análisis industrial, no sólo por la importancia de la utilización de los productos energéticos en los procesos de producción, sino, también, desde un punto de vista energético, para el conocimiento de la demanda final de energía y de sus posibles implicaciones medioambientales.

En Uruguay hay pocos registros del consumo de energía en el sector de la industria de la construcción. No han sido realizados relevamientos de consumo de energía en sectores industriales, que producen los materiales de construcción. Los datos disponibles se basan en consumos específicos de energía térmica según las capacidades de producción de cada planta.

3.4.4. Generación de CO₂ de sectores ligados a la Industria de la Construcción

Un informe detallado de las emisiones de CO₂ en Uruguay se encuentra en el Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 2004, publicado por el Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente (MVOTMA), Dirección Nacional de Medio Ambiente (DINAMA), Unidad de Cambio Climático (UCC), ratificado en la Tercera Comunicación Nacional, en el año 2010.

En Uruguay, las emisiones de CO₂ provienen mayoritariamente de las actividades del sector Energía. En 2004, el sector aportó 5.123 Kton, el 94 % del total de emisiones de dicho gas, siendo el 6 % restante aportado por el sector Procesos Industriales, donde la producción del cemento Portland genera el 91,8 %, específicamente en la etapa de producción del clinker a partir de la piedra caliza, y el 9,2 % restante de las emisiones fueron generadas por la producción de cal viva u óxido de calcio. Es de destacar que Uruguay no cuenta con otras industrias, cuyos procesos productivos emitan grandes cantidades de CO₂, como la producción de metales a partir de sus minerales.

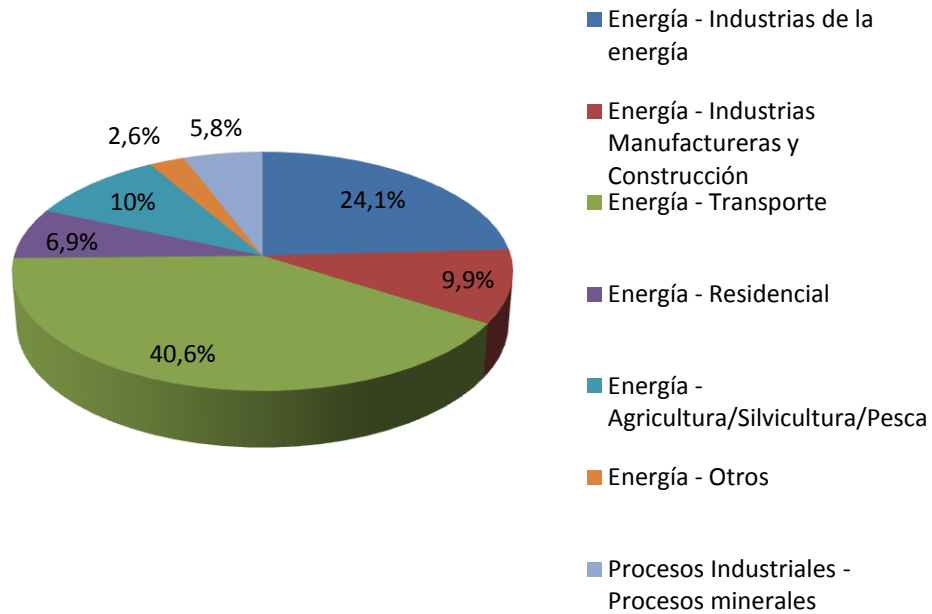


Figura 9: Participación de las emisiones de CO₂, en 2004 por sector y subsector (Inventario Nacional de Emisiones de GEI: 2004, 2010)

3.4.5. Energía consumida por el transporte

En Uruguay, el sector del transporte es el mayor consumidor energético y el primer consumidor de derivados del petróleo. Según el Anuario Estadístico de Transporte 2007, del Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO), el transporte representaba el 5,7 % del PBI nacional, siendo el transporte de carga por carretera el sub sector más importante, seguido del transporte de pasajeros. En cuanto a la composición, por tipo de combustibles, entre 1990 – 2007, hubo un aumento en la incorporación de vehículos diesel. El incremento del precio del gasoil, de los últimos años, ha reducido la importancia de vehículos con este combustible.

Durante el ciclo de vida de una edificación el transporte está presente en casi todas las etapas, según se presenta en la tabla 5:

Tabla 5: Transporte en diferentes etapas del Ciclo de Vida de una Edificación

ETAPA	TRANSPORTE
Extracción de materias primas	De materias primas a la fábrica
Fabricación de materiales	De materiales a la obra y de trabajadores a la fábrica
Construcción de la edificación	De materiales a la obra y de trabajadores a la obra
Uso y Mantenimiento	De usuarios, de materiales de reposición, de trabajadores, de residuos
Disposición final	De residuos

La extensión del transporte en horizontal, en las últimas décadas ha sido creciente. El transporte interviene en dos momentos básicos del proceso de construcción: el traslado de las materias primas, desde el lugar de extracción hasta el de la fabricación de los productos y el trayecto que realizan estos últimos, desde la fábrica hasta el sitio donde se encuentra la obra a construir (WADEL, 2009).

Según la Dirección Nacional de Aduanas, muchos materiales de construcción son importados desde sitios como Brasil, Argentina y China, causando, muchas veces, su transporte, un consumo energético mayor que el necesario para su fabricación. El problema del transporte es que resulta difícil de cuantificar, dada la gran dispersión de origen de los productos disponibles.

Otra etapa donde puede interviene el transporte, de forma significativa, es en el traslado de los trabajadores, tanto del traslado de los trabajadores a la fábrica, como el traslado a la obra.

3.5. ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA ENERGÉTICO DE LAS EDIFICACIONES

El Análisis del Ciclo de Vida, según los parámetros de las normas ISO 1440/43, consiste en un análisis completo de los impactos ambientales, a lo largo del ciclo de vida de un bien o servicio, desde su origen, hasta su final, realizando un inventario completo del consumo de recursos y emisiones. Como se comentó en la introducción de esta investigación, la precisión de los ACV depende de la calidad y disponibilidad de los datos, los resultados finales, por lo que no es un método utilizado por el sector de la industria de la construcción. El ACV nos permite reconocer que los impactos asociados al consumo de energía son significativos.

El Análisis del Ciclo de Vida Energético es una forma simplificada para la evaluación de impactos ambientales, mediante la estimación de consumos energéticos, utilizando la energía como única medida de impacto ambiental. El ACVE facilita la toma de decisiones relativa a la eficiencia energética, pudiéndose utilizar para demostrar los beneficios de las estrategias diseñadas en el ciclo de vida, para la optimización de la energía incorporada de un edificio.

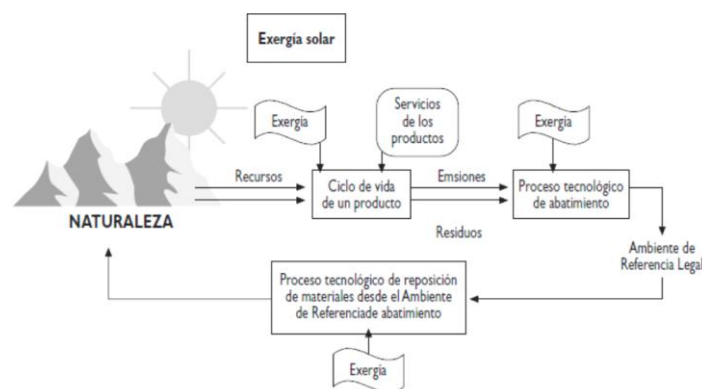


Figura 10: Análisis energético del "Ciclo de Vida" y el coste ecológico (NAREDO Y VALERO, 1999)

El ciclo de vida de la edificación tiene asociada una importante cantidad de energía, consumida en cada una de sus fases: extracción-fabricación-construcción-uso y mantenimiento-deconstrucción; se trata de un proceso dinámico, en que las decisiones tomadas en una fase condicionan la incidencia en las otras y en el impacto global. Los flujos energéticos presentes en el ciclo de vida de una edificación los podemos diferenciar en flujos “estáticos”, que no sufren variación una vez dispuestos y que forman parte del edificio y los flujos “dinámicos”, asociados al uso del edificio, que dependerán de su duración en el tiempo y de su gestión (López, 2006).

Podemos asociar al ciclo de vida, los consumos energéticos presentes en cada una de sus etapas, según la figura 11:

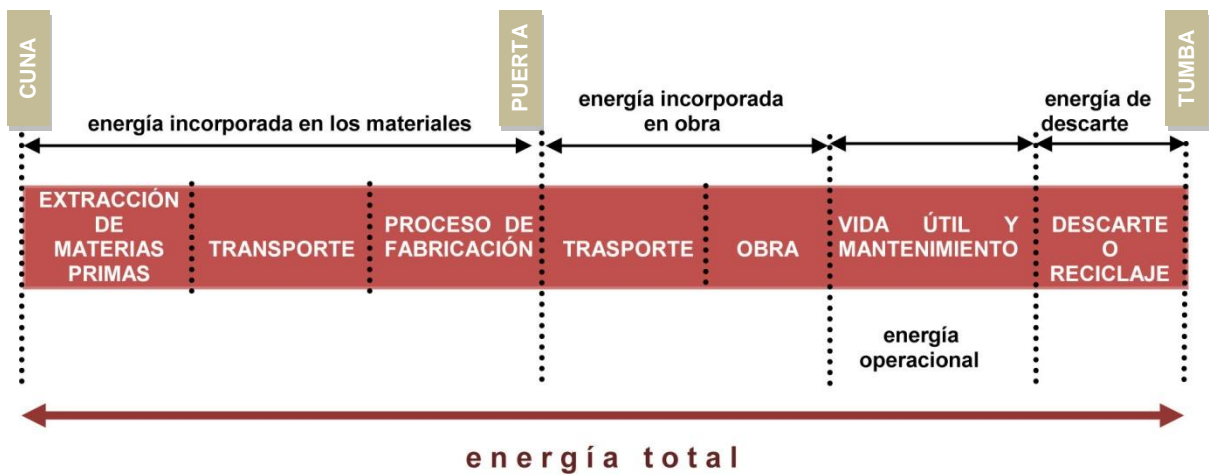


Figura 11: Ciclo de vida energético de una edificación (adaptado de TAVARES, 2006)

La energía en el ciclo de vida de la edificación, es definida en la fórmula 1 (FAY et al, 2000):

$$\text{CVE} = \text{Ei} + \text{Ei}_{\text{rec}} + (\text{EO} \times \text{vida útil de edificio}) + \text{Ei}_{\text{desc}} \quad (1)$$

Ei = inicial (producción materiales + construcción)

Ei_{rec} = energía recurrente para el mantenimiento futuro

EO = Energía de operacional anual, por la cantidad de años de vida útil de edificio

Ei_{dec} = Energía de descarte

3.6. ENERGÍA INCORPORADA EN LAS EDIFICACIONES

La energía es un factor determinante en la consideración de la sostenibilidad. Cualquier transformación física, de movimiento o conformación de la materia, implica un uso de energía para poder producirla, lo que incide en el ciclo productivo completo de los materiales, desde la extracción de recursos, su transformación en productos, la recuperación de los residuos y su reciclado de nuevo en recursos. El uso de energía lleva implícito el concepto de impacto, de incidencia y alteración en el medio ambiente. Las fuentes energéticas predominantes en nuestro sistema técnico son obtenidas de combustibles fósiles, lo que caracteriza el consumo energético como un indicador de sostenibilidad, a través de la magnitud continua, mensurable y utilizada en cualquier tipo de proceso productivo (CUCHÍ, 2003).

El primer consumo energético que debemos considerar es la energía invertida en la fabricación de materiales con los que construimos nuestras edificaciones. Cada material de nuestras construcciones ha sufrido un proceso de extracción de materias primas, transporte hacia los centros de transformación, procesos de conformación, transporte hacia los centros de distribución o comercialización, y nuevamente transporte hacia el lugar de la ejecución de la edificación. Cada paso implica un consumo de energía, aunque los procesos de extracción y transformación son los más significativos, desde el punto de vista energético (CUCHÍ, 2003).

La **Energía Incorporada** (EI) es la sumatoria de los requisitos energéticos de un producto o servicio, ya sean directos o indirectos, necesarios para la fabricación y distribución de un producto en las etapas pre operacionales de su ciclo de vida (TREOLAR, 2001, apud TAVARES, 2006).

La energía incorporada en los materiales: es definida como el conjunto de insumos energéticos, directos e indirectos, utilizados para la edificación. Es la energía contenida en los materiales y procesos presentes en la edificación, variando según el sistema constructivo adoptado. Cada edificio es una compleja combinación de muchos materiales procesados, cada uno de los cuales contribuye a la energía total incorporada del edificio. La energía requerida para extraer y procesar la materia prima para un componente individual, además de la energía utilizada para transportar el producto final a la obra, todo se convierte en parte del costo de la energía incorporada de la estructura terminada. Además, la energía involucrada en el mantenimiento de un componente, y, finalmente, su eliminación y reciclaje, pueden ser parte de la ecuación de la energía incorporada a un material de construcción particular, dependiendo de cómo se cuantifique la energía incorporada (MUMMA, 1995).

La energía incorporada en la obra: la energía de construcción incluye la energía eléctrica utilizada en las herramientas, el combustible diesel utilizado en los equipos en el sitio de construcción y el transporte de los materiales al sitio de construcción. Las actividades incluyen la preparación del sitio, estructura e instalaciones, montaje mecánico, material eléctrico y acabado interior (OYESHOLA et al, 2009).

La energía operacional: es la utilizada durante la vida útil de la edificación. El flujo de energía durante la vida útil de edificio, está relacionado con los usos energéticos que poseen electrodomésticos, sistemas de agua caliente, enfriamiento, cocción; y éstos, a su vez, con la habitabilidad del espacio, confort térmico, iluminación, entre otros (GÓMEZ, 2010).

La energía de descarte: la última fase de la vida de un edificio implica la demolición. El proceso de demolición convencional resulta en la eliminación, en vertederos, de la mayoría de los materiales. El consumo de energía en esta fase es debido, principalmente, a la operación de la maquinaria de demolición y al transporte de los residuos a vertederos, o de los materiales para su reciclaje (OYESHOLA et al., 2009).

Como en la energía operacional, o de funcionamiento, es donde se toman las primeras medidas de eficiencia energética, la energía incorporada se convierte en un porcentaje significativo de los edificios, en el uso total de energía.

3.6.1. Métodos de análisis de Energía Incorporada

La cuantificación de la **EI**, por cualquier material, requiere mirar a largo plazo, el proceso completo de fabricación y utilización, y está lleno de un gran número de variables potencialmente significativas. En consecuencia la complejidad de los cálculos de la **EI** es frustrante a la hora de obtener cifras exactas. Afortunadamente, las cifras exactas no son absolutamente necesarias para tomar decisiones sobre materias de construcción a utilizar, para reducir la energía incorporada de una estructura. Lo que los diseñadores necesitan, es reconocer las diferencias de potencial en relación a la energía relativa incorporada, para tomar decisiones sabias sobre el material y los sistemas a elegir (MUMMA, 1995).

Incluso, con la ayuda de programas informáticos, el contenido de energía de edificios completos, o de diferentes materiales, es difícil de cuantificar, ya que la producción y construcción de elementos constructivos, es un proceso largo y complejo que involucra muchas variables. No existen normas de medición; en la práctica, cada investigador que estudia la **EI**, tiene una metodología diferente para la cuantificación de la energía incorporada de los materiales. Algunos cálculos no incluyen los costos de eliminación final del material y poco se sabe acerca de los costos de eliminación a largo plazo de la edificación. Algunas medidas no incluyen el transporte, o consideran sólo una parte de la energía de extracción de la materia prima, involucrada en la producción del material. Además, el tipo de combustible utilizado en el procesamiento, y el transporte de materiales puede afectar la cantidad de energía incorporada contenida en el producto final (MUMMA, 1995).

La energía consumida directamente en cada fase puede definirse y medirse claramente; no así la energía necesaria, indirectamente, para apoyar los principales procesos, ya que es menos evidente y más difícil de medir. Esto incluye la **EI** en otros insumos de bienes y servicios y la maquinaria utilizada para apoyar estos procesos (ej. elevación de los materiales en una fábrica). La **EI** total comprende la energía directa adquirida para

apoyar el proceso en cuestión, más la energía indirecta incorporada en los insumos para el proceso (FAY et al 2000).

Teniendo en cuenta estas consideraciones, varios métodos se han desarrollado para el cálculo de la energía incorporada:

- Análisis de Proceso
- Análisis Estadístico
- Análisis por matrices de Insumo, por producto (Input-Output)
- Análisis Híbrido

3.6.1.1. Análisis de Proceso

En teoría, aunque no en la práctica, el método más simple es el análisis de la energía incorporada conocido como análisis de procesos. Se basa en el análisis detallado de todas las etapas de un proceso de fabricación, discriminando, en cada etapa los consumos energéticos directos e indirectos (TAVARES, 2006).

El tiempo y el esfuerzo requerido es la principal desventaja del método. También es posible que ciertos datos no puedan obtenerse; sin embargo, el análisis de proceso produce resultados que son exactos y específicos. El análisis de proceso llevado a cabo de los materiales consiste en establecer las entradas de energía directa para un proceso en una fábrica y, luego, encaminar las entradas de materias primas al proceso. En la mayoría de los casos, esto significa la obtención de una cifra de energía, para cada materia constitutiva (BAIRD et al, 1997).

La norma ISO/TS 14048 (ISO, 2002) ejemplifica cómo elaborar la planilla de todos los eventos significativos e informaciones relativas a la realización de un inventario de datos. Para cada evento significativo será relevado su respectivo consumo energético, hasta el subnivel de **EI** posible. Cada etapa tiene su inventario, según fluxogramas específicos (TAVARES, 2006).

3.6.1.2. Análisis Estadístico

Realizado a partir de estadísticas de fábricas, sectores industriales, u órganos de gobierno, sobre los consumos energéticos de productos. Es un método rápido que, sin embargo, no cuenta con datos consistentes, ni confiables (TAVARES, 2006).

El método utiliza las estadísticas publicadas, para determinar el uso de energía por las industrias en particular. Se trata de un método útil y rápido si las estadísticas se mantienen consistentes, exhaustivas y suficientemente detalladas (BAIRD et al, 1997). Lamentablemente, en Uruguay no existen datos estadísticos de energía incorporada en los materiales de construcción.

3.6.1.3. Análisis por matrices de Insumo por Producto (Input – output)

El método de matrices insumo por producto, relaciona los resultados financieros de sectores de la economía, definiendo el flujo de moneda entre ellos. A partir de éstos se construye una matriz de impacto intersectorial o matriz de Leontief (TAVARES, 2006).

La energía indirecta se utiliza para crear las entradas de bienes y servicios del proceso principal, mientras que la energía directa se utiliza directamente para el proceso principal, ya sea en la construcción del edificio, montaje de productos o fabricación del material (CRAWFORD et al, 2003).

Según Tennenbaum (1998), el método de Leontief de entrada – salida, fue adaptado para el análisis de energía incorporada por Hannon (1973), para describir los flujos de energía de un ecosistema. La adaptación de Hannon, tabulaba los requerimientos energéticos totales, directos e indirectos, para cada salida, realizados por el sistema; la cantidad de energía total, directa e indirecta, por el monto total de la producción la llamó “energía incorporada”.

3.6.1.4. Análisis Híbrido

El método de análisis híbrido, combina las fortalezas del análisis de procesos (cifras confiables del consumo de energía para los procesos particulares), con los del análisis input-output, mientras que elimina, en lo posible, sus debilidades inherentes (incompleto, errores). La deficiencia mayor del sistema de análisis híbrido, es la falta de datos sobre el uso integral y confiable de energía de la industria (FAY et al., 2000).

4. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

4.1. ABORDAJE METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

4.1.1. Consideraciones iniciales

La importancia metodológica de una investigación puede justificarse en la necesidad de una base científica adecuada, caracterizándose por la búsqueda del mejor método a ser utilizado, para responder las preguntas que orientan la investigación (MIGUEL, 2007).

Según Eco (1983), una investigación es científica cuando cumple con los siguientes requisitos:

- *versa sobre un objeto (de estudio) reconocible y definido, de tal modo que pueda ser también reconocible por los demás,*
- *dice sobre ese objeto, cosas que aun no han sido dichas, o bien revisar con óptica diferente las cosas que ya han sido dichas,*
- *es útil a los demás, es decir tratar sobre un tema u objeto de interés para otros,*
- *suministra elementos para la verificación.*

Estos requisitos señalados encuadran en el presente trabajo de investigación, en la medida que el objeto de estudio (solución constructiva con materiales de menor consumo energético para su uso en la edificación), la problemática específica abordada (energía incorporada en la producción de materiales de producción nacional) y el interés general, promoviendo la eficiencia energética en todos los sectores de actividad (política energética 2005-2030 MIEM), están presentes en su contenido.

Para cumplir con los objetivos, una investigación debe desarrollarse a lo largo de un proceso que implica muchas etapas, desde la adecuada formulación del problema, hasta la satisfactoria presentación de los resultados. El proceso de investigación se desarrolla a través de la asistencia de conocimientos disponibles y el uso de metodologías y técnicas diferentes. La forma en que el observador interactúa con el objeto investigado para detectar problemas y proponer soluciones, y la forma en que adquiere y procesa los datos, necesitan ser guiado por métodos y técnicas, que se adaptan a la naturaleza específica de la investigación y la realidad investigada, desde una comprensión integrada entre el objeto y el sujeto (MIGUEL, 2007).

Según Yin (2005), existen tres condicionantes para la elección de la estrategia de investigación: la pregunta de investigación, la extensión de control que el investigador tiene sobre los eventos, y si el enfoque es hacia eventos históricos o contemporáneos

4.1.2. Estrategia de investigación

Cuando nos planteamos preguntas de investigación de tipo “cómo”, cuando el investigador, tiene poco control de los eventos y, cuando la atención se centra en fenómenos contemporáneos dentro de un contexto de vida real, la estrategia elegida, según Yin (2002), debe ser el estudio de caso.

En el presente trabajo, la estrategia de investigación que se eligió, es el **estudio de caso**, es decir, un abordaje sistemático de observación de eventos y procesos, coleccionando datos, analizando información y presentando resultados (CORTAZZO, 2009), de **cómo** la energía incorporada en la producción de materiales de construcción influye a la hora de elegir materiales más sustentables, específicamente enfocándose en la dimensión del consumo energético. Gil (2002), afirma que se utiliza principalmente en estudios exploratorios y descriptivos, y que es caracterizado por “el estudio profundo y exhaustivo de unos pocos objetos, de manera de permitir conocimiento amplio y detallado del mismo”.

El presente trabajo de investigación, tiene un carácter exploratorio, es decir que no intentará contrastar empíricamente hipótesis, sino generar informaciones, que permitan discutir con mayor profundidad el tema. Se busca cuantificar el consumo energético de la producción de los principales materiales utilizados en la construcción tradicional uruguaya, para, luego, identificar la mejor opción constructiva, teniendo en cuenta los impactos ambientales de los materiales empleados en componentes (tecnología aplicada) de una edificación. También se procura poner en evidencia el consumo energético innecesario, en las diferentes etapas de la producción, para luego identificar iniciativas que beneficien ese consumo energético.

Con el fin de lograr dimensionar los problemas relacionados con el tema, esta investigación se ajusta tanto a un abordaje cuantitativo, como cualitativo, caracterizado, así, como un abordaje mixto (GIL, 2002). El abordaje cuantitativo se justifica por la necesidad de traducir en números las informaciones que se han recogido, y poder, así, hacer comparaciones con datos obtenidos en la bibliografía regional e internacional. Aunque exige un número mayor de entrevistas para garantizar mayor precisión en los resultados, al ser únicas y representativas las industrias estudiadas permiten tener una interpretación bastante certera.

El abordaje cualitativo, describe y valora la calidad (calidad) de los eventos observados, las relaciones entre las partes y las condiciones emergentes. Tiende a lograr una descripción integrada de un problema, donde el principal objetivo del enfoque es el proceso y su significado, y no, en cuánto se mide (cuantifica) (CORTAZZO, 2009).

Una de las primeras tareas para un estudio de caso es seleccionar las unidades de análisis, o los casos, y acotar el alcance de la investigación (YIN, 2002). A partir de la elección de los casos se debe determinar los métodos, técnicas o instrumentos, tanto para la recolección como para el análisis de los datos (MIGUEL, 2007).

Buscando respuesta a la pregunta de investigación formulada, los instrumentos utilizados fueron la observación directa y la entrevista. Las visitas a las plantas fueron importantes, en el sentido que se pudo analizar in situ el proceso estudiado.

Yin (2002), propone realizar las entrevistas a los actores clave, dentro de los procesos estudiados, elaborando preguntas que permitan seguir la línea de la investigación y obtener un flujo fluido. Las entrevistas fueron semi estructuradas, las que fueron adaptadas según el proceso productivo estudiado.

4.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

4.2.1. Etapas y objetivos

La investigación fue dividida en dos etapas (A y B), según la figura 12, siendo la revisión bibliográfica una actividad referencial constante, en todas las etapas del trabajo. Esta revisión se centró en el desarrollo del marco conceptual, en captar los desafíos y las especificidades de la construcción sustentable, en los impactos ambientales en la producción de la industria de la construcción, y, específicamente, en el consumo energético, con el foco en la realidad nacional, con el objetivo de crear una base teórica, que sustente y permita el desarrollo y evaluación de los estudios de caso.

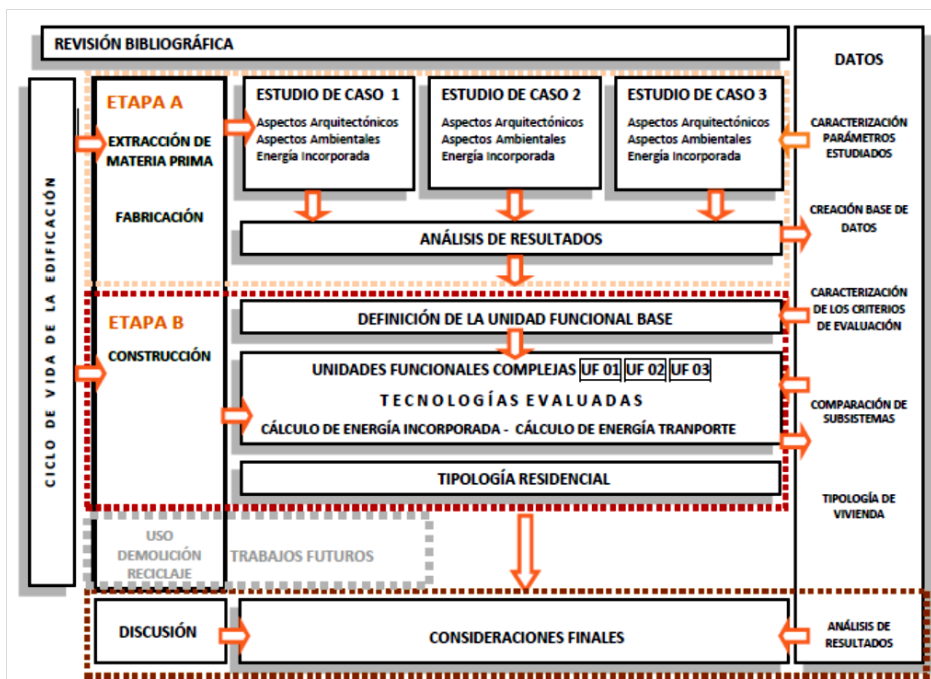


Figura 12: Diseño de la investigación

Las edificaciones alteran significativamente el medio ambiente, en todas las etapas de su vida. Según Lippiatt (2002), es necesario un enfoque multidimensional, teniendo en cuenta todas las etapas del ciclo de vida para poder tomar decisiones, ya que tomar decisiones sobre la base de una sola etapa podría ocultar otras, que pueden causar un daño igual o mayor. Esto implica un análisis de todos los procesos involucrados en la producción, en el uso y en la disposición final de los productos, tales como la extracción de recursos, fabricación, transporte, instalación, uso y mantenimiento, reciclaje y gerenciamiento de residuos.

Según Cardim (2001), el ciclo de vida completo de los productos de la industria de la construcción, es de una gran complejidad. Ello responde a los numerosos aspectos y agentes que intervienen, así como a la propia estructura del sector, lo que hace que resulte difícil elaborar un análisis completo del producto, desde el punto de vista medioambiental, por lo que el presente trabajo, se centró, para el análisis, en las fases de extracción y producción del ciclo de vida de algunos materiales, (etapa A) y, en la fase de construcción de determinados componentes constructivos, (etapa B) y, por último, se realizó una valoración de los resultados obtenidos en las etapas A y B (figura 13).

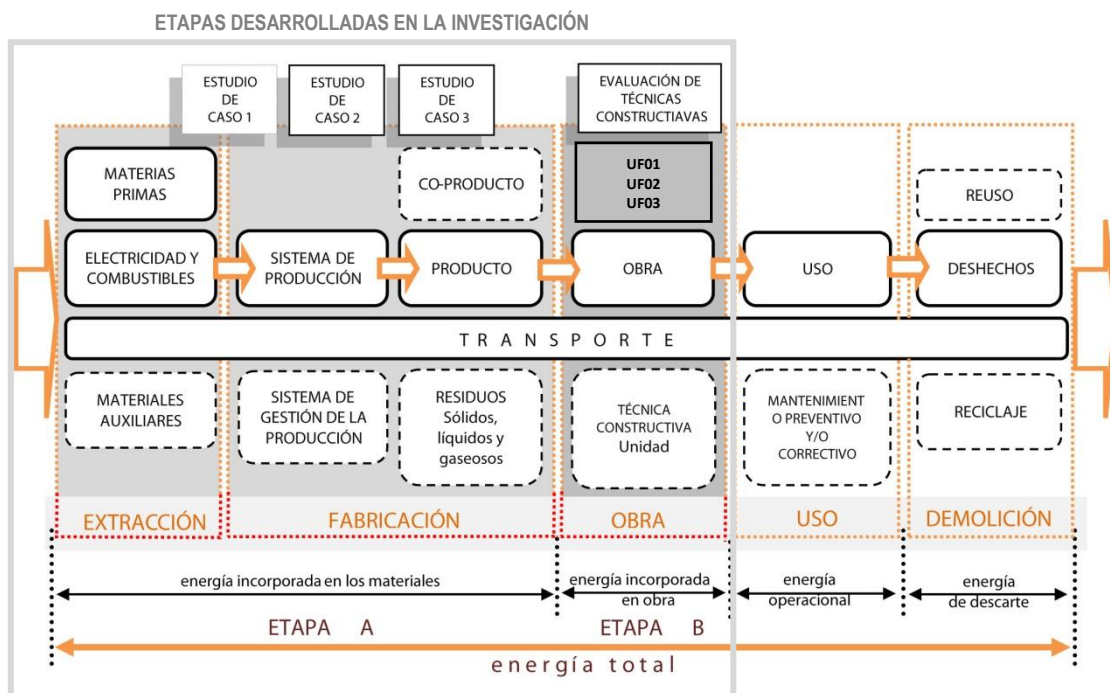


Figura 13: Ciclo de vida de la edificación, asociado al ciclo energético. Etapas desarrolladas en la investigación

La edificación, es uno de los fines sociales a los que destinamos nuestros recursos energéticos; por un lado, fabricando los materiales con los que construimos los edificios y, por otro, manteniendo las condiciones de habitabilidad que dichos edificios proporcionan a las actividades que alojan. Gracias a los avances tecnológicos

se ha podido obtener extraordinarios resultados de ahorro energético, reduciendo hasta un 20 % la energía para generar las mismas prestaciones, en cuanto a las condiciones de confort.

Según Cuchí et al, (2007), la fabricación de los materiales para construir un metro cuadrado de edificación estándar puede suponer la inversión de una gran cantidad de energía, cuya incidencia relativa, de cada uno de ellos, en el total es la que se muestra en la figura 14:

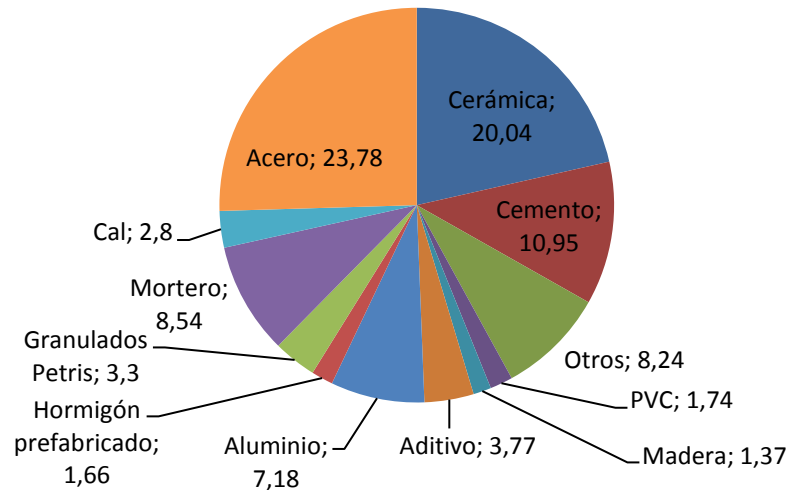


Figura 14: Energía de fabricación de materiales para un metro cuadrado de construcción estándar en España, año 2005 (adaptado de: CENTRO DE INICIATIVAS PARA LA EDIFICACIÓN SOSTENIBLE)

La repercusión de la edificación en la emisión de contaminantes, se ve determinada por dos fuentes, la fabricación de materiales y el uso de las edificaciones. La fabricación de los materiales para construir una vivienda, en España, implica la emisión de más de 50 toneladas de CO₂ a la atmósfera, casi media tonelada por cada metro cuadrado construido, lo que significa, para ese país, durante el 2005, la emisión de cerca de $\frac{3}{4}$ de tonelada por cada habitante, generada por la fabricación de los materiales que la componen (CUCHÍ et al, 2007).

En Uruguay, no se tienen datos sobre la energía de fabricación por metro cuadrado de construcción estándar, como tampoco se tienen datos de la incidencia relativa de cada uno de los materiales en el total. Para poder estimar la incidencia de los materiales en 1m², y así poder elegir los materiales a estudiar, se realizó una consulta a varias empresas locales, que han desarrollado software que les permite saber cuáles son los insumos y tareas que más inciden en el costo de la obra, permitiendo obtener la incidencia de los materiales en el total de la obra.

Para el desarrollo de la investigación, se realizó 3 estudios de casos, de materiales: ladrillo, acero y cemento, producidos en Uruguay, cuyas principales características se presentan en la tabla 6. La elección de dichos materiales responde a la mayor incidencia relativa, en 1 m² de construcción, y a que como muestra la figura 14 son los que más energía consumen en su fabricación.

Tabla 6: Características de los materiales elegidos y sus plantas de producción en Uruguay

COMPONENTE	CARACTERÍSTICAS	PLANTA	PRODUCCIÓN ANUAL
LADRILLO	Se utilizan ladrillos para el 50% de las viviendas construidas en el país (fuente: MOTMA)	Ladrillera ROSUAR Ladrillera BORGES	100.000 toneladas
ACERO	Producción a partir del reciclaje de chatarra ferrosa en Uruguay	GERDAU LAISA	75.000 toneladas
CEMENTO	Consumo de cemento en Uruguay 100% producido en el país	Plantas ANCAP Plantas Cementera Artigas	380.000 toneladas 500.555 toneladas

4.3. DESCRIPCIÓN DE LAS ETAPAS

4.3.1. Etapa A

La etapa A tuvo como objetivo identificar el consumo energético (energía incorporada), en las diferentes etapas de la producción, para cada material elegido como estudio de caso, en las fases de extracción, fabricación y transporte, obteniendo un consumo por kg de material, que permitió la comparación con datos obtenidos de la bibliografía.

En la caracterización de cada estudio de caso se destacaron:

- los aspectos arquitectónicos de cada material, relacionándolos con la incidencia en la arquitectura nacional, citando ejemplos de arquitectos destacados del medio,
- las características y propiedades mecánicas, del material,
- los aspectos ambientales, reserva de materia prima, consumo de energía y emisiones de CO₂

Además, se estudió la industria de cada uno de los materiales en el medio local, definiendo las industrias asociadas, y sus características, para luego definir el proceso de producción y la caracterización de la industria a estudiar.

4.3.1.1. Análisis de datos

Los primeros datos analizados fueron, los recogidos en trabajos anteriores, con el apoyo de la revisión bibliográfica, donde se identificaron impactos ambientales, consumo de recursos naturales, fuentes de energía, emisiones gaseosas y residuos, para cada estudio de caso.

Para poder realizar la estimación de la energía incorporada en los materiales elegidos, se eligió las plantas de procesamiento con las que se trabajó, donde se obtuvieron los datos de cada proceso y del consumo, en cada etapa del mismo.

La información recogida en cada planta, fue suministrada por un funcionario con experiencia y amplio conocimiento del proceso de producción, de la energía consumida, y de la obtención de la materia prima requerida en el proceso. Los instrumentos utilizados para recoger los datos fueron: un cuestionario con preguntas específicas referidas a los consumos de energía, en cada etapa del proceso; observación directa en la visita a la planta del proceso de producción; relevamiento fotográfico, y el análisis de documentos suministrados por las empresas.

Los materiales fueron analizados energéticamente, obteniendo la **EI** inicial en la producción de materiales, por el método de análisis de proceso. El método se basó en un análisis detallado de todas las etapas del proceso de fabricación, discriminando los eventos de consumo energético directos e indirectos, en cada una de las etapas. Como se mencionó en el punto 3.6.1.1, es un método que tiene como principal desventaja el tiempo y el esfuerzo requerido. Los consumos energéticos obtenidos para cada material se cuantificaron en MJ/kg y en kWh/kg.

Según Tavares (2006), la discriminación de los insumos energéticos en fuentes específicas y la generación correspondiente de CO₂, son importantes para la interpretación de un análisis energético. Por lo tanto, es posible establecer un parámetro más directo de sostenibilidad a partir del CO₂ incorporado en la construcción. Las emisiones de CO₂ se calcularon a partir del desglose del consumo de energía por fuentes primarias y factores relacionados con la generación de CO₂. Se consideraron, además, las reacciones específicas de los procesos de fabricación de los materiales de construcción elegidos.

Con los datos obtenidos, se estableció un valor de **EI** en los tres materiales de producción nacional. Luego, se realizó una comparación con los datos obtenidos en la revisión bibliográfica, con datos de **EI** internacionales y de la región.

4.3.1.2. Descripción de los estudios de caso

EC-01: Material: LADRILLO

Los materiales cerámicos, como el ladrillo son producto de la cocción de arcilla, previamente moldeadas, a altas temperaturas. La técnica de cocer arcillas para producir ladrillos tiene más de 4000 años.

Según el Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente (MVOTMA, 2002), una importante cantidad de ladrillos son fabricados a nivel informal, en hornos artesanales, por lo que resulta muy difícil relevar los datos de producción. El principal impacto medioambiental se debe al combustible que consume durante el proceso de cocción. La energía que se utiliza en este proceso para un horno típico, se estima en 2,75 MJ/kg para la fabricación del ladrillo.

El estudio de caso se desarrollo a partir del análisis de las plantas de producción BORGES y RODSUAR, llamadas **LGP** y **LMP**, respectivamente, en la presentación del estudio, cuyas características se presentan en la tabla 7:

Tabla 7: Características de las plantas ladrilleras

PLANTAS LADRILLERAS	CARACTERÍSTICAS
BORGES - LGP	Producción, almacenamiento Capacidad de producción 4.000 toneladas al año Ubicación: San Carlos, Maldonado
ROSUAR - LMP	Producción, almacenamiento Capacidad de producción: 1.600 toneladas al año Ubicación: Montevideo

EC-02: Material: ACERO

Los metales, son aleaciones que se encuentran en la corteza terrestre en forma de minerales. El acero es la combinación entre un metal (el hierro) y un no metal (el carbono), que conserva las características metálicas del primero, pero con propiedades notablemente mejoradas, gracias a la adición del segundo y de otros elementos metálicos y no metálicos. El acero se puede obtener a partir de mineral (ciclo integral) en instalaciones que disponen de Altos Hornos o partiendo de chatarras férricas (ciclo electro siderúrgico), en Hornos Eléctricos. A pesar de que el proceso de reciclado tiene un consumo muy alto de energía eléctrica, una tonelada de acero producida con chatarra consume un tercio de la energía que utiliza para generar la misma cantidad de acero a partir de mineral de hierro.

Para el estudio del acero se analizará la planta de GERDAU LAISA SA (GL), uno de los principales fabricantes mundiales de acero, y el único productor de acero en Uruguay.

GL, es una empresa del sector siderúrgico uruguayo que se dedica a la producción de acero, partiendo de chatarra como materia prima, y transformándolo en diversos tipos de barras comerciales, (tabla 8).

Tabla 8: Características de la planta de acero

PLANTAS ACERO	CARACTERÍSTICAS
GERDAU LAISA SA	Producción: 75.000 toneladas al año Procesa 85.000 toneladas de chatarra ferrosa, 100% producida en Uruguay Procesa 9.000.000 de toneladas a nivel mundial en un año Ubicación: Montevideo

EC-03: Material: CEMENTO

El cemento, es uno de los productos básicos en la industria de la construcción nacional, por ser la base de la producción del hormigón, al punto que su consumo por habitante es uno de los índices de desarrollo que se manejan en el país. Prácticamente, el 100% de las materias primas consumidas son nacionales, siendo el combustible el único insumo importado.

El cemento, resulta de un proceso de industrialización, que consiste básicamente en la fabricación de un mineral sintético denominado clinker, el cual es formado a partir de la mezcla adecuada de diferentes óxidos presentes en las rocas sedimentarias naturales y posterior sinterización, en condiciones de temperatura adecuadas. Debido a las altas temperaturas, la producción de cemento consume cantidades significativas de combustible fósil, como principal fuente de energía, y, de forma secundaria, en equipos. Además consume energía eléctrica para la puesta en marcha de otros equipos.

Para el estudio del cemento se intentó realizar el análisis de las plantas de producción, ANCAP y Cementos ARTIGAS, cuyas características se presentan en la tabla 9. Pero luego de varios intentos en recabar todos los datos que se necesitaban, sólo se pudo realizar la estimación de la **EI** en la planta de Cementos ARTIGAS. Ambas plantas producen el 95% del total del cemento producido en Uruguay.

Tabla 9: Características de las plantas de cemento

PLANTAS ANCAP	CARACTERÍSTICAS
Planta Manga	Almacenamiento y expedición Instalaciones y equipamiento básico año 1968 Personal de la Planta 75 personas
Planta Minas	Producción, almacenamiento y expedición Capacidad de producción 240.000 toneladas de cemento por año con 2 hornos Instalaciones y equipamiento año 1956 y 1963 Personal de la Planta 237 personas
Planta Paysandú	Producción, almacenamiento y expedición Capacidad de producción: 290.000 toneladas de cemento por año con 2 hornos Instalaciones y equipamiento del año 1963 y 1976 Personal de la Planta 264 personas
PLANTAS CEMENTOS ARTIGAS	CARACTERÍSTICAS
Planta Minas	Producción, almacenamiento y expedición Capacidad de producción 500.000 toneladas de cemento por año Instalaciones y equipamiento básico año 1997
Planta Sayago	Molienda, embolsadora y paletizadora Instalaciones y equipamiento año 1996

4.3.2. Etapa B

Concluida la etapa A, se inició la etapa B, en la que se realizó una comparación de diferentes tecnologías, las cuales fueron compuestas por los materiales estudiados en la etapa A, que definieron diferentes componentes constructivos. La evaluación del consumo de energía en elementos constructivos, debe realizarse comparando prototipos de elementos, sin considerar los materiales de manera aislada.

Es por eso, que la etapa B tiene, como objetivo, el estudio de diferentes unidades funcionales constructivas, compuestas, por los materiales estudiados en la Etapa A (figura 15).

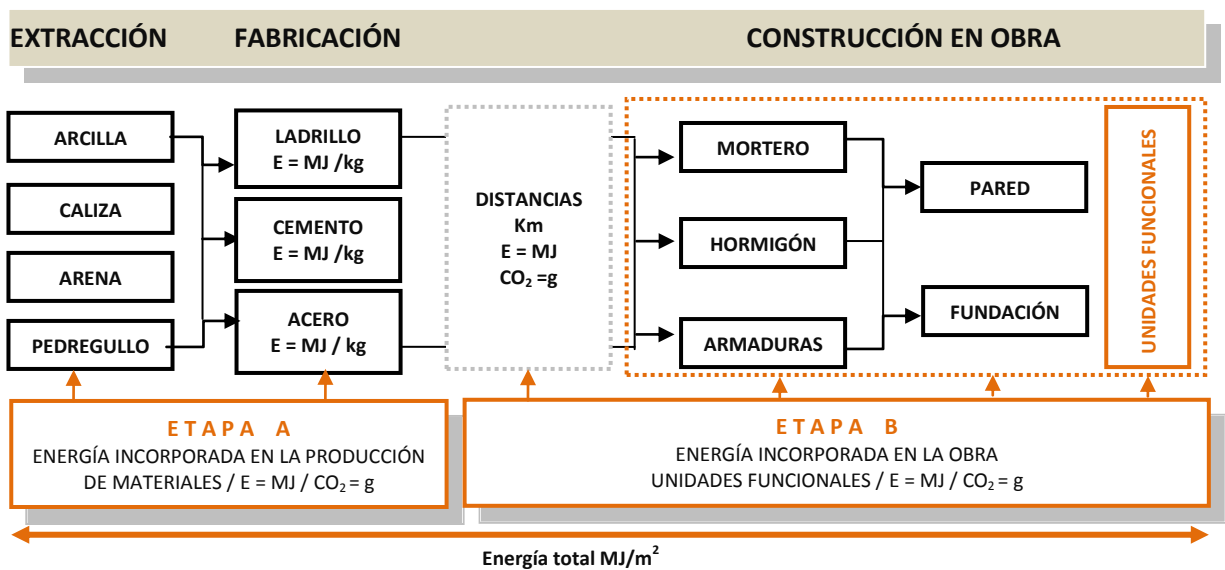


Figura 15: Identificación de las Etapas A y B

Se analizó una unidad funcional base: muro de ladrillo y muro de hormigón armado (H.A.), definiendo el espesor del muro de HA, según las características térmicas del elemento. Para ello se incorporaron los criterios de la Reglamentación de Aislación Térmica (RT), vigente desde el 01/02/2010, en Montevideo, que supone un máximo admisible de transmitancia térmica (U) de $0,85 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$. En esta instancia se prescindió de los demás elementos constructivos, como fundación, cubierta, instalaciones, revestimientos, ya que se pueden suponer comunes para ambas soluciones.

Una vez cuantificados los materiales de construcción utilizados en las unidades funcionales base, a través de unidad de masa por unidad de área (kg/m^2), se obtuvo el contenido energético referente a cada material de construcción, en unidades de energía por unidad de área (MJ/m^2).

A partir de las unidades funcionales base se desarrolló el estudio de 3 unidades funcionales (UF) representativas de sistemas constructivos utilizados en la construcción de viviendas en Uruguay.

Cada unidad funcional representa 1 metro lineal de superficie vertical de cimiento y pared. Las tres unidades funcionales definidas son:

- UF01: doble pared de ladrillo, colocado a soga, sobre viga de cimentación de H.A., con cámara de aire y capa húmeda de arena y Portland con hidrófugo.
- UF02: doble pared de ladrillo: una pared colocada a soga y otra aplacada, sin cámara de aire, con capa húmeda de arena y Portland con hidrófugo.
- UF03: pared de H.A. sobre viga de cimentación de H.A.

Con respecto al gasto energético en el transporte de los materiales de construcción, se considerará el recorrido desde sus productores (analizados en la etapa A), a Maldonado, que es uno de los departamentos donde se concentra la mayor producción de m² de edificación a nivel nacional.

Para calcular dicho consumo energético se utilizó la relación entre el combustible y los valores de rendimiento promedio de camiones utilizados para el transporte de materiales.

La cuantificación de los materiales fueron obtenidos a partir de datos suministrados por las empresas productoras de materiales, datos basados en la experiencia de empresas constructoras locales, obteniéndose cantidades en kg/m².

Los datos que se obtuvieron fueron los contenidos energéticos de cada UF y las CO₂ emitidas en la construcción de las mismas. Por último, estos datos fueron aplicados a una tipología de vivienda del "Proyecto de Cohesión social y desarrollo territorial sustentable en la Cuenca del Arroyo Carrasco" (Proyecto Cuenca Carrasco), actividad de extensión, desarrollada por docentes de la Facultad de Arquitectura⁶.

Los resultados finales fueron comparados con resultados obtenidos en estudios similares, en investigaciones realizadas en la región.

4.3.3. CONCLUSIONES

Aquí se presentan los resultados obtenidos en las etapas A y B, teniendo como objetivo valorar (cuantitativamente), los resultados del análisis de las diferentes unidades funcionales estudiadas. Los resultados tendrán un valor informativo, que permitirá tomar decisiones e identificar la mejor opción constructiva, teniendo en cuenta el consumo energético.

Los resultados son presentados a través de gráficos, que presentan el consumo energético en 2 escalas: la escala de los materiales, en su fases de extracción-producción y la escala del subsistema: unidad constructiva.

⁶ Proyecto de extensión Cohesión social y desarrollo territorial sustentable en la Cuenca del Arroyo Carrasco". Facultad de Arquitectura, UDELAR – 2009, 2010. Responsable Arq. Duilio Amándola. Equipo de trabajo: Arqs. Bozzo, Cadenazzi, Casañas, Crissi, Etchebarne, Ferreiro, Gonnet, Nogués, Soria, Wallerstein.

Para finalizar se realizaron sugerencias para futuros trabajos, que puedan dar continuidad a la incipiente contribución de esta investigación a la reflexión respecto a las variables ambientales en la industria de la construcción.

5. CARACTERIZACIÓN DE LOS ESTUDIO DE CASOS

5.1. EC-01: Material 1 - LADRILLO DE CAMPO

5.1.1. Aspectos arquitectónicos

Los materiales cerámicos (del griego κεραμικός *keramikos*) son producto del cocimiento de tierras arcillosas previamente moldeadas. La historia de la cerámica está ligada a la historia de casi todos los pueblos del mundo. La arquitectura de las ciudades ha experimentado, a lo largo del tiempo, diversas transformaciones en sus materiales, colores, formas y texturas, en la que la utilización del ladrillo se destaca, desde la civilización Mesopotámica. La razón obedece a que sus propiedades físicas y estéticas lo constituyen en un material que se adapta fácilmente a las condiciones climáticas, en diferentes latitudes, una obtención fácil, incorporándose a la construcción con un mínimo de transformaciones, así como se ajusta a diferentes formas, brindando expresividad y movimiento, generando variedad de lenguajes en los escenarios donde está inmerso. Por esta razón, nuestra cultura ha establecido un vínculo con el ladrillo, con la tradición artesanal y con la implementación de su técnica constructiva (TERRACOTA, 2010).

Al principio, los ladrillos eran grandes y pesados, lo que requería una manipulación con las dos manos; con el paso del tiempo, la medida fue variando. Durante el siglo XIX, su peso y tamaño fueron reduciéndose, lo que posibilitó una mejor y rápida colocación, y, al combinarse la manipulación del ladrillo con el uso de la cuchara del albañil, se transformó en el material de uso más común y tradicional en el Río de la Plata (HERRERA, 2011).

En Uruguay, la utilización del ladrillo está presente en gran parte de la producción de la arquitectura de la segunda mitad del siglo XX; algunos ejemplos de ello son las obras del ingeniero Eladio Dieste, y de los arquitectos Payssé Reyes y Rafael Lorente, donde el ladrillo trasciende el rol del elemento constructivo, para incorporar componentes conceptuales, vinculados a movimientos culturales propios del periodo. Color, calidez y textura exploran las posibilidades del material y del conjunto, utilizando el ladrillo en diversos programas arquitectónicos. Su capacidad de adaptación y complementación con otras técnicas constructivas lo volvió un material de uso extensivo (GONZÁLEZ LUZ, 2010).



Figura 16: Estación ANCAP, Punta del Este Arq. Lorente Escudero, 1934.
 Figura 17 y 18: AEBU, Montevideo, Arq. Lorente 1964 (Farq. UDELAR)



Figura 19: BPS, Montevideo, Arq. Payssé Reyes, 1957 (SGBL)
 Figura 20: Seminario Arquidiocesano de Montevideo, Arq. Payssé Reyes, 1952 (OLIVERA)



Figura 21: Iglesia de Atlántida, Canelones, Ing. Eladio Dieste, 1952 (Farq. UDELAR)
 Figura 22: Iglesia de Atlántida, durante su construcción (Farq. UDELAR)
 Figura 23: Iglesia de Atlántida, detalle de cubierta (Farq. UDELAR)



Figura 24: Vivienda, Arq. Leborgne, Montevideo (ORT)

Figura 25: COVIFAMI (CAMAÑO)

Figura 26: COVIAMISTAD (CAMAÑO)

La elección del ladrillo en las obras de estos arquitectos se debe a una serie de razones relacionadas con aspectos de versatilidad, funcionalidad y estética, y a que su técnica es simple y económica. Eligieron el ladrillo por: a) su elevada resistencia mecánica, entre 500 y 1000 kg/cm²; b) por ser un material nacional; c) por ser de apropiadas dimensiones, livianos y de fácil adaptación a distintos usos en obra y variadas aplicaciones constructivas; d) por tener una buena preservación de sus características, y resistir mejor los cambios de temperatura; e) por tener una masa cocida de buena aislación térmica; f) por presentar buen aspecto y color, dando inagotables posibilidades estáticas y plásticas; g) por ser buen absorbente acústico; y h) por tener capacidad de regulación “natural” de la humedad ambiente.

Otros factores importantes en la elección del ladrillo lo describe Dieste en su libro*:

“Una arquitectura sana no puede producirse sin un uso racional y económico de los materiales de construcción”.....Creo que una arquitectura que tenga en cuenta los hábitos y gustos de nuestra gente, nuestro clima tan especial por lo templado y destemplado a la vez, lo estructural y lo constructivo vinculado a nuestras posibilidades, las capacidades de nuestros obreros y con el imponderable de la expresión de nuestra luz y nuestro paisaje, habrá de tener un matiz nacional”

“En mi país, y seguramente en otros países iberoamericanos sucede lo mismo, hay una notable capacidad artesanal para la construcción en ladrillo (herencia de los constructores españoles e italianos). En el último pueblo encontraremos oficiales albañiles tan hábiles como los mejores, que parecen llevar los ladrillos en la sangre, que sólo esperan que los sepamos guiar para hacer las cosas que asombrarán. Lo racional, lo económico, lo verdaderamente utilitario es usar ese capital notable eficiencia obrera y que tengamos en cuenta lo que sabe hacer la gente que ha de construir nuestras obras” (ELADIO DIESTE, 2000).

5.1.2. Características y propiedades del ladrillo de campo:

El ladrillo de campo es el producto de cerámica roja que más se produce en el país. Es un elemento paralelepípedo macizo, constituido por tierra arcillosa y materia orgánica, cocido en el horno de campo, cuyas dimensiones suelen ser 24 cm x 12 cm x 5 cm. La liga más utilizada es el aserrín y la cáscara de arroz. Su masa es homogénea, bien cocida y produce, al golpear dos piezas entre sí, un sonido metálico. Su color puede variar del rojo al anaranjado. Su producción artesanal es una actividad desarrollada en diferentes lugares en casi todos los departamentos del país (GONZÁLEZ LUZ, 2010). Sus características mecánicas se muestran en la tabla 10:

Tabla 10: Características mecánicas del ladrillo

Dimensiones medias del mampuesto (cm)	Resistencia media del mortero (MPa)	Resistencia media del mampuesto (MPa)	Resistencia media de prismas* (MPa)	Resistencia característica de prismas* (MPa)	Rotura de muro a compresión (MPa)
24,5 x 11,6 x 5,4	13,30	8,45	10,18	6,5	3,16
24,2 x 11,4 x 5,6	28,00	7,19	9,73	8,69	3,23
24,7 x 11,7 x 5,3	16,34	18,90	8,05	7,62	4,56
24,7 x 11,7 x 5,3	16,34	17,60	11,38	9,79	6,19

* prisma: 3 mampuestos

(fuente: adaptado de Instituto de Estructuras y Transporte, FING, 2004)

5.1.3. Aspectos ambientales

5.1.3.1. Materia Prima

Las lodolitas, existen en abundancia en nuestro país y tienen diversos usos, siendo el más importante la materia prima en la fabricación de la cerámica roja, principalmente del ladrillo. Se trata de sedimentos débilmente consolidados, con una cobertura edáfica constante. Las explotaciones son a cielo abierto y la potencia del manto explotable difícilmente supera los 2 - 3 m. Uno de los límites para la explotación es la presencia de carbonatos. Por su expresión geológica, no es de esperarse escasez de este material y la calidad se considera buena

(DINAMIGE, 1987).

Los principales depósitos potenciales para este recurso mineral se asocian a unidades sedimentarias de composición limo-arcillosa de edad Cuaternaria (formación de Dolores y Libertad), así como depósitos arcillosos, actuales y sub-actuales, vinculados a las planicies de inundación de los cursos de agua. Los citados depósitos se encuentran ubicados mayormente en la región centro-sur del país, tabla 11 (MIEM, DINAMIGE, 2010).

Tabla 11: Características litológicas y recursos minerales asociados

		FORMACIÓN	CARACTERÍSTICAS LITOLÓGICAS	RECURSOS MINERALES
Cuaternario	Pleistoceno	Dolores	Lodolitas y areniscas arcillosas muy finas, de colores pardos. Carece totalmente de estratificación y su grado de compactación es variable siendo función directa del contenido en arcilla; presenta carbonato de calcio en concreciones o pulvurulento.	Lodolitas, arenas y limos (sedimentos no consolidados, de gran dispersión, que recubren en forma horizontal gran parte de las formaciones más antiguas del país). Muy importantes en la zona litoral. Utilizados en cerámica roja.
		Libertad	Lodolitas, loess y fangolitas con porcentaje variable de arenas y arcillas, de color pardo a pardo rojizo.	

(fuente: adaptado de ECOplata, Diagnóstico ambiental y socio- demográfico de la zona costera uruguaya del Río de la Plata, 1999)

En la elaboración del ladrillo se utilizan otras materias primas, que son generalmente residuos de otras industrias, como: la cáscara de arroz, de la industria del cereal, y la viruta y aserrín de los aserraderos, de la industria forestal; aprovechados para la generación de calor, en sistemas de combustión directa.

También el uso del residuo cerámico, generado por la propia industria cerámica, puede ser incorporado a la arcilla, objeto de estudio de investigaciones como la de Ripoli Filho (1997), mostrando la viabilidad de la incorporación de este residuo dentro del propio proceso productivo, cerrando el ciclo de producción del material (GRIGOLETTI, 2001).

5.1.3.2. Consumo de energía y emisiones de CO₂

Los productos cerámicos, adquieren las propiedades deseadas mediante la aplicación de calor. El combustible utilizado para la quema de los elementos cerámicos es, básicamente, la leña. La fuente más común es el eucaliptus. La leña se considera una fuente renovable de energía. El CO₂ generado por la combustión, es absorbido por la propia biomasa cultivada para producir madera. A través del proceso de fotosíntesis, la clorofila de las plantas captura su energía, y convierte el dióxido de carbono del aire, y el agua del suelo, en carbohidratos, para formar materia orgánica. Cuando estos carbohidratos se queman, regresan a su forma de dióxido de carbono y agua, liberando la energía que contiene. En la figura 27, se muestran los contenidos de carbono en la biomasa existente en un bosque. De esta forma la biomasa funciona como una especie de batería, que almacena energía solar, produciéndose en forma sostenida (FOCER, 2002). El uso de la leña, como insumo energético, presenta un mejor desempeño, desde un punto de vista ambiental.

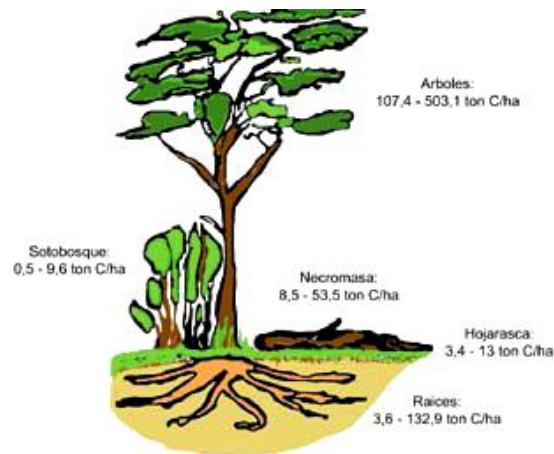


Figura 27: Toneladas de carbono por hectárea en el bosque primario (FOCER, 2002)

La gran fuente de emisiones, por consumo de energía, es el transporte. La polución aérea debido al transporte carretero es relevante debido al tipo y cantidad de poluentes emitidos. Según Maddison (1996), apud Sperb (2000), el transporte carretero en el Reino Unido es responsable de una gran parte de todo el dióxido de carbono producido en este país.

Para el transporte de materias primas para la producción de ladrillos, se utiliza transporte de carga carretero a gasoil, el cual tiene altas emisiones de hidrocarburos, óxidos de nitrógenos y material particulado. Para camiones pesados, la emisión de material particulado puede variar entre 0,5 g/km a 2,0 g/km y la emisión de óxidos de nitrógenos, puede variar entre 0,1 g/km y 40,0 g/km, dependiendo del tipo de camión. A pesar de que existen diversos factores determinantes en las emisiones aéreas debido al transporte de carga de camiones diesel, como, características de la carretera, condiciones del tránsito, estado y mantenimiento del vehículo, tipo de carga, etc., Harrison y Plano, presentan valores de factores de emisión de poluentes aéreos, referentes a vehículos diesel de acuerdo con el peso bruto de los mismos, los que se presentan en la tabla 12 (HARRISON et al. 1993; PLANO, 1999; apud SPERB, 2000).

Tabla 12: Valores medios de emisiones de vehículos diesel

Fuente	Factor de emisiones (g/km)				
	CO ₂	CO	NOx	MP	SO _x
Intergovernmental Panel on Climate Change, 1996	770	9,0	10		
Harrison et al (1993) apud Sperb	380 – 1100	1,75- 4,10	2,80 - 8,70	0,57 – 2,0	
Plano (1999) apud Sperb	-	17,60	13	0,81	1,13

(fuente: adaptado de SPERB, 2000)

El transporte se vuelve una componente importante, cuanto más bajo sea la energía incorporada inicial del material de construcción (TAVARES, 2002).

5.1.4. Consideraciones generales

La industria del ladrillo, observadas sus características ambientales generales presentadas anteriormente, tiene aspectos positivos: abundancia de materia prima, amplia posibilidad de absorber residuos de otras industrias y de la suya propia, durabilidad del producto obtenido, posibilidad de reciclaje al final de su vida útil y bajo contenido energético.

5.1.5. La industria de la cerámica roja en Uruguay

La industria del cerámico en Uruguay ha sufrido un importante descenso en las últimas décadas; un gran número de fábricas de ladrillos industriales han cerrado, debido a la fuerte competencia de los productos importados, producidos en masa por los países vecinos. Hoy en día, existen fábricas de ladrillos de producción artesanal, de producción relativamente pequeña; a pesar de ello, el sector de la producción cerámica es de gran importancia en la industria de la construcción, generando cientos de empleos directos (BOLOGNA, et al 2007).

El sector ladrillero es artesanal y se caracteriza por ser una economía de escasa tecnificación y desfavorables condiciones de comercialización. Presenta una gran dispersión de productores, los que con su actividad aportan un emblemático material de construcción, mediante la utilización de una gran cantidad de mano de obra, poco calificada que, generalmente, con prácticas inadecuadas deterioran el medio ambiente (LADRILLEROS, 2011).

En Uruguay, se estima que existen ladrilleras en 14 de los 19 departamentos (figura 28) y que 14.000 ladrilleros están nucleados en el Movimiento Nacional de Ladrilleros, fundado en 1999.

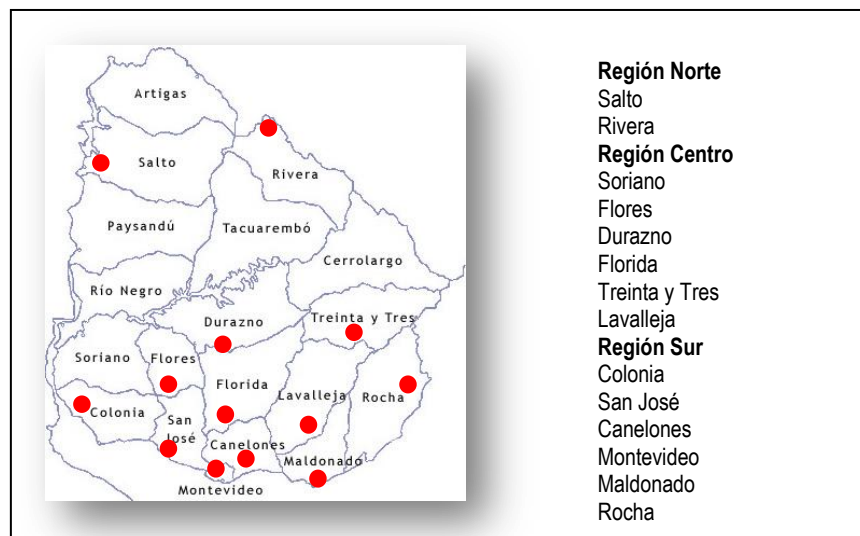


Figura 28: Departamentos donde se encuentran ladrilleras

La ciudad de Rivera nuclea a 147 productores y a 510 familias que viven de esta actividad productiva nacional (LADRILLEROS, 2011).

En el sur del país, en el departamento de San José, 98 familias se dedican a la producción de ladrillos, siendo muchas más las que se vinculan indirectamente a la actividad (FABRE et al, 1998). En 2011, se llevó a cabo, en ese departamento, un Censo Departamental de Ladrilleros, que permitió describir sucintamente las principales características de este sistema social y productivo; los datos que se presentan a continuación son extraídos del documento elaborado por el Gobierno Departamental:

- del total de la población censada, el 48 % de los predios donde se encuentran los hornos son zonas inundables, y el 62 % no inundable,
- en el caso de la extracción de la materia prima en la ciudad de Libertad, el 90 % de los ladrilleros la extraen de su propio terreno, mientras que el resto del departamento, el 10 % la extrae de terrenos públicos gratis,
- el 60 % de los ladrilleros de Libertad extrae el agua para la producción desde un tajamar y un 40%, de pozo; en el resto del departamento, el 80 %, la saca de pozo y el 20 %, la paga,
- la liga utilizada en la localidad de Libertad es un 40 % paja y 40% abono; y para el resto del departamento, un 82 % utiliza abono,
- la totalidad de los censados manifiesta comprar la leña para la producción,
- el 65 % del total de censados manifiesta realizar como producto solo ladrillo de campo, y un 25% realiza chorizo (medio ladrillo),
- la capacidad productiva para los meses de zafra: 56 % realizan más de 21.000 ladrillos al mes y el 44 % realiza entre 11.000 y 20.000 ladrillos.

Otra zona relevante en el país de producción de ladrillos, es Maldonado; se estima que la producción en los meses de zafra puede alcanzar hasta 10.000.000 de ladrillos.

Un estudio del MVOTMA, realizado en el año 2000, estimó que se producían unas 60.000 toneladas de ladrillos anualmente, en Uruguay, en base a la cantidad de viviendas construidas por año (14.600 viviendas), a un promedio de 6.500 unidades por vivienda, considerando que se utilizan ladrillos para el 50 % de las mismas (MVOTMA, 2002). Según el INE, se ha registrado un incremento de viviendas nuevas, con respecto al año 2000 (figura 29); por lo que se puede estimar que la producción anual de ladrillos, es de, aproximadamente, de unas 100.000 toneladas al año, siguiendo el razonamiento realizado por el MVOTMA, para el año 2000 (INE, 2010).

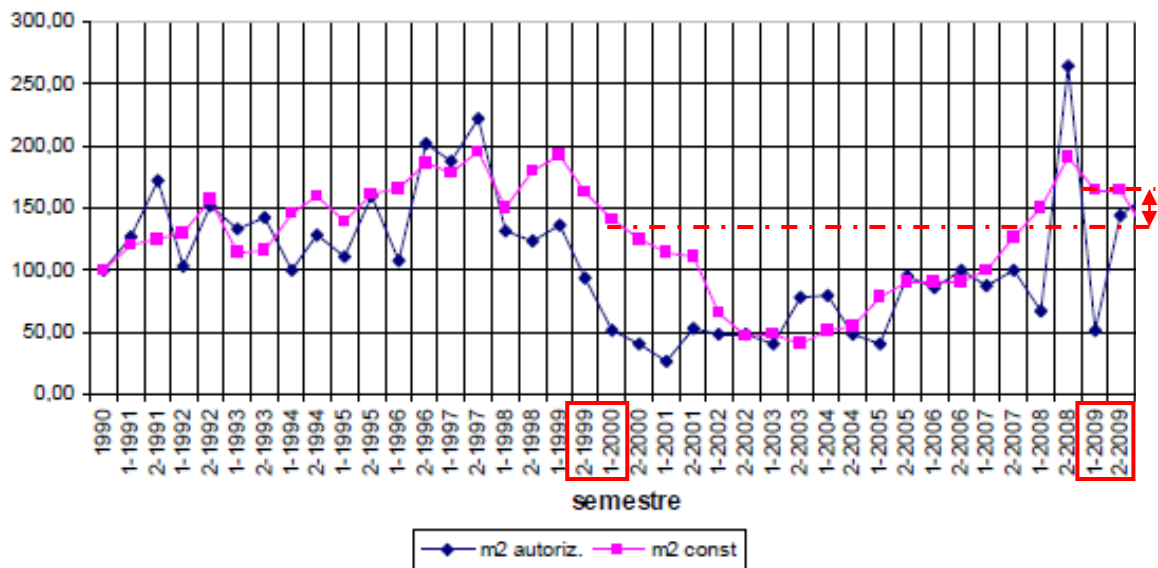


Figura 29: Evolución de la producción de viviendas nuevas y permisos de construcción en Uruguay 1990-2009 (adaptado INE 2010)

5.1.6. Proceso de producción y caracterización de la industria

La producción de ladrillos cocidos ha alcanzado un alto grado de mecanización en muchos países, pero los métodos tradicionales de producción, a pequeña escala son muy utilizados en los países en desarrollo (TALLER DE CONSTRUCCIÓN, 2002).

El ladrillo de campo, es obtenido a partir de los recursos naturales, que pasan a través de procesos de tratamiento y fabricación, para luego ser aplicados en la industria de la construcción. Los procesos de producción de este material influyen en la calidad del mismo. La calidad es de suma importancia, ya que garantiza la seguridad, la estética, y vida útil de los edificios. Los procesos de fabricación y los tratamientos que reciben los materiales buscan, no sólo crear piezas de calidad, sino también facilidad de manejo, almacenamiento y transporte de los mismos, para un mejor uso en obra, sin pérdidas excesivas (QUEIROZ et al 2006). La industria cerámica busca, como cualquier otra, producir productos con ciertas características exigidas por el mercado, utilizando como insumos: materias primas, recursos humanos y energía, figura 30, (IKEDA, 1980 apud GRIGOLETTI, 2001), intentando producir el máximo posible, en cantidad y calidad, reduciendo las pérdidas.

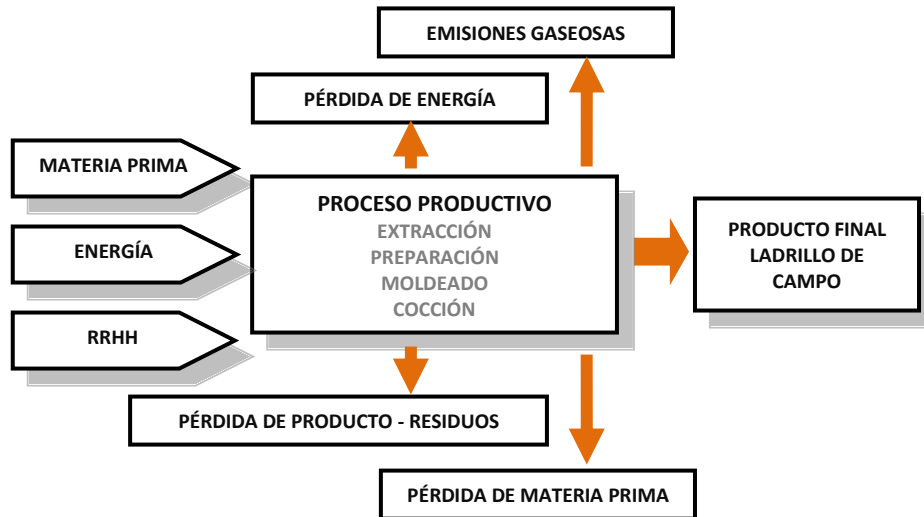


Figura 30: Insumos y pérdidas en la producción del ladrillo (adaptado de GRIGOLETTI 2001)

La fabricación de los ladrillos de campo es hecha en unidades industriales, denominadas ladrilleras, generalmente localizadas en áreas próximas a los depósitos de arcillas, para facilitar y reducir los costos de transporte de la materia prima.

Para el estudio, se eligieron 2 industrias en la región sur del país, (figura 31), ya que Maldonado, Montevideo y Canelones, representan el 58 % de los metros cuadrados construidos en la totalidad del país (INE, 2008).



Figura 31: Ubicación de las industrias ladrilleras estudiadas (GOOGLE EARTH, 2003)

Las ladrilleras estudiadas, tienen el mismo procedimiento de producción, según figura 32; lo que varía es la composición de la mezcla, según cantidades e ingredientes, y la cantidad de piezas producidas anualmente. La ladrillera ubicada en la ciudad de Montevideo tiene una producción de 700.000 piezas al año, por lo que será considerada de mediano porte (LMP); la ladrillera ubicada en San Carlos, Maldonado, tiene una producción de 2.000.000 de piezas al año, por lo que será considerada de gran porte (LGP). El proceso productivo de todas las fábricas de ladrillos del país es artesanal, con bajo nivel de mecanización, secado natural y utilización de hornos tipo clamp. En general, las ladrilleras emplean pocos funcionarios, siendo la mayoría de ellos propietarios y familiares y el resto destajistas.

En las tablas 13 y 14 se presentan la caracterización de las ladrilleras estudiadas.

Tabla 13: Ladrillera LMP, Montevideo

LADRILLERA LMP – PRODUCCIÓN 700.000 PIEZAS POR ZAFRA⁷			LMP
PRODUCCIÓN			700.000 piezas al año
PROCESO PRODUCTIVO		DATOS	OBSERVACIONES
PREPARACIÓN PASTA	EXTRACCIÓN MATERIA PRIMA	Predio de la empresa	Sin manejo de la cantera
	MEZCLA	Arcilla	Transporte 3km
		Abono	Transporte 4km
		Viruta de madera	Transporte 50km
		Agua	Pozo + bomba
PIZADEROS	Cantidad 2	Producción 22.000 ladrillos cada uno	
	Tractor	3lts/h	
SECADO	Natural	Al aire libre	
COCCIÓN	Leña eucaliptus	10 Toneladas transporte 25km/56km	
PRODUCTO	PIEZA: LADRILLO DE CAMPO PLATEADO	Largo: 24.5cm Ancho: 12cm Alto: 5.5cm Peso: 2.300kg Volumen: 1617cm ³	

⁷ La producción en los meses de zafra varía para cada una de las ladrilleras siendo la ladrillera A de mediano porte (700.000 piezas por zafra) y la B de gran porte (2.000.000 de piezas por zafra, los meses de zafra van de setiembre a mayo, 34 semanas)

Tabla 14: Ladrillera LGP, San Carlos, Maldonado

LADRILLERA LGP – PRODUCCIÓN 2.000.000 PIEZAS POR ZAFRA			LGP
San Carlos, MALDONADO			
PRODUCCIÓN		2.000.000 piezas al año	
PROCESO PRODUCTIVO	DATOS	OBSERVACIONES	
PREPARACIÓN PASTA	EXTRACCIÓN MATERIA PRIMA	Predio de la empresa	Sin manejo de la cantera
	MEZCLA	Arcilla	7km
		Aserrín	transporte 90km
		Cáscara de arroz/ viruta	Transporte 155km/ 90km
		Agua	Pozo + bomba = Tanque Australiano 70m3
PIZADEROS	Cantidad 2	Producción 30.000 ladrillos cada uno	
	Tractor	6lts/h	
SECADO	Natural	Al aire libre	
COCCIÓN	Leña eucaliptus	10/12Toneladas transporte 20km	
PRODUCTO	PIEZA: LADRILLO DE CAMPO	Largo: 24cm Ancho: 12cm Alto: 5cm Peso: 2.000kg Volumen: 1440cm3	

El proceso de fabricación consiste en las siguientes etapas:

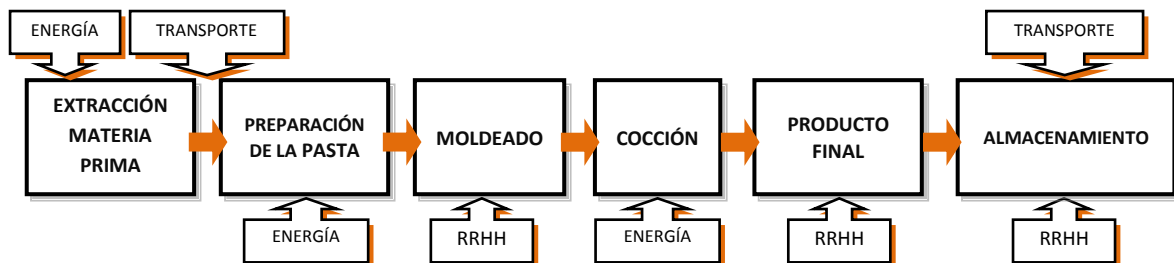


Figura 32: Etapas e insumos consumidos en el proceso de fabricación del ladrillo de campo

Extracción de materia prima arcilla y transporte a la ladrillera: la extracción de la arcilla se realiza en canteras a cielo abierto, por medio de una retroexcavadora con pala, eliminando la primera capa de espesor de tierra vegetal. Son seleccionados los sectores de la cantera que no contienen carbonato de calcio, mediante observación visual. Luego, el material es transportado en camiones de 4m³ de capacidad, hasta el lugar de elaboración. En ninguno de los casos analizados, se hace un control o manejo de la cantera donde se retira la arcilla.

Preparación de la pasta o liga: para la preparación de la pasta se mezclan tres elementos principales: arcilla, otros elementos como abono, paja o residuos de otras industrias (aserrín, viruta, cáscara de arroz) y agua. La

materia prima se coloca dentro del pisadero (círculo de 23m de diámetro), con agua suficiente para que el material quede mojado. En la preparación de la mezcla se utiliza residuos de otras industrias, con la finalidad de mejorar la calidad del producto final. La mezcla se realiza con tractor o batidora. El consumo de agua para la mezcla es de 1 litro, por ladrillo, aproximadamente; el agua es de pozo, la cual se impulsa con bomba hasta el pisadero, o hasta un tanque australiano de 60m³, donde es reservada para ser utilizada en el momento de la mezcla.



Figuras 33 y 34: Pisadero donde se realiza la mezcla, ladrillera LGP.

Moldeado de la pieza: el moldeado se realiza a mano, una vez que la mezcla se constituye en una masa compacta y homogénea; se vierte sobre un molde paralelepípedo de madera, que luego es desmoldado en el piso.

Secado: En cuanto al secado de las piezas, ambas ladrilleras utilizan secado natural, al aire libre, donde las piezas se colocan en pilas, de manera tal, que quede espacio entre ellas para que circule el aire. Los lugares de secado son grandes superficies de hasta 5000 m², techados con nylon, abiertos lateralmente, lo que permite el secado natural por el aire de ambiente. El tiempo del secado depende de la humedad, siendo los mejores meses setiembre y octubre y los meses de verano, donde el tiempo de secado dura aproximadamente 10 días.



*Figura 35: Secadero Ladrilleros de Rivera (Intendencia de Rivera)
Figuras 36 y 37: Secadero LGP*

Quemado o Cocción: Como se dijo anteriormente, los productos cerámicos adquieren las propiedades deseadas mediante la aplicación de calor. La cocción se realiza lenta, siendo factores determinantes el producto a cocer y el horno. La cocción se produce a temperaturas elevadas, de, 900° a 1000 ° C, y la dosificación del calor se realiza de acuerdo a los distintos tipos de arcillas y componentes de la mezcla. En el interior del horno, la temperatura varía de forma continua y uniforme. Los hornos utilizados son hornos artesanales, tipo clamp, confeccionados con el mismo material a cocer. Este tipo de horno se compone de una base de columnas de ladrillos cocidos rojos, dejando canales interiores, para colocar el material, de combustión. Se construye una pirámide de 120m³ de masa de material, de, aproximadamente, 10 m x 15 m x 2 m de alto. Los ladrillos contienen material combustible en la mezcla, como viruta y cáscara de arroz, que combustiona el 89 % de la misma, alcanzando la temperatura adecuada de cocción. Este horno dispone, a lo largo de su base, leña de eucalipto y, cuando está totalmente construido, se enciende con un fuego por una de sus partes. La cocción se desarrolla durante varios días.

Ninguna de las ladrilleras utiliza el calor del horno para el secado de las piezas, lo que hace que la producción se limite a las 34 semanas en época de zafra, de setiembre a mayo; el resto del año la lluvia y el viento no permite la realización de piezas ya que las mismas no serían de calidad.



Figura 38: Horno artesanal tipo clamp, LGP

Figuras 39 y 40: Cocción en horno artesanal tipo clamp, ladrilleros de Rivera (IM. Rivera)

Las piezas descartadas, después de la fase de secado, son reincorporadas al proceso de producción, no así las piezas descartadas luego de la quema, generando un residuo que termina en escombros.

Almacenamiento: Luego de la quema, las piezas son seleccionadas y estocadas en pilas, para luego ser transportadas a los consumidores finales o a las barracas. Para el embalaje, se utilizan pallets y las piezas se protegen con nylon. El transporte de las mismas, desde la ladrillera a la obra o barraca, no es de cargo de las ladrilleras



Figuras 41 y 42: Almacenamiento del producto acabado, LGP

5.1.7. Estimación de la energía incorporada en ladrillos de producción nacional

Las informaciones utilizadas en el proceso de cálculo, para estimar la energía incorporada en la producción de ladrillos en Uruguay, fueron obtenidos en las propias ladrilleras, con la aplicación de un cuestionario de preguntas que contenía preguntas, directas e indirectas, referentes al proceso de producción.

Las preguntas abordaron aspectos ligados a los impactos ambientales, asociados a cada fase del proceso productivo; los recursos naturales utilizados, fuentes de energía empleadas, emisiones generadas y residuos sólidos producidos. El entrevistado siempre fue un funcionario o propietario con experiencia, y la entrevista se realizó durante una recorrida, que se iba haciendo por la misma ladrillera.

Así, los cálculos para estimar la energía incorporada consideran las informaciones obtenidas en las entrevistas, siendo, por lo tanto, dependientes de la calidad de los datos suministrados por los entrevistados. En la mayoría de los casos, las respuestas son fruto de la experiencia cotidiana del trabajo de años, pues la mayoría no hace un control metódico de las cantidades de insumos necesarios para la fabricación del producto.

En el proceso de cálculo fueron considerados: a) la energía eléctrica utilizada en la planta en general, b) los gastos de extracción y transporte de la arcilla y otras materias primas utilizadas en la mezcla, c) la energía utilizada en la fase de preparación de la mezcla con tractor o batidora, d) la energía utilizada en equipos de bombeo, e) la energía utilizada en el transporte de la leña. Se buscó evaluar todos los gastos energéticos que intervienen en el proceso productivo de la fabricación del ladrillo.

5.1.8. Resultados obtenidos: cuantificación de los insumos energéticos utilizados

Los datos obtenidos de las dos ladrilleras fueron analizados y convertidos en kWh. Las conversiones de unidades de kcal a kWh, y de kWh a MJ, fueron realizadas con el software “ESB Unit Conversion Utility v 7.3.0” (2011)⁸.

A partir de los datos obtenidos en las ladrilleras de los insumos energéticos, la energía estimada fue convertida en poder calorífico. Esta conversión fue realizada según tabla 15:

Tabla 15: Valores de poder calorífico de diferentes materiales

ENERGÍA	PESO ESPECÍFICO (kg/m ³)	PODER CALORÍFICO	FUENTE DATOS PODER CALORÍFICO
Gasoil	852	10.750 kcal/l	Brasil 1997, apud Sperb, 2000
Leña eucaliptus	303.1	4.166 kcal/kg	Pereira et al., 2000, apud Manfredini
Aserrín seco	550	2.500 kcal/kg	Manfredini, 2003
Cáscara de arroz	170	3.194 kcal/kg	Sánchez – Ramírez Programa de energía ITDG Perú / FAO 2011, Departamento de Agricultura
Viruta seca	250 - 450	3.200kcal/kg	Dato de la empresa

(fuente: adaptado de MANFREDINI, 2003)

En el caso de la leña, existen variaciones en el poder calorífico, dependiendo de la especie del árbol y de humedad de la madera. En las ladrilleras estudiadas, ambas utilizan leña de eucaliptus. En Uruguay, las especies de eucaliptus más abundantes son *Eucaliptus grandis* y *Eucaliptus globulus*.

Para el transporte, el consumo energético adoptado es obtenido a partir de los valores de productividad de camiones ligeros y tractor con semirremolque, de 2 ejes (REIS, 1999; apud SPERB, 2000) que, según datos obtenidos del Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO), son el tipo de camiones más utilizados en las carreteras nacionales uruguayas; y de los valores actualizados de masa específica y poder calorífico del gasoil.

Tabla 16: Gastos energéticos de transporte de carga

VEHÍCULO	CARGA LÍQUIDA (t)	RENDIMIENTO Km/litro	PRODUCTIVIDAD (litro/t.km)	GASTO ENRGÉTICO (MJ/kg.km)
Camión ligero*	4.2	7.12	0.033	1.282 x 10 ⁻³
Tractor semirremolque*	14.3	3.18	0.022	0.843 x 10 ⁻³

*Valores obtenidos a partir de camiones cargados 100% de su capacidad de carga útil.

(fuente: adaptado de SPERB, 2000)

⁸ <http://www.esbconsult.com/esbcalc/esbunitconv.htm>

Las figuras 43 y 44 respectivamente, recogen los gastos totales de energía verificados para las ladrilleras LMP, de mediano porte y LGP, de gran porte. El ítem biomasa incluye insumos energéticos como leña, aserrín, viruta seca y cáscara de arroz. En el cálculo de consumo de gasoil fueron considerados los gastos de transporte de materias primas e insumos, el gasto de la retroexcavadora para la extracción de arcilla y el gasto del tractor para mezcla.

Para posibilitar la comparación entre los gastos de energía de las dos ladrilleras analizadas, se calculó la energía consumida para la confección de 2000 kg de producto acabado, que corresponde, aproximadamente, a 1000 piezas, obteniendo, luego, el consumo energético, en kWh y MJ, de 1 kg de producto acabado.

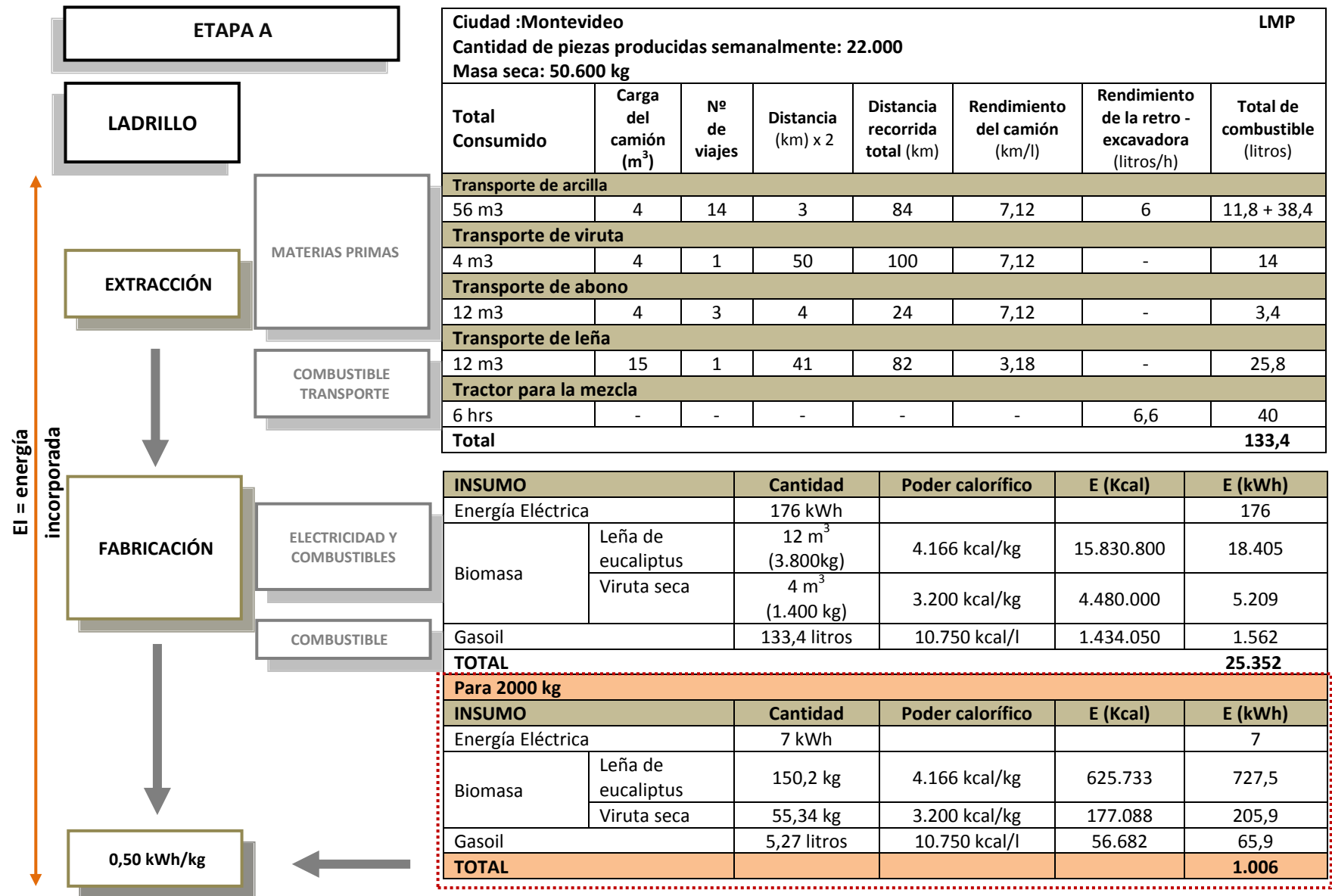


Figura 43: Gastos totales de energía en ladrillera LMP

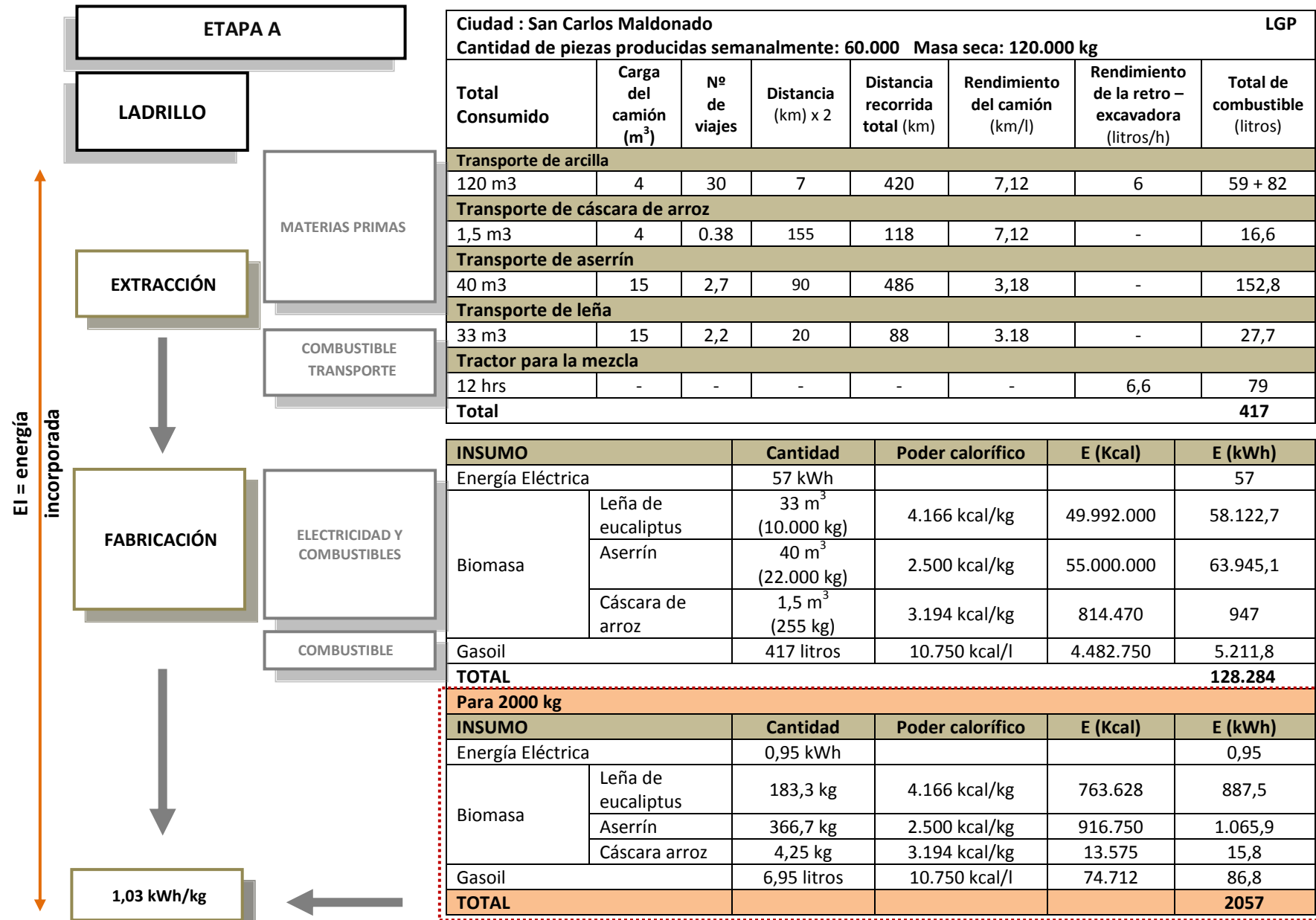


Figura 44: Gastos totales de energía en ladrillera LGP

Los resultados finales de la ladrillera identificada **LMP** (Ladrillero de Mediano Porte), son los que se muestran en la tabla 17:

Tabla 17: Valores obtenidos en LMP, Montevideo

LMP	Consumo energético kWh	Consumo energético MJ
2000 kg de material	1.006	3.622
1000 kg de material	203	1.811
1 kg de material	0,50	1,81

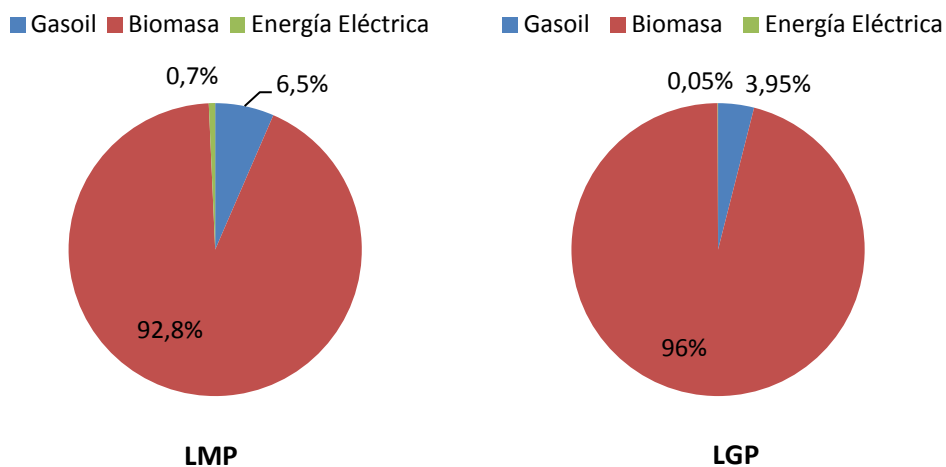
Los resultados finales de la ladrillera identificada **LGP** (Ladrillera de Gran Porte), son los que se muestran en la tabla 18:

Tabla 18: Valores obtenidos en LGP, San Carlos, Maldonado

LGP	Consumo energético kWh	Consumo energético MJ
2000 kg	2.057	7.405
1000 kg	1.028	3.702
1 kg	1,03	3,7

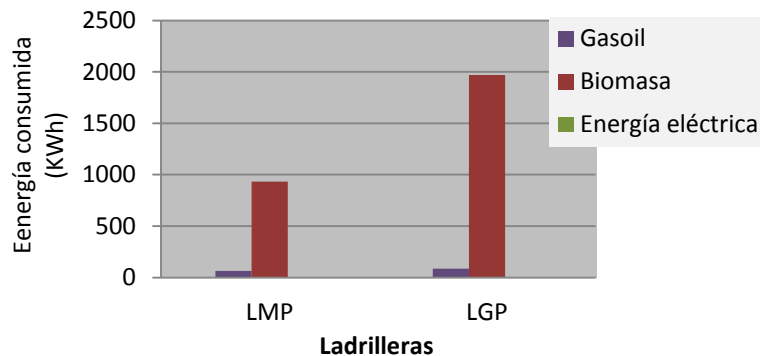
El promedio de las dos ladrilleras estudiadas es 0,77 kWh/kg ó 2,77 MJ/kg.

La participación, por insumo energético en la energía total consumida, para cada ladrillera, es la que se muestra en la figura 45:



Figuras 45: Participación por insumo energético en la producción semanal para ambas ladrilleras

La figura 46, muestra los valores de energía consumidos para la fabricación de 2.000 kg de ladrillos, correspondiente, aproximadamente, a 1.000 piezas de ladrillo.



Figuras 46: Comparación de consumo de energía en la fabricación de 2.000 kg de producto acabado en ambas ladrilleras

5.1.9. Análisis de los resultados

5.1.9.1. Energía incorporada en el material

Analizando la energía total consumida para la fabricación de ladrillos, se destaca la utilización de biomasa, como principal fuente de energía. El promedio de las dos ladrilleras muestra que el 94,4 % de la energía es generada a partir de la biomasa; el 5,2 %, de energía diesel y 0,38 %, de energía eléctrica.

Tanto la extracción de la arcilla, como el transporte de otros insumos utilizados en el proceso, son realizados por máquinas y camiones que utilizan gasoil. El gasoil derivado del petróleo, es un recurso no renovable. El porcentaje del transporte tiene mayor relevancia en la ladrillera LGP, debido a que parte de sus materias primas, principalmente la cáscara de arroz, se trae desde 150km, lugar donde se encuentran las arroceras.

5.1.9.2. Emisiones de CO₂, según fuentes utilizadas

El valor de energía incorporada, **E_i**, en un material es un indicador de cantidad de energía que se utiliza para su fabricación; pero, no es definitivo en la definición de los impactos ambientales causados. Importa, también el tipo de fuente de energía utilizada en el proceso. En el caso de las ladrilleras, en todo el Uruguay, la energía eléctrica no es utilizada en forma significativa, ya que ninguna utiliza electricidad en sus hornos, ni en el secado de las piezas.

La mayor energía invertida en el proceso de producción del ladrillo de campo proviene de la biomasa: leña, aserrín, cáscara de arroz, viruta, abono, un recurso renovable. Este tipo de energía en la quema, libera emisiones de CO₂, que según el MVOTMA (2004), representaron casi el 30 % del total de CO₂ emitido por el país, correspondiéndoles a las ladrilleras un porcentaje ínfimo. Por lo que las emisiones de CO₂, producto de la combustión de la biomasa, se asumen nulas, ya que el gas emitido en la quema fue previamente secuestrado de

la atmósfera por la biomasa viva, y, en algún momento luego de su liberación, volverá a ser absorbido, cerrando el ciclo. Es por ello que las mismas no se contabilizan en los totales nacionales (INEGEI - MVOTMA, 2004).

El transporte tiene un elevado aporte a las emisiones de dióxido de carbono, principalmente debido al consumo de gasoil en el transporte carretero. El uso del gasoil del transporte genera material particulado, CO₂, SO₂, NO_x, provocando calentamiento global y contaminación (LYLE, 1994).

De acuerdo a los datos de la Dirección de Energía, el factor de emisión a la atmósfera de motores diesel es de 0,1 µg EQT⁹/t, y, en el año 2000 el total de combustible diesel en el país fue de 682.000 t/año (MVOTMA, 2002). Si estimamos que el gasoil utilizado para el transporte de las ladrilleras representa el 0,05 % del combustible total utilizado en motores diesel del país, la emisión total de la industria ladrillera es de, aproximadamente, 3,4 mg EQT/año.

Según tabla 12, del punto 5.1.4, y tomando un promedio de los valores de Harrison (1993) y Plano (1999), podemos estimar que el material particulado generado para la producción de ladrillos, en la LMP, es de 12 kg y las emisiones de CO₂, de 7.000 kg. Y para la producción de ladrillos, en la LGP, el material particulado es de 48 kg y las emisiones de CO₂, de 28.000 kg, en el total de la zafra.

5.1.9.3. Comparación de resultados

Los datos obtenidos en el presente trabajo son los que se muestran en la tabla 19:

Tabla 19: Energía Incorporada en el ladrillo macizo, obtenidos en la presente investigación

Datos obtenidos en casos de estudio	MJ/kg	kWh/kg
LMP	1,8	0,5
LGP	3,7	1,03

En la tabla 20, se muestran diversos valores encontrados, en la bibliografía internacional, de energía incorporada para material cerámico, bloque macizo:

Tabla 20: Energía Incorporada en el ladrillo macizo, datos internacionales

País	Fuente	MJ/kg	kWh/kg
Reino Unido	SERT	3,00	0,833
Australia	Lawson (1996)	2,50	0,694
Canadá	Cole & Rouseau (1992)	4,90	1,361
Nueva Zelanda	Alcom & Baird (1996)	2,50	0,694
Holanda	Worrell et al. (1994)	3,00	0,833

(fuente: adaptado de MANFREDINI, 2003)

⁹ EQT: gramos Equivalentes de Toxicidad Internacional por año

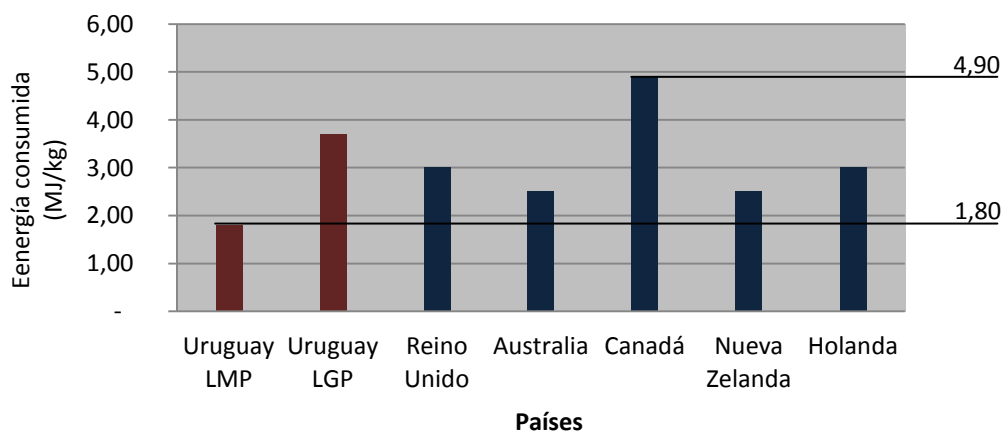
En la tabla 21, se muestran los valores de energía incorporada obtenidos en el trabajo de investigación de Manfredini (2003), y en investigaciones realizadas en Argentina, de industrias con características similares a las estudiadas en el presente trabajo.

Tabla 21: Energía Incorporada en el ladrillo cerámico, datos regionales

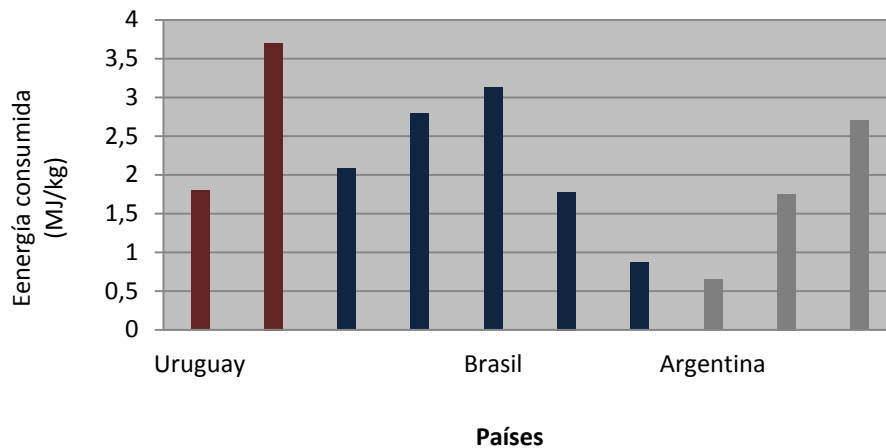
País	Fuente	MJ/kg	kWh/kg
Brasil	Manfredini, 2003	2,08	0,578
		2,79	0,774
		3,13	0,869
		1,78	0,495
		0,87	0,242
Argentina	Di Bernardo ASADES, 2007	0,65 – 1,75	0,18 – 0,49
	Jacobo, et al, UNNE 2003	2,7	0,75

(fuente: adaptado de MANFREDINI, 2003)

Existe una gran variación entre los valores encontrados en la bibliografía, de 0,694 a 1,361 kWh/kg. Las diferencias se deben, básicamente, a la diferencia energética en los equipamientos utilizados en el proceso de producción.



Figuras 47: Gráfico comparativo entre los resultados obtenidos y los resultados de la bibliografía internacional



Figuras 48: Gráfico comparativo entre los resultados obtenidos y los resultados de la bibliografía regional

5.1.10. Conclusiones del EC-O1

La actividad de la fabricación de ladrillos genera impactos sobre la calidad del aire, y sobre la morfología del terreno y el paisaje. En el primer caso, debido, principalmente, a las emisiones procedentes de los hornos en la etapa de cocción, que causan efectos directos e indirectos sobre la salud humana, la flora, la fauna, el agua y contribuyen al cambio climático global. En el segundo caso, porque la explotación de las canteras, sin un manejo adecuado, produce excavaciones que, no solamente afectan al paisaje, sino, también, a la estructura y configuración del suelo, pérdida de la capa productiva y erosión. Las canteras deben cumplir con las exigencias de legislación ambiental, recuperando las mismas cuando éstas se agotan.

Las distancias entre las ladrilleras y la extracción de la arcilla son menores a 7 km, lo que minimiza el impacto del transporte, pero los otros insumos, a veces, se encuentran a distancias superiores a 100 km.

Durante el proceso de producción no se generan efluentes, pero sí residuos inertes constituidos por escombros cerámicos provenientes de los productos rechazados por rotura o deficiente cocción, que puede alcanzar hasta un 15 %, si no se consigue una buena quema.

5.2. EC-02: Material 2 - ACERO

5.2.1. Aspectos arquitectónicos

El hierro es un mineral presente en forma abundante en la corteza terrestre (aproximadamente, un 4,5 %), la mayor parte en forma de óxidos. Es sabido que el hierro fue usado ya en la prehistoria, aunque en una muy reducida escala y, ciertamente, no en la construcción. El hierro se obtiene por una reacción química en el óxido de hierro, a través del calentamiento del mismo metal en estado casi puro, a temperatura de 1500 °C. La fundición de hierro contó con diferentes procesos a través de la historia del hombre. Las primeras fundiciones se llevaron a cabo con carbón de leña y, en el siglo XVIII, se inicia la fundición, por medio de carbón de coque. La sustitución de la leña por el coque permitió la elaboración industrial del hierro, pasándose del hierro fundido al hierro forjado o laminado, con mayor resistencia. Estos nuevos materiales que revolucionaron la arquitectura, poseían múltiples ventajas sobre la arquitectura tradicional de mampostería (LAGROTTA, 2011).

“Con el hierro, apareció por vez primera en la historia de la arquitectura un material artificial de construcción. Pasó a través de una evolución, cuyo ritmo se aceleró en el transcurso del siglo, y recibió un impulso decisivo cuando resultó que la locomotora, con la que se había estado haciendo experimentos desde finales de la década de 1820, sólo podía ser utilizada sobre raíles de hierro. El raíl fue la primera unidad de construcción, el precursor de la viga. El hierro era evitado en las casas viviendas, y servía para arcadas, salas de exposición, estaciones de ferrocarril y otros edificios que cumplieran finalidades transitorias. Simultáneamente, se ampliaron las zonas arquitectónicas en las que se empleaba el vidrio, pero las condiciones sociales para su creciente utilización como material de construcción sólo surgieron un centenar de años más tarde...” Walter Benjamin, París: Capital of the 19th Century, 1930 (FRAMPTON, 1989).

La evolución del ferrocarril, progresó en el segundo cuarto del siglo XIX, con un ímpetu formidable, habiendo en Inglaterra más de 3200 km de vía férrea y 4600 km, en Norteamérica; así, los materiales hierro fundido y forjado se integraron gradualmente en el vocabulario general de la construcción, constituyendo los únicos elementos fiables a prueba de fuego, para los almacenes de varias plantas, que exigía la producción industrial. La sección típica del raíl evolucionó, surgiendo la viga estructural, tipo I y la T. Las columnas de hierro colado y los raíles de hierro forjado, utilizados junto con el vidrio, se convirtieron en una técnica corriente, para la rápida prefabricación y armado de mercados centros de ventas y arcadas (FRAMPTON, 1989).

Por otro lado, las cualidades intrínsecas de este metal, como material soporte, permitían cubrir amplias espacios techados, con pocos puntos de apoyo, redundando en un mejor aprovechamiento del espacio interior. La arquitectura de los grandes edificios había tenido que contar con el muro, como delimitador del espacio interior y exterior, mientras que ahora, con el hierro y el vidrio, se priorizará el vacío frente a la masa (LAGROTTA, 2011).



Figura 49: Galerie d'Orléans, París, 1829 (digital collections universidad de Washington)

Figura 50: Crystal Palace, Paxton, Londres 1851(Frampton, 1989)

Figura 51: Torre Eiffel, París 1888

En el siglo XVIII se comenzará a construir, en Gran Bretaña, invernaderos, puentes y naves de almacenaje, que le darán otro protagonismo a la arquitectura de hierro propiamente dicha. Los cambios técnicos, propiciados por la revolución industrial, hacen factible la disposición del hierro como material para la arquitectura (FRAMPTON, 1989).

La última etapa del hierro constituirá el avance hacia el proceso de fundido, que convierte al hierro en acero. En 1850, los arquitectos e ingenieros habían notado que el hierro forjado no era tan resistente al fuego, por lo cual se vieron en la obligación de investigar otro procedimiento para la fundición del hierro, que lo hiciese más consistente (LAGROTTA, 2011).

Las soluciones brindadas por los nuevos materiales encontrarán una perfecta aplicación en las estaciones de ferrocarriles. En Uruguay, el tren se inaugurará en 1869, con la línea que unía Bella Vista con Las Piedras; a partir de 1870, se irán multiplicando las necesidades del hierro, para el tendido de las vías férreas o estaciones de trenes, que tendrán estrechas vinculaciones con capitales británicos (LAGROTTA, 2011).



Figura 52: Rieles de la vía del tren, Peñarol (IM., 2008)

Figura 53: Talleres de Peñarol (IM., 2008)

Figura 54: Puente sobre el Río Yí (Fotociencia, 2009)

La aceptación de los nuevos materiales dará lugar a la arquitectura contemporánea funcionalista, que se desarrollará en los inicios del siglo XX.

Para la actualización arquitectónica, Uruguay se encontraba en desventaja respecto a otros países de la región, debido a la inexistencia de yacimientos de hierro en su territorio. Durante la colonización española, el hierro fue importado de Vizcaya y, luego, de Inglaterra y Bélgica. Poco a poco, el hierro se irá incorporando a la arquitectura residencial, comercial de barracas y a la arquitectura de ocio, con la construcción del Mercado del Puerto, el hipódromo de Maroñas y el Teatro Solís. La construcción del Mercado del Puerto se producirá cuando ya se contaba con antecedentes exitosos, como el Mercado de Pescado, de Londres o Les Halles, de París. El Mercado pasó a ser una institución fundamental en la vida de Montevideo, desde su propio inicio, hasta el día de hoy. La importancia que reviste su construcción se puede analizar en el marco de un Uruguay pujante, que pretende enmarcarse en los países avanzados, que apostaban a los progresos de la tecnología, mirando hacia Europa como modelo (LAGROTTA, 2011).



Figura 55: Mercado del Puerto

Figura 56: Hipódromo Maroñas (Wikipedia)

5.2.2. Características y propiedades del acero

Los metales, en cuanto a su composición, se clasifican en dos grandes grupos: los ferrosos, compuestos básicamente de hierro; y los no ferrosos. El mineral de hierro representa la materia prima básica para los procesos industriales siderúrgicos, mediante los cuales se obtiene una variada gama de productos de hierro y aceros. El acero estructural, es la aleación del hierro con una cantidad de carbono variable, entre 0,1 y 2,1 %, y pequeñas cantidades de otros elementos, que le aportan características específicas. El acero mantiene las características metálicas del hierro, mejorando las propiedades mecánicas; el porcentaje de carbono del acero es determinante de sus propiedades mecánicas.

El acero se puede obtener a partir de dos materias primas: el arrabio obtenido a partir del mineral en instalaciones de alto horno (proceso integrado); o de chatarra ferrosa (proceso semi integrado). El tipo de materia prima condiciona el proceso de fabricación.

El acero utilizado en estructuras (barras y cables) es un material apto para resistir solicitaciones de tracción, lo que lo convierte en el componente ideal para combinarse con el hormigón, y formar el hormigón armado y el hormigón pretensado. Además, el acero en barras tiene capacidad de resistir eficientemente solicitaciones de cortante y torsión. La descripción más completa de las propiedades mecánicas de los aceros se realiza mediante la curva tensión – deformación, para cargas de tracción, las que varían, dependiendo de la composición química del material y de los procesos de fabricación.

5.2.3. Aspectos ambientales

5.2.3.1. Materia Prima

Los tres materiales básicos que se utilizan en la fabricación del hierro y del acero, son el mineral de hierro, la piedra caliza y el coque. Los principales minerales de hierro son la taconita (roca negra), la hematita (mineral de óxido de hierro), la limonita (óxido de hierro, que contiene agua), la magnetita (Fe_3O_4 , óxido ferroso férrico), la hematita (Fe_2O_3 , óxido férrico) y la siderita ($FeCO_3$, carbonato de hierro).

La producción del mineral de hierro, se realiza en base a los planes de minas, a largo, mediano y corto plazo, los cuales se elaboran, tomando como base la cantidad y calidad de las reservas. Los procesos involucrados en la explotación del mineral son: explotación, perforación, voladura, excavación y acarreo (VÁZQUEZ, 1998).

La extracción a cielo abierto del mineral remueve la capa superficial de tierra, para hacer accesibles los extensos yacimientos de mineral, que son removidos con maquinaria y explosivos, produciendo diferentes impactos ambientales, como:

- la afectación de la topografía, remoción de suelo y pérdida de cantidad y calidad del recurso, desviación de aguas superficiales; estos impactos son permanentes e irreversibles
- la utilización de explosivos, en la extracción mineral disminuye la calidad del aire, por emisiones de gases y generación de material particulado, además de la disminución de la calidad sonora
- afectación de las aguas superficiales: los residuos sólidos finos, provenientes del área de explotación, pueden dar lugar a una elevación de la capa de sedimentos, en los cursos de agua cercanos
- afectación de las aguas subterráneas, contaminadas por residuos de los procesos de tratamientos
- impactos sobre la flora, debido a la eliminación de la vegetación, en el área de operaciones mineras

- impacto sobre la fauna, perturbada o ahuyentada por el ruido y la contaminación del aire y del agua
- cambios en el microclima
- impacto en las poblaciones cercanas a la mina: puede provocar conflictos sociales por los derechos de utilización de la tierra, disminución de rendimientos laborales de pescadores y agricultores por contaminación (UBAL, 2011).

La presencia de mineral de hierro en Uruguay se conoce desde principios del siglo, cuando Marstrander (1916), Karl Whalter (1932), Mac Millan (1933) y Serra (1944) reconocen la existencia, en suelo uruguayo, de rocas ferríferas y las incluyeron dentro de las riquezas minerales del Uruguay. Los trabajos sobre esta unidad, a escala de detalle, comienzan a realizarse a fines de los años 50 y, durante la década de los 60, es cuando se realizan los avances más importantes. El área se localiza en el departamento de Florida, a unos 20 km al sur de la localidad de Cerro Chato e incluye la localidad de Valentines. El área de Valentines ha estado históricamente relacionada al posible desarrollo de la actividad minera en Uruguay (GONZÁLEZ, 2010).

Tabla 22: Características litológicas y recursos minerales asociados

	FORMACIÓN	CARACTERÍSTICAS LITOLÓGICAS	RECURSOS MINERALES
Precámbrico	Valentines	Gnesis oligoclásicos, cuarcitas magneto – anfibólicas, piroxenitas y migmatitas, intercalándose granitos	Yacimientos de mineral de hierro. Metales base: oro Granitos, cuarzo.

(fuente: adaptado de DINAMIGE y GONZÁLEZ, 2010)

Según un estudio realizado por González, (2010), en la porción del área al norte de la Falla Valentines, figura 57, el desplazamiento asociado a la misma, puso en contacto niveles diferentes de la cuenca y es donde se exponen los niveles BIF (Banded Iron Formation), con espesores suficientes como para considerar su potencial prospectivo. La existencia de estos niveles ferríferos es conocida y aunque en el pasado no se reportaron resultados positivos las concentraciones de hierro de un 30 %; y ensayos metalúrgicos favorables para el procesamiento del mineral soportan la consideración de este potencial recurso.

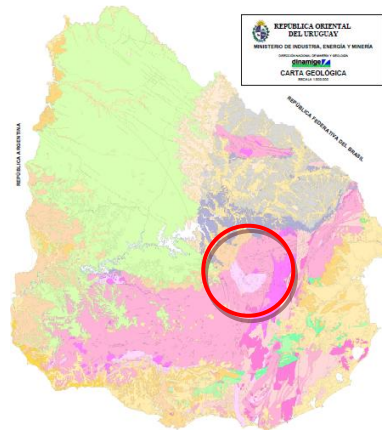


Figura 57: Formación Valentines (DINAMIGE; 1987)

5.2.3.2. Consumo de energía y emisiones de CO₂

Los consumos de energía están asociados a los procesos productivos de las plantas, ya que, en éstos, consumen grandes cantidades de energía eléctrica, gas natural, diesel y oxígeno. La energía eléctrica es uno de los insumos más significativos, siendo utilizada en el horno de acería, para el proceso de fundición y como fuerza motriz.

El empleo de acero reciclado, en su proceso de fabricación, disminuye el consumo de energía en un 70 % y evita la extracción y transporte de nuevas materias primas (hierro y carbón), reduciendo, además, las emisiones de dióxido de carbono CO₂ y de agua (FERNÁNDEZ MUERZA, 2010).

La fusión de chatarra (más las ferro-aleaciones) generan emisiones gaseosas y material particulado compuestos por: óxidos metálicos, anhídrido carbónico generado en la combustión, óxidos nitrosos, provenientes del aire involucrado y materiales orgánicos, que se evaporizan en el proceso.

Tabla 23: Perfil medioambiental del acero. Valores para Reino Unido 1997

PERFIL MEDIOAMBIENTAL DEL ACERO							
EMISIONES	CO ₂	NO _x	SO ₂	CH ₄	COV tot.	Polvo	Metales pesados
		1,950 t/t	0,003 t/t	0,004 t/t	0,626 kg/t	0,234 kg/t	15,000 kg/t
ENERGÍA MJ/kg	19						
AGUA RESIDUAL litros / t	150000						

(fuente: adaptado de LAWSON, B, 1996; WORD BANK GROUP, 1998; apud MEDINA ROMERO, 2007)

5.2.4. Consideraciones generales

La industria del acero, observadas sus características ambientales generales presentadas anteriormente, tiene aspectos, por un lado positivos, si se lo obtiene a partir del reciclaje y, por otro, aspectos negativos, si se lo obtiene a partir de la extracción del mineral a cielo abierto. La gran ventaja del reciclaje es evitar las perforaciones de las canteras, los gastos de energía, en la fase de reducción del mineral metal, y el transporte de grandes volúmenes (CEMPRE, 1998).

El reciclaje de cualquier material permite la renovación cíclica, en forma indefinida, ya que no se registran pérdidas, ni de calidad, ni de cantidad. El proceso técnico, en este caso, supone que el material base tiene un suficiente nivel de pureza y compatibilidad, como para que, una vez separado de impurezas, pueda renovarse, manteniendo la masa y las características originales. El acero cumple con éstos requisitos técnicos, permitiendo el reciclaje del mismo, donde las características técnicas del material obtenido no cambian de ciclo en ciclo, y la energía de fabricación se reduce hasta un tercio, a partir del cuarto ciclo. A partir del primer ciclo, la fabricación desaparece por completo y es remplazada por el reciclaje, el material es reaprovechado completamente. Partiendo de esto, y en relación a la asignación de las cargas ambientales, los efectos de la fabricación deben repercutir sobre todos los ciclos posteriores. En el caso del acero, admitiendo que la totalidad de las materias primas provienen de la recolección de chatarra, el número de ciclos de reciclaje que puede realizarse puede ser infinito y, por lo tanto, también el divisor al que deben someterse las cargas ambientales de la primera fabricación, lo que tenderá a cero. De esta manera, solo debe tenerse en cuenta las cargas ambientales de uso y reciclaje de cada ciclo posterior, como se indica en la figura 58 (WADEL, 2010).

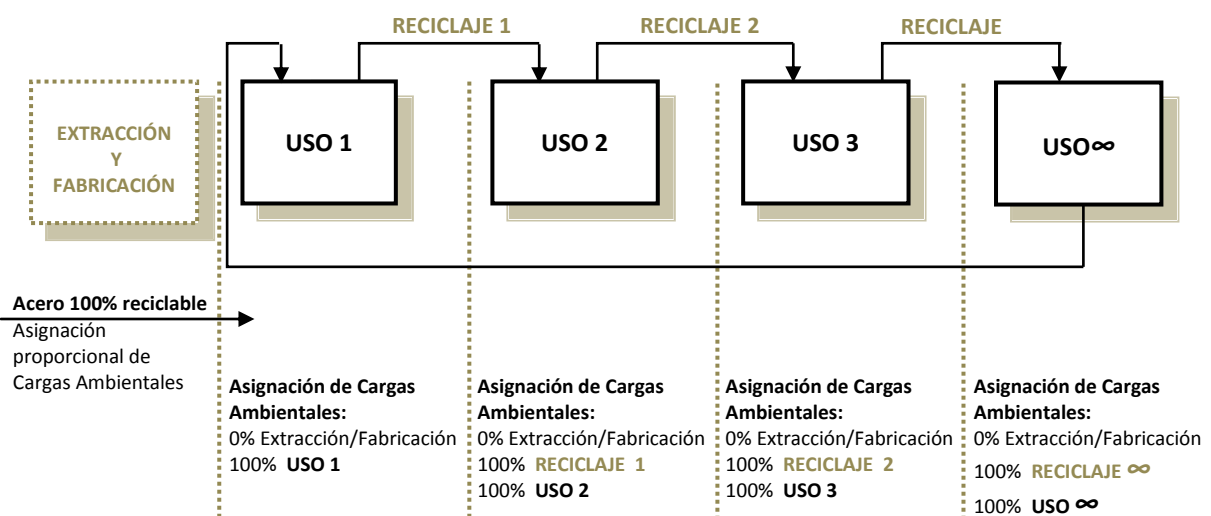


Figura 58: Asignación de cargas ambientales en materiales reciclados (adaptado de WADEL, 2010)

5.2.5. La industria del acero en Uruguay

En Uruguay, actualmente, se está discutiendo la posibilidad de que una empresa India, Minera Aratirí, creada por el grupo Zamin Ferrous, se dedique a la extracción, procesamiento y explotación del hierro. El complejo minero Aratirí abarcará 6.210 hectáreas de los departamentos de Durazno y Florida (formación Valentines), contará con un mineroducto, que transportará el concentrado de hierro, desde la zona de la mina hasta una terminal portuaria. La terminal portuaria se emplazará en el departamento de Rocha, en la localidad de La Angostura (figura 60) (ARATIRÍ, 2011).

Hasta el momento, la empresa minera Aratirí, ha encontrado un concentrado de hierro homogéneo de buena calidad, lo que le permite pensar que, en el lugar, habrá entre 40 y 60 años de actividad minera. Se piensa en un total de 1.200 perforaciones en la zona, que luego se transformarán en cinco canteras (figura 59), que tendrán un diámetro entre 200 y 500 metros (ABELENDA, 2011).

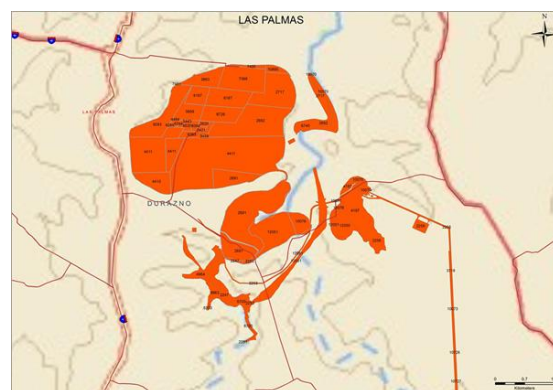
Tabla 24: Características de las canteras de la minera Aratirí

GRUPO VALENTINES					
Cantera	Hierro	Estéril	Total ROM	Superficie	Profundidad
Uría	215.7 Mt	467.5 Mt	683.2 Mt	3000 x 600	350 metros
Morochos	71.4 Mt	100.5 Mt	171.9 Mt	800 x 800	350 metros
Mulero	74.6 Mt	106.0 Mt	108.6 Mt	1400 x 700	200 metros
Maidana	67.4 Mt	187.3 Mt	254.7 Mt	1400 x 500	300 metros
GRUPO LAS PALMAS					
Cantera	Hierro	Estéril	Total ROM	Superficie	Profundidad
Las Palmas	1028.4 Mt	1942.2 Mt	2970.6 Mt	3000 x 1500	350 metros

(fuente: Aratirí, 2011)



Grupo Valentines



Grupo Las Palmas

Figura 59: Ubicación de las cinco canteras de la Minera Aratirí en los departamentos de Durazno, Florida y Treinta y Tres (Aratirí, 2010)

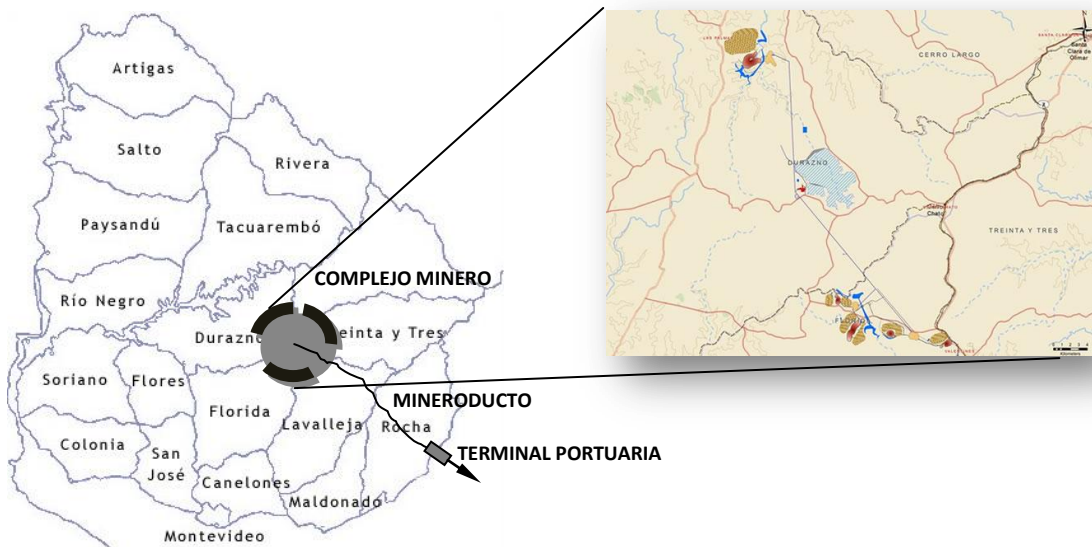


Figura 60: Ubicación del Complejo Minero, proyecto del mineroducto y terminal portuaria (Aratirí, 2010)

El complejo minero Aratirí aumentará un 20 % la demanda energética del país. El proyecto planteaba la posibilidad de la instalación de una planta de carbón, para el suministro de la misma, pero el Estado le vetó esa posibilidad y se comprometió a abastecer el proyecto minero de la energía, que necesita de 200 Megavatios. Una de las preguntas que se genera, es si esa apuesta es compatible con la política energética de mediano plazo, que se trazó el país, apostando al incremento de fuentes renovables de energía, reduciendo al mínimo el uso de fuentes no renovables (combustibles fósiles). Para el Estado, va a ser muy difícil cubrir esta demanda, a partir de fuentes renovables, ya que, tanto la generación hidroeléctrica, como la eólica y la térmica, a partir de biomasa, tienen sus limitaciones por su condición de fuentes no firmes (ocurrencia de lluvias y viento) y del stock (para la biomasa) (BERTONI, 2011).

Actualmente, la producción nacional de acero es realizada exclusivamente por la empresa Gerdau Laisa, **GL**, partiendo de chatarra, como materia prima, y transformándola en diversos tipos de barras comerciales: redondos para construcción (lisos, torsionados y conformados), redondos mecánicos, perfiles (ángulos y planchuelas), alambres de alta resistencia y mallas electro soldadas.

5.2.6. Proceso de producción y caracterización de la industria

La fabricación del acero, a partir de un 100 % de chatarra, es posible gracias a la tecnología de los hornos de arco voltaico (figura 61), y si éstos son alimentados con energías renovables, podemos decir que las demandas del cierre del ciclo de los materiales es significativa (WADEL, 2010). Según la Universidad de Sydney, en estos casos, el CO₂ liberado a la atmósfera se puede reducir hasta un 74%, ya que no se utiliza carbón, ni piedra caliza, como en el proceso productivo tradicional.

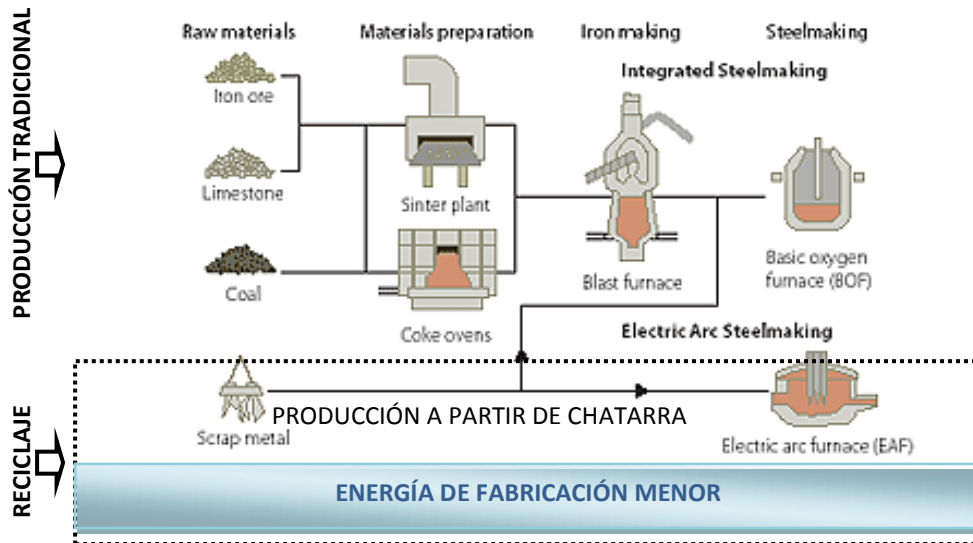


Figura 61: Esquema de producción de acero a partir de altos hornos y hornos de arco voltaico (adaptado de SOCIETÀ ORGÁNICA, 2005)

La industria estudiada, se dedica a la producción de acero, partiendo de chatarra, como materia prima, transformándola en diversos tipos de barras comerciales. La industria parte de chatarra, cualquier residuo metálico de hierro/acero, como materia prima. Hasta la década de los años setenta, la chatarra, representaba un material difícil de eliminar; surge así el emprendimiento de las empresas fundadoras de la industria estudiada, las que montaron un horno eléctrico, para el procesamiento de la chatarra, transformándola en lingotes, técnica ya abandonada.

En la actualidad, toda chatarra recolectada en Uruguay, es procesada por la industria estudiada. El resto de los insumos utilizados en el proceso de producción del acero son: a) carbón mineral, b) ferroaleaciones, c) cal, d) agua, destinada a los sistemas de refrigeración de las diferentes operaciones, e) combustibles, como el fueloil y el gas natural, f) oxígeno, utilizado en el proceso de aceración, y, g) energía eléctrica (GERDAU LAISA, 2004).

La industria estudiada, GL, se encuentra localizada en Montevideo (figura 62), y suministra a las principales empresas constructoras con obras de gran magnitud y a barracas para su distribución. La producción de la industria significa un 65 % de aceros, que se utiliza en la industria de la construcción en Uruguay. El porcentaje restante es importado, principalmente de Brasil, por lo que se puede deducir en primera instancia, que la energía incorporada del material será mayor.



Figura 62: Planta de Gerdaul Laisa en Montevideo (GOOGLE EARTH, 2011)

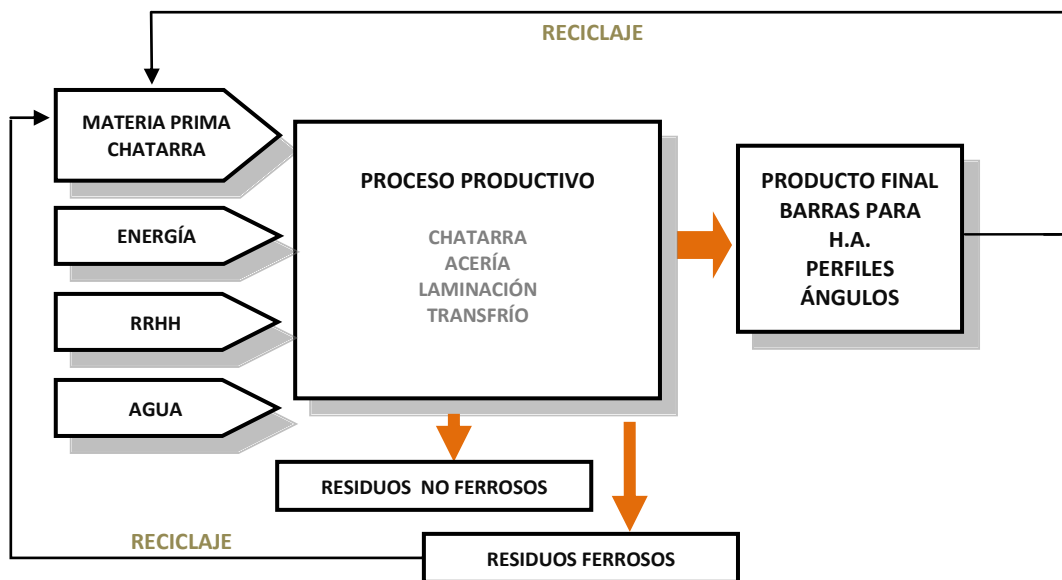


Figura 63: Insumos y pérdidas en la producción del acero para la industria estudiada

El proceso de producción consiste en las siguientes etapas, como indica la figura 65:

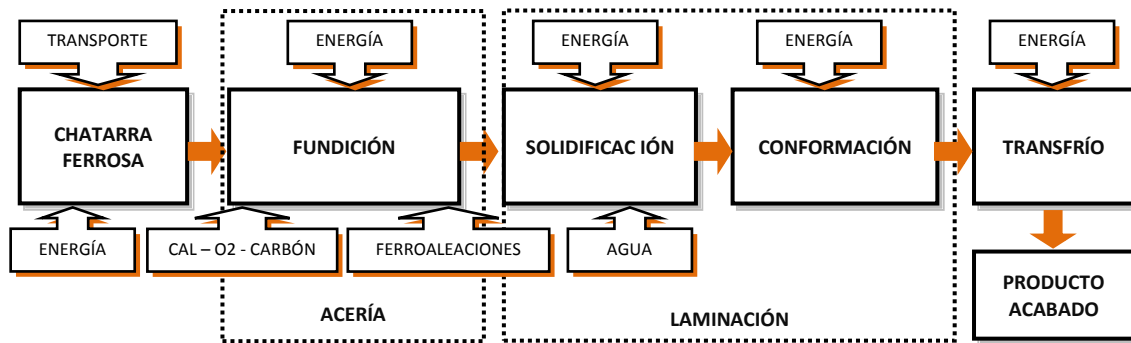


Figura 64: Etapas e insumos consumidos en el proceso de producción del acero

Selección chatarra: La empresa parte de la chatarra de hierro/acero, como materia prima. La recolección se hace a nivel nacional, en cinco puntos del país: Montevideo, Rocha, Tacuarembó, Salto y Soriano (figura 65), donde se colocan depósitos (volquetas), con el fin, de que, a cada uno de éstos llegue chatarra de los departamentos cercanos. Luego, un camión con dos prensas móviles, circula por los diferentes puntos compactando la chatarra, para luego trasladarla a la planta, en camiones de 20 toneladas. Por año, la industria utiliza 85.000 toneladas de chatarra ferrosa para su producción.

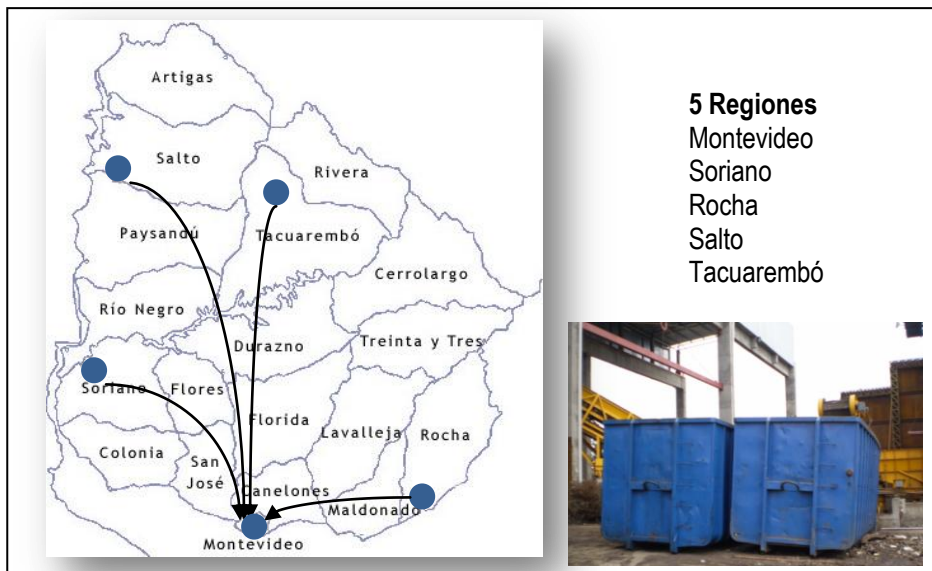


Figura 65: Recolección de chatarra a nivel nacional

Patio de chatarra (figura 66): la clasificación de la chatarra se realiza de acuerdo a su densidad y al procesamiento posterior que sufrirá a efectos de aumentar su densidad. La chatarra es separada en chatarra liviana 75%, y chatarra pesada, 25 %. Se dosifican los diferentes tipos de chatarra procesada, para conformar luego, las distintas cargas del horno. La chatarra liviana se compacta con una prensa con imán, que separa impurezas, y del 100 %, el 91 % es chatarra utilizable. Toda la chatarra, junto con la cal, abastece la cesta que será transportada hasta el horno.



Figura 66: Patio de Chatarra GL

Acería

Fusión: El proceso de fusión, pasaje de estado sólido (chatarra) al estado líquido (acero líquido), se produce en un horno eléctrico trifásico, de 20 toneladas por colada, alimentado por un transformador de 30.000 / 500 V de 12 MVA. Las paredes y la bóveda del horno están refrigeradas por agua. La temperatura de vaciado del acero del horno es de entre 1.650 y 1.700 °C. La fusión se realiza por la acción combinada de tres electrodos de grafito (uno por fase) y la inyección de oxígeno gaseoso. Se forman tres arcos entre los electrodos y la chatarra, generándose una energía radiante tan intensa que funde toda la chatarra a su alrededor.

Para obtener el acero de las características deseadas, se agrega carbón y ferro aleaciones (ferro-silicio-manganeso, ferro silicio).

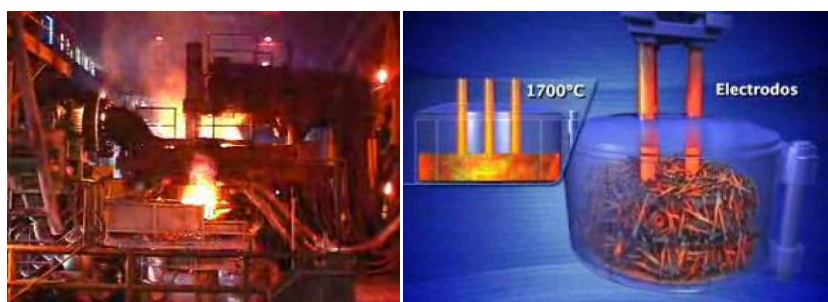


Figura 67: Horno de arco voltaico (Gerdau Laisa)

Solidificación: Una vez que el acero líquido está pronto, se vierte en una cuchara de colar, que lo transporta hacia el proceso de solidificación: “palanquilla de colada continua”, para formar la “palanquilla”, barra de acero sólido. El acero líquido pasa por moldes de enfriamiento, para solidificarse en forma de palanquilla, que serán cortadas en dimensiones adecuadas a la laminación. La palanquilla tiene una sección cuadrada, de 120 x 120 mm.



*Figura 68: Palanquillas de colada continua (Gerdau Laisa)
Figuras 69 y 70: Palanquilla de acero (Gerdau Laisa)*

Laminación: Es el proceso continuo de conformación mecánica. Se inicia en el horno de recalentamiento, donde se eleva la temperatura de las palanquillas a 1.200 °C, para permitir la laminación en caliente. Deformaciones en las palanquillas por pasaje de las mismas a través de dos cilindros que giran en sentido contrario, logran una importante reducción en altura, con un cierto ensanchamiento.

Transfrío: En cajas intermediarias va siendo conformada la palanquilla. Se le da forma al producto final que puede ser acabado en forma de barra o rollo. Las barras laminadas son conducidas al lecho de refrigeración y se cortan en los largos especificados; luego se almacena embalada.



*Figura 71: Lecho de refrigeración (Gerdau Laisa)
Figura 72: Embalaje (Gerdau Laisa)
Figura 73: Almacenamiento (Gerdau Laisa)*

5.2.7. Estimación de la energía incorporada en el acero de producción nacional

Las informaciones utilizadas en el proceso de cálculo, para estimar la energía incorporada en la producción del acero, fueron obtenidas en la propia planta, con la aplicación de un cuestionario de preguntas, que contenía preguntas directas e indirectas, referentes al consumo de energía, basado en el proceso productivo de la página web de GL.

Las preguntas abordaban aspectos ligados al consumo energético, asociado a cada fase del proceso productivo, la obtención de la chatarra, fuentes de energía empleadas, emisiones generadas y residuos sólidos producidos. El entrevistado fue un técnico del Departamento de Ingeniería de la empresa, y la entrevista se realizó en la empresa y luego se realizó una recorrida por la misma, siguiendo el proceso.

Los cálculos para estimar la energía incorporada consideran las informaciones obtenidas en la entrevista y posteriores consultas, vía mail, siendo, por lo tanto, dependientes de la calidad de los datos suministrados por el entrevistado.

En el proceso de cálculo fueron considerados: a) el transporte de la chatarra al lugar de procesamiento, b) la energía de las prensas móviles, c) la energía de la prensa con imán que separa impurezas, d) la energía de las grúas, e) la energía del horno eléctrico, f) el transporte de las ferro aleaciones, del O₂, de la cal y del carbón mineral, g) la energía aportada por el O₂ y el carbón mineral, h) la energía del horno de recalentamiento, e i) la energía eléctrica utilizada en la planta, en general.

5.2.8. Resultados obtenidos: cuantificación de los insumos energéticos utilizados

Los datos obtenidos de la planta fueron analizados en kWh, para una tonelada de producto acabado. Luego los resultados obtenidos fueron transformados a MJ/kg.

A partir de los insumos energéticos, la energía estimada fue convertida en poder calorífico (tabla 25) según datos obtenidos en la propia planta u obtenidos de la bibliografía:

Tabla 25: Valores de poder calorífico

ENERGÍA	PESO ESPECÍFICO (kg/m ³)	PODER CALORÍFICO		FUENTE DATOS PODER CALORÍFICO
		kWh/kg	Kcal/l	
Gasoil	852		10.750	Brasil 1997, apud Sperb, 2000
Carbón mineral		8.37		Dato de La empresa
Oxígeno	1,354	3.3		Dato de la empresa
Gas natural			9,50	UNS

Para el transporte, el consumo energético adoptado es obtenido a partir de los valores de productividad de camiones semirremolque, camiones semirremolque con zorra, camiones tanque (REIS 1999, apud SPERB, 2000), que, según datos obtenidos por GL, son el tipo de camiones que se utilizan para el transporte de los insumos utilizados en la empresa.

Tabla 26: Gastos energéticos de transporte de carga

VEHÍCULO	CARGA LÍQUIDA (t)	RENDIMIENTO Km/litro	PRODUCTIVIDAD (litro/t.km)	GASTO ENERGÉTICO (MJ/kg.km)
Camión semirremolque*	20	2,60	0,019	$0,737 \times 10^{-3}$
Camión 3 ejes semirremolque 3 ejes** tanque	26,4	2,60	0,018	$0,692 \times 10^{-3}$

*Valores obtenidos a partir de camiones cargados 100% de su capacidad de carga útil.

(fuente: adaptado de SPERB, 2000)

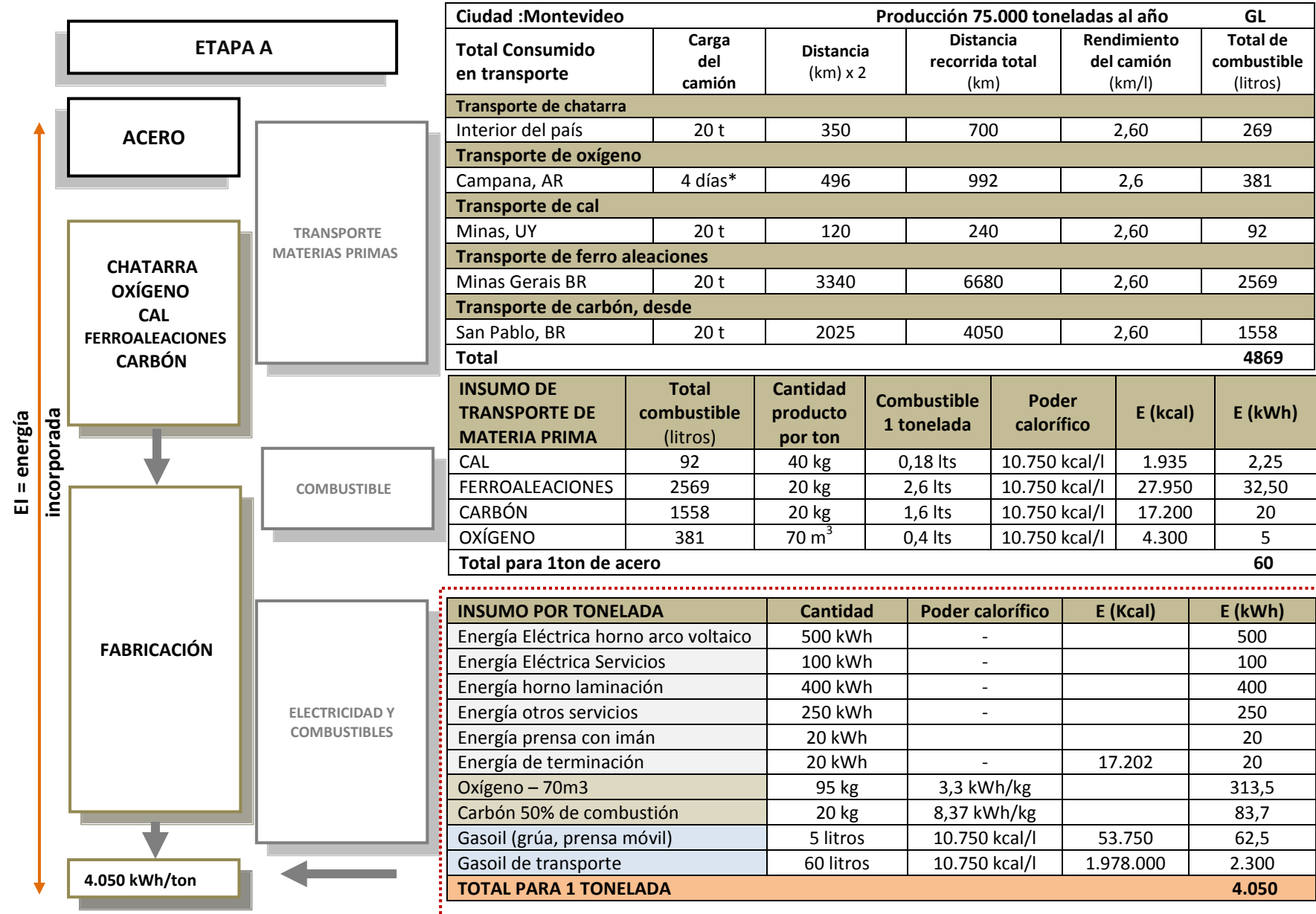


Figura 74: Gastos totales de energía en GL

Los resultados finales de GL (Gerdau Laisa), son los que se muestran en la tabla 27:

Tabla 27: Valores obtenidos en GL

GL	Consumo energético kWh	Consumo energético MJ
1 tonelada de material	4.050	14.580
1 kg de material	4.05	14,58

La participación por insumo energético en la energía total consumida para GL es la que muestra la figura 75:

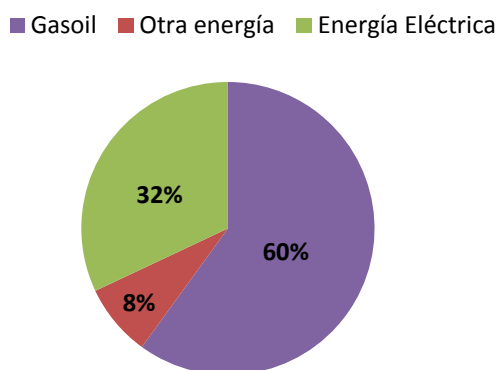


Figura 75: Participación por insumo energético para una tonelada de acero

La figura 76, muestra los valores de energía consumidos para la fabricación de 1 tonelada de acero a partir de chatarra.

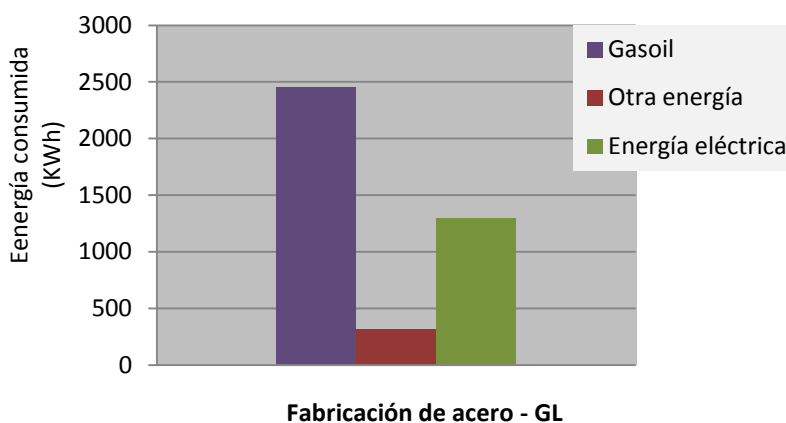


Figura 76: Comparación del consumo de energía en la fabricación de 1 tonelada de acero

5.2.9. Análisis de los resultados

5.2.9.1. Energía incorporada en el material

Analizando la energía total consumida para 1 tonelada de acero, se destaca la utilización de la energía eléctrica, como principal fuente de energía en el proceso de fabricación, con un 32 %, no siendo el mayor insumo energético, ya que, el transporte se transforma en una componente importante, alcanzando el 60 %. Esto se debe a que el transporte de los insumos necesarios en el proceso: carbón, oxígeno y ferroaleaciones, aportan un alto consumo energético, ya que las distancias recorridas para su traslado son importantes, alcanzando un promedio de 1.950 km. Se consideró la peor situación, donde el camión, una vez que descarga el insumo, vuelve vacío a su lugar de origen. El transporte de los insumos representa unos 8,28 MJ/kg adicionales para el acero, cuya energía de fabricación es de 6,3 MJ/kg, lo que implica multiplicar por 1,3 la energía de fabricación y mecanización, aumentándola un 30 %. En este caso en que el material es reciclable, el transporte significa un porcentaje muy alto en la energía incorporada en el material. A pesar de esto, el valor obtenido de energía incorporada para el acero, 14,58 MJ/kg, es un valor similar a obtenidos en otros países para acero reciclado. Y si comparamos el valor del acero producido a partir de la explotación y extracción de materia prima, que según la bibliografía estudiada es de 35 MJ/kg, sigue siendo un valor óptimo.

GL produce el 65 % del acero que consume la industria de la construcción en Uruguay; el restante, 35%, es importado de Brasil, por lo que, al valor de la energía incorporada en la producción del acero en Brasil, se le debe sumar el aporte energético del transporte, que, como fue analizado, incrementa el valor en un 30 %. Se puede concluir, entonces, que el valor de energía incorporada del acero importado de Brasil será de 45 MJ/kg, aproximadamente, si es obtenido a partir de la explotación de materias primas.

Si analizamos la posibilidad de la producción del mineral de hierro, a partir de la extracción, procesamiento y explotación del hierro, como planifica la minera Aratirí, los valores de energía incorporada en la producción del acero serían similares a los obtenidos en la bibliografía, 35 MJ/kg; además, que se producirían diferentes impactos ambientales, mencionados en el punto 5.2.3.1, para un período de tiempo, de 40 y 60 años de actividad minera, lo que parece poco tiempo, si pensamos en las generaciones futuras.

5.2.9.2. Emisiones de CO₂ según fuentes utilizadas

Como se mencionó en el punto 5.2.3.2, la fusión de chatarra genera emisiones gaseosas y material particulado compuestos por: óxidos metálicos; anhídrido carbónico generado, en la combustión; óxidos nitrosos, provenientes del aire involucrado y materiales orgánicos, que se evaporizan en el proceso.

GL, desde el año 2003, ha diseñado una solución para el tratamiento de emisiones gaseosas y material particulado. El mismo consiste en un proceso seco, basado en una batería de filtros manga, el cual retiene las emisiones gaseosas y el material particulado provenientes del horno, y, a través de un sistema de campana, capta emisiones secundarias, que se generan en las operaciones de colada y carga de chatarra. La

concentración promedio de polvo residual, en los gases tratados por el sistema, es inferior a 10 mg/m^3 , medidos a la salida de la chimenea.

Los residuos sólidos que se generan son captados en los filtros y constituyen, algunos de ellos, residuos a ser dispuestos en el relleno de seguridad, que posee la empresa en un predio vecino, y otros, se trasladan a la usina Felipe Cardozo, de disposición final de residuos de la ciudad de Montevideo:

- 9 % residuos no ferrosos de la prensa, va a la usina Felipe Cardozo
- 10 % escoria, a usina Felipe Cardozo
- 5 % polvo seco, proveniente del sistema de extracción de humos, al relleno de seguridad, ubicado en el padrón vecino a la planta, propiedad de GL
- 8 % laminillo (óxido ferroso) es comercializado a las cementeras
- el residuo ferroso, vuelve al proceso de producción



Figura 77: Sistema de captación de gases, humos y polvo

El transporte tiene un elevado aporte a las emisiones de dióxido de carbono, principalmente debido a que es el principal insumo energético. El uso del gasoil, del transporte, genera material particulado, CO_2 , SO_2 , NO_x (LYLE, 1994).

5.2.9.3. Comparación de resultados

La energía incorporada, obtenida en el presente trabajo, para la producción de acero es el que se muestran en la tabla 28:

Tabla 28: Energía incorporada en el acero, obtenido en la investigación

Datos obtenidos en casos de estudio	MJ/kg	kWh/kg
GL	14,58	4,05

En la tabla 29 se muestran diversos valores encontrados, en la bibliografía internacional, de energía incorporada para el acero, a partir de extracción de materia prima y acero reciclado:

Tabla 29: Energía incorporada en el acero, datos internacionales

País	Material	MJ/kg	kWh/kg	Fuente
España	Acero 100% reciclable	17,0	4,72	Guía de l'Edificacio Sostenible (1999)
	Acero 20% reciclable	35,0	9,72	
	Acero	29,2	8,11	Cardim (2001)
	Acero reciclado	14,6	4,06	
	Acero	32	8,89	Observatorio de la sostenibilidad en España
	Acero reciclado	10,1	2,81	
India	Acero	42	11,67	Reddy & Jagadish, 2001 apud Tavares, 2006
Brasil	Acero	29,74	8,26	Ribeiro, 2003; apud Tavares 2006
	Acero	30,49	8,47	BEN IBS, 2004: apuud Tavares 2006
USA	Acero	35,40	6,7	EPA, 2004
	Acero reciclado	18,1	2,03	
Nueva Zelanda	Acero	32,0		Alcorn and Wood, 1998, apud Lee, et al
	Acero reciclado	10,1		

Existe una variación entre los valores encontrados en la bibliografía de 29,2 a 35,4 MJ/kg, para el acero obtenido a partir de la extracción de la materia prima en usinas integradas, y una variación de 10,1 a 18,1 MJ/kg, para el acero reciclado, obtenido en usinas semi integradas.

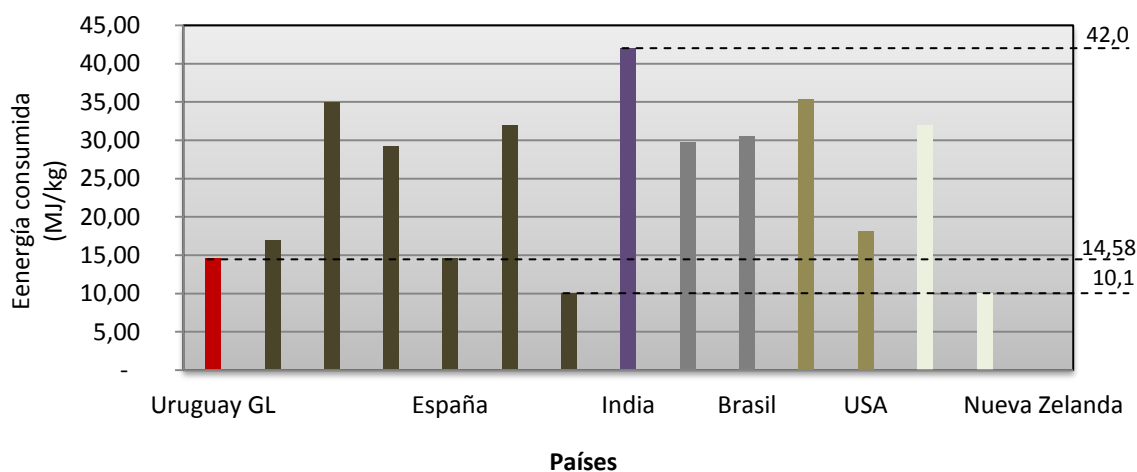


Figura 78: Gráfico comparativo ente resultados obtenidos y resultados de la bibliografía internacional

5.2.10. Conclusiones EC-02

Al ser un material de alta intensidad energética, el acero tiene un alto potencial para ser reciclado. El 100% de los desechos de acero pueden ser reintroducidos en el proceso productivo; sus propiedades metálicas permiten que esto sea físicamente viable, usando imanes, que separan el metal del resto de los residuos. Las características técnicas del material no cambian, mientras se reduce la energía de fabricación. El ahorro de recursos, obtenidos de la corteza terrestre, combinada con, una menor cantidad de energía, que conllevarían la fabricación de acero convencional, producido a partir del mineral de hierro, piedra caliza y carbón, como componentes básicos del proceso de fusión, producen una doble mejora ambiental.

El cierre del ciclo de los materiales es condición del desarrollo sostenible, retornando a la calidad de recursos los residuos producidos por su uso (CUCHÍ, 2003), la obtención del acero, a partir de chatarra, permite una aproximación significativa a esta demanda.

La escoria generada en el proceso de producción del acero, también puede ser reciclada, introduciéndola en el proceso, o utilizándose en la industria del cemento. Esta reutilización de los residuos, en el proceso, es beneficiosa ya que significa una reducción en las emisiones de CO₂ y la reducción de la escoria residual.

El valor obtenido, en el estudio de caso (acero reciclado), de 14,58 MJ/kg, es cercano a valores obtenidos en la bibliografía internacional para aceros reciclados. El transporte tiene un peso significativo en el valor obtenido, por lo que se debería intentar reducir el flujo de transporte, trabajando con insumos locales o más cercanos, de ser posible; o la utilización de medios de transporte más eficientes, con una optimización de los flujos de cargas, que eviten la circulación de camiones sin carga.

5.3. EC-03: Material 3 - CEMENTO

5.3.1. Aspectos arquitectónicos

A lo largo de la historia, el cemento ha sido el principal material de construcción empleado por la humanidad, puesto que el cemento Portland y sus derivados están formados, básicamente, por mezclas de caliza, arcilla y yeso, que son minerales muy abundantes en la naturaleza. Los egipcios emplearon morteros de yeso y cal en construcciones monumentales como la pirámide de Giza, 2.500 AP, y en Micenas y Troya lo utilizaron para construir muros de piedras unidas por arcilla. La civilización romana fue la primera en desarrollar el uso del cemento, utilizando para su producción cal viva y cenizas volcánicas. Uno de los principales ejemplos de aplicación de este material por parte de los romanos es el Panteón de Roma, construido por Agripa, en el año 27 AP. Su cúpula, de 44 m de luz, está construida de hormigón realizado con puzolanas, cal y áridos ligeros, colocados en capas de densidad decreciente. También con este material se construyó las paredes del Anfiteatro de Pompeya y los cimientos y paredes internas del Coliseo, año 80 AP (Oficemen, 2011).

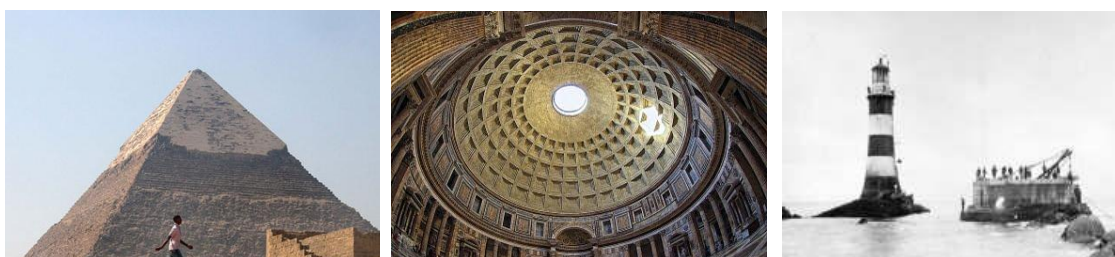


Figura 79: Pirámide de Giza, 2500AP (Welber)

Figura 80: Panteón de Roma, 27 AP (Jiménez-Muriel)

Figura 81: Faro de Eddystone, 1774 (IECA)

Al desarrollarse la tecnología del hierro, se desarrolló también la tecnología del hormigón, o al menos el desarrollo del cemento hidráulico. En 1774, Smeaton reconstruye la base del faro de Eddystone, utilizando una mezcla de cal viva, arcilla, arena y escoras de hierro triturado. A principios del siglo XIX, las investigaciones del ingeniero francés J. L. Vicat, y el constructor inglés J. Aspdin conducen al descubrimiento de un cemento mejorado, al que Aspdin, llamó Cemento Portland porque se asemejaba a una piedra gris, muy oscura, que se encuentra en la Isla de Portland, Inglaterra. Los estudios de Vicat marcan las pautas a seguir en la fabricación del cemento por medio de mezclas de calizas y arcillas molidas conjuntamente, utilizando un sistema de fabricación húmedo, marcando el inicio actual del proceso de fabricación (AFCA, 2011).

En Francia, las restricciones económicas que siguieron a la Revolución de 1789, la síntesis del cemento hidráulico por Vicat y la tradición de construir con tierra apisonada, se combinaron para crear las circunstancias óptimas para la invención del cemento armado (FRAMPTON, 1989).

El período de más intenso desarrollo en el hormigón armado, fue el comprendido entre 1870 y 1900, cuyos precursores fueron, simultáneamente Alemania, Francia, e Inglaterra. Hacia 1900, en París, comenzaron a construirse las primeras estructuras totalmente de hormigón armado, comenzando por el bloque maestro de apartamentos de Auguste Perret, en la Rue Franklin (1903), y el Théâtre des Champs Elysées (1913). La estructura de hormigón armado se había convertido en una técnica normativa, y en adelante, su evolución correspondería a la escala de aplicación y a su asimilación como elemento expresivo, que en la arquitectura surgió con la “Maison Dom- Ino”, de Le Corbusier, en 1915 (FRAMPTON, 1989).

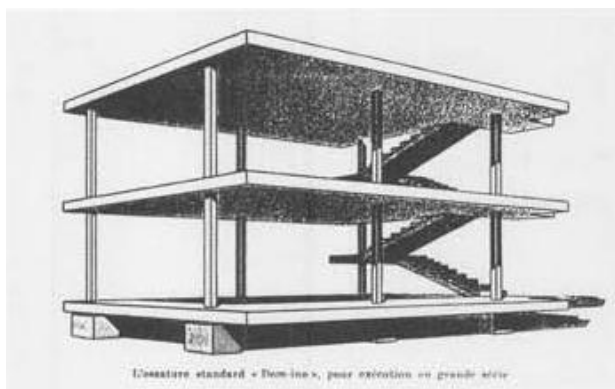


Figura 82: Apartamentos calle Franklin, Perret, 1903 (arteHistoria)

Figura 83: Casa Dominó, Le Corbusier, 1915 (Corres, E.)

En 1929, Le Corbusier llega a Montevideo, elogia algunas medianeras y critica, con ironía, el Palacio Salvo que estaba en construcción. En su regreso a Francia escribe la existencia de unas ciertas “perlas de modernidad”, que auguraban nuevos horizontes para las ciudades del sur americano, y entre ellas figuraba el Palacio Salvo, bajo la curiosa nomenclatura de una “rascacielos imaginablemente divertido de Montevideo” (RODRÍGUEZ DOS SANTOS et al., apud ALONSO, et al. 2010).

Las influencias de las manifestaciones culturales de los centros de difusión exterior en el medio uruguayo fueron diversas, entre las que se destacan, además de la Le Corbusier, la influencia de Aguste Perret y de Erich Mendelsohn, la del racionalismo alemán, el constructivismo ruso y el futurismo italiano; sin dejar de lado aquella originada en la práctica del diseño náutico (ARANA et al, 1995).

En una obra, como el Palacio Lapido, de los arquitectos Aubriot y Valabraga, (1930), convergen muchas de estas influencias, señaladas. Fue uno de los primeros edificios austeros de formas, puras y una elogiada modernidad. El Palacio Lapido tiene más de una docena de pisos y es muy regular, hasta la parte más alta, en que se producen retranqueos y modificaciones, que dan lugar a un juego de volúmenes más pequeños

(ARTUCIO, 1971). En esta obra se sintetiza la actitud de los arquitectos uruguayos, de plasmar un nuevo lenguaje para las exigencias de su medio.

La aceptación y ejercitación de una tecnología como la estructura de hormigón armado, acorde con los nuevos programas, y con las posibilidades de la época, fue decisiva para posibilitar la realización de edificios de importante escala (ARANA et al, 1995).



Figura 84: Palacio Salvo, en construcción, Palanti, 1923 (ALONSO et al)

Figura 85: Edificio Lapidó, 1930 (RUIZ BADILLA, 2010)

Figura 86: Estadio Centenario, Arq. Scasso, 1930. (GATUTA, 2004)

Ese mismo año se inaugura el Estadio Centenario, en ocasión del primer Campeonato Mundial de Fútbol realizado en Uruguay, en coincidencia con la celebración de los 100 años de la Jura de la Constitución Nacional. El proyecto, de Juan Scasso, fue construido en 9 meses con una capacidad de 65.365 espectadores. Para su realización se utilizaron 14.000 m³ de hormigón armado. La Torre de los Homenajes, se eleva 40 m por encima de la tribuna y distingue particularmente al estadio (ALONSO et al., 2010).

La Facultad de Ingeniería, concurso que ganó Villamajó en 1938, está situada en un lugar privilegiado, su implantación en el terreno es excelente. El edificio se despegaba del suelo y por debajo de él se circula y se logra que la mirada se extienda hacia el río y hacia el espacio verde inmediato, sin dificultad. El juego de volúmenes, caracterizados en su individualidad con matices trazados por la masa gris del edificio de hormigón limita el paisaje con animaciones en relieve y huecos (ARTUCIO, 1971).

El edificio Panamericano ubicado en la Rambla Armenia, frente al Puerto del Buceo, es un edificio de viviendas. El proyecto es del Arq. Raúl Sicheo y fue realizado entre los años 1958 y 1964. De estrictas líneas modernas, el edificio es un volumen prismático transparente, de 100 m de largo, con una veintena de plantas y 13 m de

ancho. Junto con el edificio Panamericano, Sichero proyecta el edificio Ciudadela, el cual se comienza a construir con un año de diferencia. Las soluciones constructivas son las mismas.

“Cuando, en 1958 Raúl Sichero inició la construcción del Panamericano es probable no tuviera la más mínima sospecha del sitio destacado que acabaría por ocupar su edificio en la cultura arquitectónica del Uruguay. Pero, en cambio, sí estáña claros los límites y las apuestas dentro de los cuales se debía mover el proyecto de arquitectura que empezaba a levantar. El Panamericano representa la última etapa de un ciclo edilicio, que en diez años construyó el primer tramo de edificaciones en altura sobre la rambla de playa Pocitos” (ALONSO et al, 2010).



Figura 87: Facultad de Ingeniería, Arq. Villamajó, (IM, 1992)

Figura 88: Edificio Panamericano, Arq. Sichero

5.3.2. Características y propiedades del cemento:

El cemento Portland, es un aglomerante constituido por clinker Portland y cualquiera de los componentes adicionales, definidos en la norma, en proporciones también definidas por la norma, tabla 30, molidos en conjunto o por separado, en plantas de cemento o dependencias. El clinker Portland está compuesto por nódulos de 2 a 25 mm de diámetro de un material hidráulico, producido cuando una mezcla de materias primas de composición determinada es cocida a altas temperaturas (UNIT 20:2003).

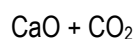
Tabla 30: Tipos de cemento y composición

Tipo de cemento	Designación	Composición (g / 100 g)				
		Componentes principales				Componentes minoritarios
		Clinker	Puzolana (P)	Escoria (E)	Filler calcáreo (F)	
Cemento Portland normal	CPN	100-95				
Cemento Portland con filler calcáreo	CPF	94-80			6-20	0-5
Cemento Portland puzolánico	CPP	85-50	15-50			0-5
Cemento Portland con escoria	CPE	94-65		6-35		0-5
Cemento Portland compuesto	CPC	94-65	Dos o tres componentes con P + E + F entre 10 y 35 %			0-5

(fuente: NORMA UNIT 1083:2003)

El cemento Portland se obtiene a partir del clinker, más yeso natural. La piedra caliza y la arcilla, se calcinan en un horno a 1.450 °C para producir el clinker. Los elementos esenciales resultantes son:

PIEDRA CALCÁREA



ARCILLA

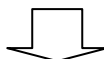
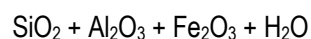


Tabla 31: Composición del cemento

NOMBRE DEL COMPUESTO	COMPOSICIÓN DE ÓXIDOS	ABREVIATURA
Silicato Tricálcico	3CaO. SiO ₂	C ₃ S
Silicato Dicálcico	2CaO. SiO ₂	C ₂ S
Aluminato Tricálcico	3CaO. Al ₂ O ₃	C ₃ A
Ferroaluminato Tetracálcico	4CaO. Al ₂ O ₃ . Fe ₂ O ₃	C ₄ AF

Esencialmente, los tres primeros son los responsables de las resistencias mecánicas, que desarrolla el material, y los dos últimos tienen un papel esencial en la cocción del cemento en su producción industrial.

Aparecen elementos secundarios: la cal libre CaO, la magnesia libre MgO y sulfatos SO₂, además de álcalis, más otras sustancias, que están presentes en muy pequeñas cantidades. La cal libre es atacada por las aguas puras, ácidas y carbonatadas, de manera que si no se limita la cantidad, se obtiene cementos no estable ni durable. La cal y la magnesia libre, son expansivas, y su exceso puede incidir en la aparición de patologías. El yeso tiene un papel fundamental para la regulación del proceso de fraguado, fija el aluminato tricálcico, pero de él provienen sulfatos, SO₂ que dan lugar a una disminución de la resistencia de los cementos y hormigones. El anhídrido carbónico del aire y la humedad hacen que la cal libre se hidrate y se carbonate, por lo que es imprescindible guardar el cemento, antes de ser usado, en lugares acondicionados, evitando la presencia de humedad (FERNÁNDES, 2006).

Desde el punto de vista de la durabilidad, un cemento que contiene mayor proporción de C₂S es más durable ante ácidos y sulfatos que otro, con mayor proporción de C₃S (FERNÁNDES, 2006).

5.3.3. Aspectos ambientales

5.3.3.1. Materia Prima

En líneas generales, se puede decir, que la fabricación de cemento consume calizas, arcillas filitas, marga, yeso e hierro. Los yacimientos conocidos según edades geológicas, son:

Calizas Precámbricas, en los departamentos de Maldonado, Lavalleja, Treinta y Tres y Cerro Largo, asociadas al Grupo Lavalleja y Barriga Negra.

Calizas Cretácicas, en el Departamento de Paysandú (Queguay) y otros, asociadas a las Formaciones Asencio y Guichón.

Hematita: mineral de hierro, como materia utilizada en la elaboración de Cemento Portland. Se explota en dos yacimientos, en el Departamento de Lavalleja, una cuarcita ferrífera concordante con las rocas del Precámbrico superior de la región.

Margas: Arcillas carbonatadas que se utilizan, preferentemente en la fabricación de Cemento Portland.

Yeso: Mineral compuesto de sulfato de calcio, de colores claros, de baja dureza que se utiliza en la industria de la construcción, fabricación de cemento y en cerámica. Se conocen ocurrencias de yeso en materiales Devónicos y en materiales cuaternarios (DINAMIGE, 1987).

Tabla 32: Características litológicas y recursos minerales asociados

		FORMACIÓN	CARACTERÍSTICAS LITOLÓGICAS	RECURSOS MINERALES
Mesozoico	Cretácico Superior	Asencio y Guichón	Areniscas medias, bien redondeadas, feldespáticas, de matriz arcillosa, de colores blancos a rosados, masivas; con fenómenos secundarios de ferrificación y silificación de color herrumbre y niveles de calizas y calizas arenosas	Sedimentos clásicos varios (sedimentos arenosos, algo consolidados, que yacen horizontales y que presentan calizas asociadas). Calizas (sedimentos con alto contenido de CaCO_3 , de color blanco, que yacen horizontales) utilizados para cemento Portland y cal.
Proterozoico	Precámbrico	Sierra Ballena	Importante faja de dirección general N 30° E con variaciones que pueden llegar a N 60° E, litológicamente integrada por una intercalación de cataclasitas cuarcíticas de grano fino y anfibólicas	Rocas predominantemente metamórficas que contienen calizas (rocas con importante contenido de CaCO_3), dolomíticas (rocas claco – magnesianas Ca-Mg ((CO_3) ₇), mármoles, cuarzo, feldespato (silicato de potasio), granitos, filitas, corindón (rocas con alto contenido de Al_2O_3), talco (silicato magnesiano hidratado), barita (mineral de color blanco, muy denso con alto contenido de SO_4Ba), hematita (rocas metamórficas con alto contenido de Fe_2O_3) y asbesto.
		Zócalo del Este	Se desarrolla como dos cinturones: secuencia vulcano sedimentaria de metamorfismo bajo (filitas, sericiticas, cloritosas, cuarzosas y grafitosas; cuarcitas, calizas, dolomitas, metaareniscas, metaconglomerados y metavulcanitos), y secuencia de metamorfismo medio (equistos cuarzo, feldespaáticos, leptinitas, micaesquistos, gneises y mármoles), separados entre sí por áreas gnéisico- migmatíticas y graníticas (granitoides tardi – y post – tectónicos)	

(fuente: adaptado de: ECOplata 1999 y de DINAMIGE, 1987)

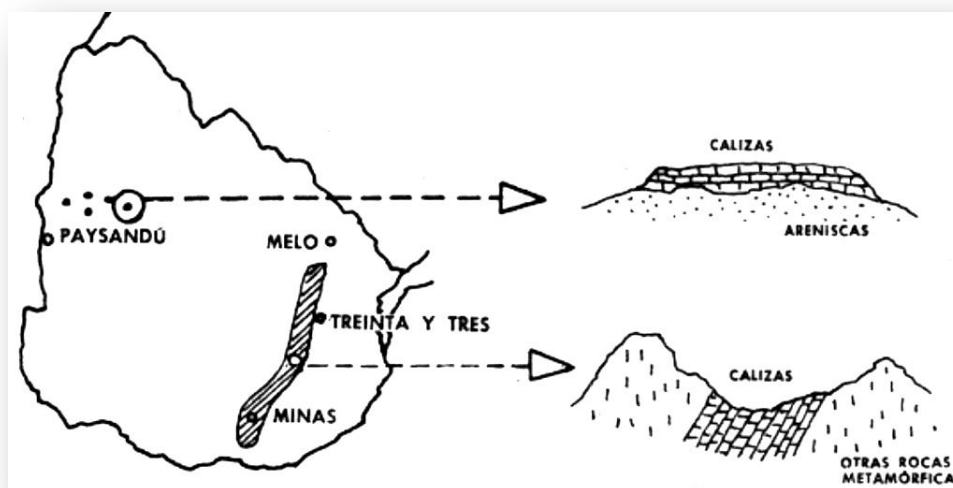


Figura 89: Distribución geográfica y estructura geológica de las calizas uruguayas (BOSSI, 1969)

5.3.3.2. Consumo de energía y emisiones de CO₂

La producción del cemento consume cantidades significativas de combustible fósil no renovable, como principal fuente de energía térmica, y, de forma secundaria, para movilizar los equipos, tales como: máquinas retroexcavadoras y vehículos de transporte. También consume energía eléctrica para el funcionamiento de los demás conjuntos electromecánicos complementarios: básculas, molindas, cintas transportadoras, etc. (CARDIM, 2001).

En la tabla 33, puede observarse que el mayor consumo corresponde a la producción del clinker, alcanzando casi el 90 % del total de la energía consumida en el sistema. Los cementos con menores cantidades de clinker consumen menos energía. La distribución del consumo energético, entre energía térmica y energía eléctrica, dependerá de cada fábrica (AGUADO et al, 2004).

Tabla 33: Consumo de energía en MJ requerido para la fabricación de 1 kg de cemento

Fuente	Tipo	Nomenclatura	Origen	Clinker (%)	Clinker		Cemento		Total (100 %)
					Térmica (MJ) – (%)	Electricidad (MJ) – (%)	Térmica (MJ) – (%)	Electricidad (MJ) – (%)	
	I	Cemento Portland I	Holanda	95-100	3,38 (74)	0,196 (4)	0,846 (19)	0,122 (3)	4,544
		Cemento CH	Suiza	95-100			2,980 (84)	0,557 (16)	3,537
		Cemento N	Suecia	95-100			3,850 (87)	0,557 (13)	4,407
		Cemento SF1	Finlandia	95-100			4,90 (92)	0,450 (10)	5,350
	II	Cemento Portland	Holanda	80-94	3,38 (92)	0,134 (4)	0,032 (0)	0,146 (4)	3,692
		Portlandcement A	Austria	80-94			2,810 (88)	0,382 (12)	3,192
		Portlandcemento NL2	Holanda	80-94			2,640 (96)	0,116 (4)	2,756
		Portlandcement NL3	Holanda	65-79			3,380 (91)	0,318 (9)	3,698
	III	Blastfurnace salg cemenet	Holanda	20-34	0,88 (55)	0,035 (2)	0,120 (8)	0,551 (35)	1,587
		Cement Hoogoven I	Holanda	20-34	1,08 (43)	0,063 (2)	1,080 (43)	0,292 (12)	2,515
		Blastfurnace salg cemenet NL1	Holanda	20-34			0,680 (70)	0,287 (30)	0,967
		Blastfurnace salg cemenet NL2	Holanda	20-34			1,008 (75)	0,354 (25)	1,434

Fuente: SimaPro

(fuente: adaptado de AGUADO et al, 2004)

Fuente: INTRON

Estos consumos energéticos, presentan cargas ambientales que se manifiestan, principalmente, en forma de gases emitidos a la atmósfera como dióxido de carbono (CO_2), óxidos de nitrógenos (NO_x) y dióxidos de azufre (SO_2), con los efectos correspondientes en el medio ambiente. Al mismo tiempo, se originan otros efectos inherentes al proceso de producción, como las reacciones químicas de descarbonatación de la caliza en el horno de producción del clinker, proceso que genera CO_2 , y otras sustancias, como SO_2 , material particulado, algunos metales pesados y compuestos volátiles.

Es sabido que la contribución de la industria cementera en las emisiones de CO_2 es significativa, tanto por las reacciones de descarbonatación, como, por el uso de combustibles fósiles, situándola en primer lugar de las fuentes no energéticas (HOUGHTON, et al, 1996, apud CARDIM, 2001). En valores absolutos, esa contribución a las emisiones de CO_2 en el ámbito mundial, se sitúa en el entorno del 7 % del total (CIDIAC, 2000, apud Cardim)

La experiencia española señala que el 59 % de las emisiones de CO_2 corresponden a reacciones químicas, producidas en la fabricación del clinker; el 35 % al consumo de combustibles en dicha etapa y el 6 %, al consumo de energía en todas las etapas (OFICEN, 1996).

Según Glavin & Munch-Petersen, (2000), las emisiones relacionadas con la producción de cemento son pequeñas, entre 0,1 y 0,2 t, por tonelada de cemento producido; sin embargo, la cantidad total producida es tan grande que las cifras absolutas son significativas. De la producción total de cemento y hormigón en Dinamarca, el total de emisiones de CO_2 es de de 600.000 – 1.200.000 t por año; esto corresponde aproximadamente al 2 % del total de emisiones de CO_2 de Dinamarca.

Según el Inventario Nacional de Emisiones (MVOTMA, 2010), en Uruguay, el sector Procesos Industriales generó, en el año 2004, el 5,8 % del total de las emisiones de CO_2 nacionales. Las mismas fueron generadas, principalmente en el proceso de fabricación de cemento Portland (91,8 % del sector), específicamente en la etapa de producción del clinker, resultando emisiones de 291 kton de CO_2 y 170 toneladas de SO_2 (40%).

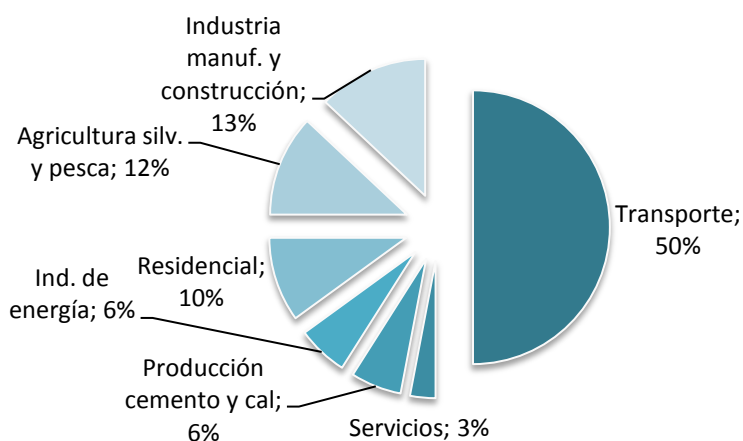


Figura 90: Emisiones de CO_2 equivalente (GEO, 2008)

5.3.4. Consideraciones generales

Del proceso de fabricación, resultan dos productos: el clinker y el cemento; la materia prima básica para fabricar el clinker, es el carbonato de calcio, que es obtenido, mayoritariamente, de la piedra caliza o de margas, que son una combinación de piedra caliza y arcilla. El proceso productivo consume gran cantidad de combustibles fósiles. En estos últimos años, las fábricas de cemento, han reducido el consumo de recursos naturales, por tonelada de producto, ganando en eficiencia en el proceso productivo. Esto se ha logrado, con la incorporación de subproductos, como materia prima del clinker, mediante adiciones en la fabricación de cemento; por la sustitución de combustibles fósiles por alternativos, y por la aplicación de innovaciones tecnológicas, que permiten mejorar la eficiencia energética de todo el proceso industrial (CIMENT CATALÀ, 2007).

Si se logra, además, que los materiales nunca salgan del ciclo técnico industrial, para no perder su condición de recursos, volviendo a introducir en el sistema de producción los materiales recuperados al final de la vida útil del edificio, comenzaría a desaparecer el concepto de residuo, cerrando el ciclo de los materiales. El proceso de gestión adecuado, de los materiales, durante los sucesivos cambios de organización que éstos experimentan, a lo largo de su ciclo de vida, se lograría, asegurando la cadena de custodia en la responsabilidad de los materiales involucrados (WADEL, 2001).

5.3.5. La industria del cemento en Uruguay

El cemento es el material hegemónico en la construcción civil nacional, por ser básico en la producción del hormigón. En Uruguay existen tres empresas que elaboran el 100% del cemento: ANCAP y Cementera Artigas, el 95 %, y la Compañía Nacional de Cemento, el 5%, a partir de la molienda de clinker adquirido a terceros.

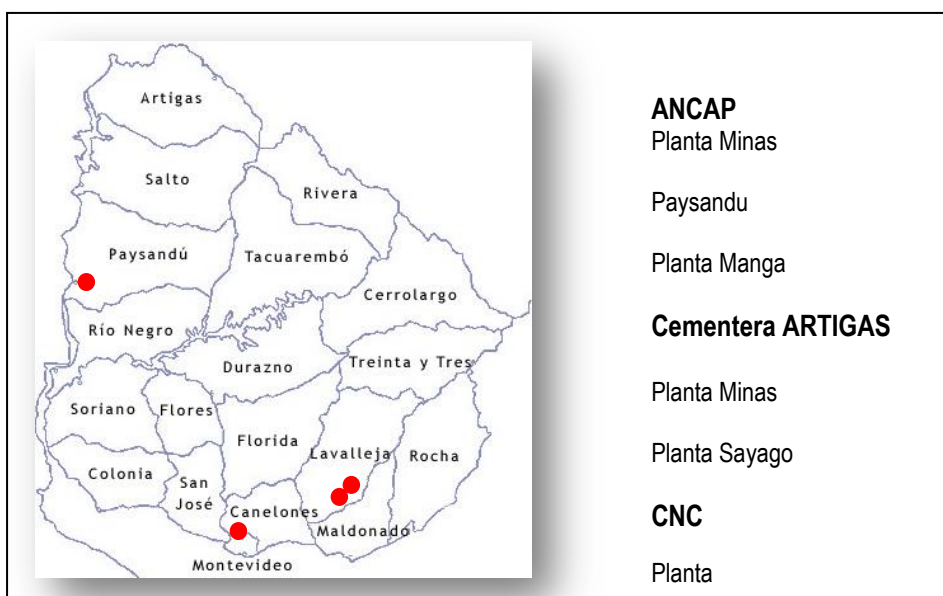


Figura 91: Departamentos con producción de cemento

ANCAP: Administración Nacional de Combustibles, Alcohol y Portland

Planta Manga:

- Almacenamiento y expedición
- Instalaciones y equipamiento básico del año 1968

Planta Minas:

- Producción, almacenamiento y expedición
- Capacidad de producción 240.000 toneladas de cemento por año con 2 hornos
- Instalaciones y equipamientos del año 1956 y 1963

Planta Paysandú:

- Producción, almacenamientos y expedición
- Capacidad de producción: 290.000 toneladas de cemento por año con 2 hornos
- Instalaciones y equipamientos del año 1963 y 1976

ANCAP realiza la comercialización del Portland a través de Cementos del Plata, empresa del grupo ANCAP, creada con este fin. Sus principales objetivos son:

- Compra, comercialización y distribución de Cemento, clinker y otros productos elaborados por la División Portland de ANCAP, en todas sus variantes.
- Producción, compra y comercialización de cementos y materiales afines; los productos comercializados son:
 - Cemento Portland CPN_ 40, en bolsas de 50 kg
 - Cemento Portland CPN _ 40, en bolsas de 25 kg
 - Cemento Portland CPN _ 40, granel
 - Cemento Portland CPF _40, en bolsas de 50 kg
 - Cemento Portland CPF_ 40, granel
 - ANCAPLAST, en bolsas de 40 kg

Cementos ARTIGAS

Planta Minas:

- Producción de clinker para la elaboración de Cemento Portland
- Instalaciones y equipamiento año 1997
- Molienda de coque, como combustible para el funcionamiento del horno de clinker

Planta Sayago:

- Molienda de clinker
- Embolsadora y paletizadora
- Instalaciones año 1996

5.3.6. Proceso de producción y caracterización de la industria

Existen dos sistemas de fabricación de cemento Portland, que se denominan proceso por “vía húmeda” el proceso por “vía seca”, los que difieren en la preparación de la materia prima, o crudo, que penetra al horno. El proceso vía seca tiene un consumo específico de calor más bajo, comparado con el de vía húmeda, que, además, produce grandes volúmenes de gases de combustión y vapor de agua.

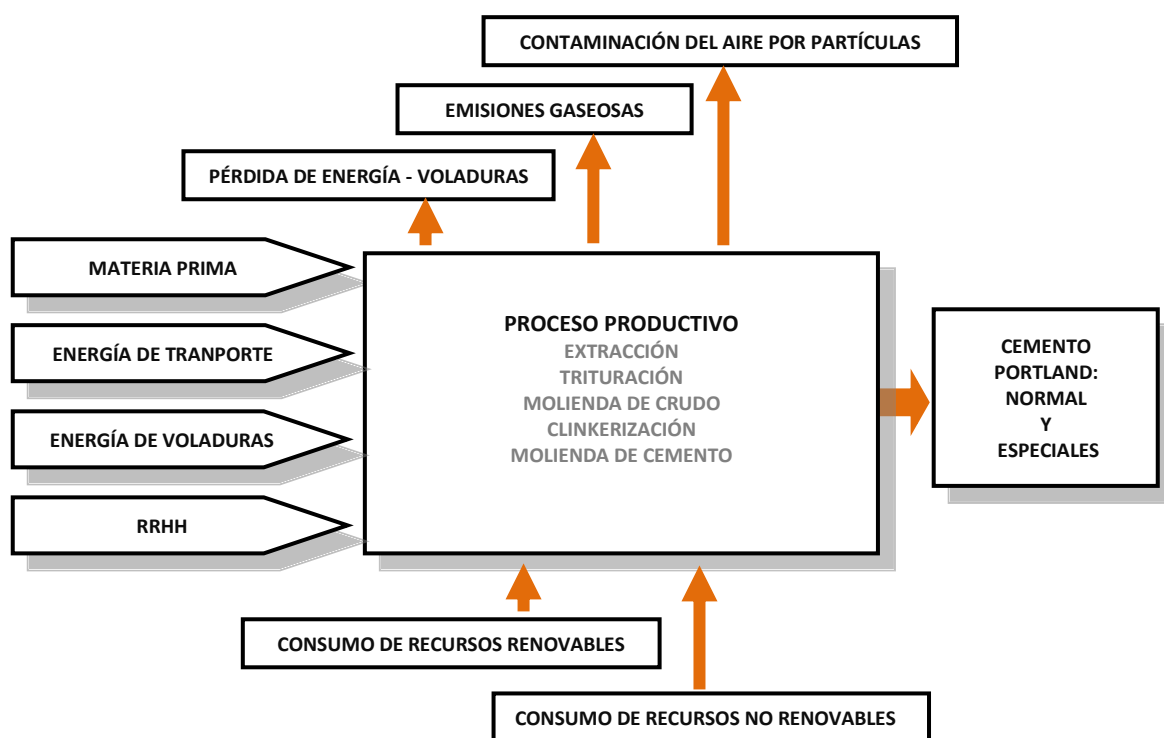


Figura 92: Insumos y pérdidas en la producción del cemento Portland (adaptado de GRIGOLETTI, 2001)

Para el estudio de la EI, en la producción del cemento, se realizó el análisis de la plantas de producción de Cementos ARTIGAS, CA, cuya planta de producción de clinker se encuentra en Minas (figura 95), y la planta de cemento en Sayago Montevideo



Figura 93: Ubicación de la planta Cementos Artigas (GOOGLE EARTH, 2007)

El proceso de producción del cemento Portland, vía seca, se realiza de acuerdo a las siguientes etapas:

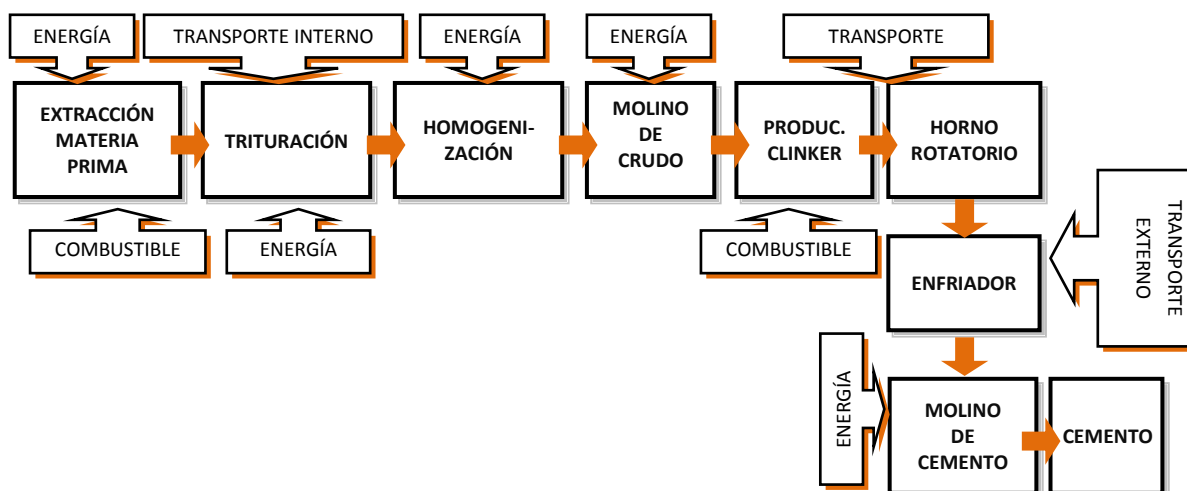


Figura 94: Etapas e insumos consumidos en el proceso de producción del cemento

Extracción de la materia prima: Las calizas y arcillas, materias primas fundamentales para la elaboración del cemento, se extraen de las canteras. En el caso de estudio, la piedra es extraída de la cantera Verdún, mediante procesos de voladura. El proceso de explotación es a cielo abierto y en forma de frentes de cantera por bancadas. La explosión de la cantera consiste en realizar perforaciones profundas, o barrenos, en el terreno, donde se introducen explosivos, que, al ser activado, generan una explosión, destruyendo el tamaño de las rocas. El material proveniente de las voladuras es cargado en tractores hasta el camión, para ser transportado hasta la planta de trituración. La cantera está en la misma planta.

Trituración: La materia prima extraída de la cantera es transportada hasta la boca de la trituradora donde comienza el proceso de transformación del mineral, reduciéndose el tamaño de las piedras hasta 80 mm.

Homogenización: desde la trituradora, la mezcla es conducida, por medio de cintas transportadoras, hasta la playa de acopio, donde, mediante el empleo de un equipo rascador, es homogeneizada su composición y es depositada en silos, para su posterior molienda.

Molino de crudo: este mineral, pre triturado y homogeneizado, es dosificado junto a otros minerales, a fin de obtener, la composición requerida, que forma una mezcla denominada “polvo crudo”, la cual alimenta a un molino de rodillo vertical, donde se produce la molienda de la mezcla, hasta lograr la finura adecuada y el secado de la misma, mediante recirculación de gases calientes.

Clinkerización: el material secado y triturado conforma la materia prima, que alimenta la producción del mineral llamado clinker. Para ello, se emplea un proceso de producción, denominado de “vía seca”, mediante el cual el polvo crudo ingresa por la parte superior de una torre, intercambiando calor a contracorriente con los gases provenientes del horno. Estos gases calientes poseen una temperatura de 1000 °C, a la salida del horno, y de 300 ° C, a la salida de la torre; este calor es cedido hacia el polvo que desciende por la torre, precalentando y descarbonatando al mismo.

Horno rotatorio: el polvo, en estas condiciones, ingresa a un horno rotatorio, de 4,10 m de diámetro y 58 m de longitud, donde, paulatinamente, se desplaza hacia zonas de mayor temperatura, y completa el proceso de descarbonatación, estableciendo las condiciones necesarias para la combinación de los elementos que los componen, y completando, de esta forma, una serie de reacciones químicas, bajo ciertas condiciones de temperatura, que darán lugar a la formación del clinker.

Enfriador: Este clinker, obtenido a altas temperaturas, cae, a la salida del horno sobre un enfriador, en el cual es lentamente desplazado sobre parrillas, a las que se les inyecta aire frío por debajo, realizando el intercambio de calor adecuado. Este aire suministrado, al enfriar el clinker, aumenta su temperatura de forma tal que es reutilizado, para el ingreso de aire caliente, requerido para la combustión de los combustibles empleados en el horno y para el secado del “polvo crudo”, en el molino vertical de rodillos.

Almacenamiento silos de clinker: el clinker así producido es almacenado en silos, o estoqueado en galpones, a fin de ser despachado mediante el empleo de trenes con vagones de carga, de 40 toneladas, hacia la planta de Sayago, donde se produce la molienda del clinker fabricado.

Molino de Cemento: para producir cemento en polvo, los nódulos de clinker son molidos, en molino de bolas el clinker, junto con otros minerales, en proporciones tales que permiten la fabricación de los distintos productos que componen el espectro comercial de la empresa, entre ellos Cemento Artigas.

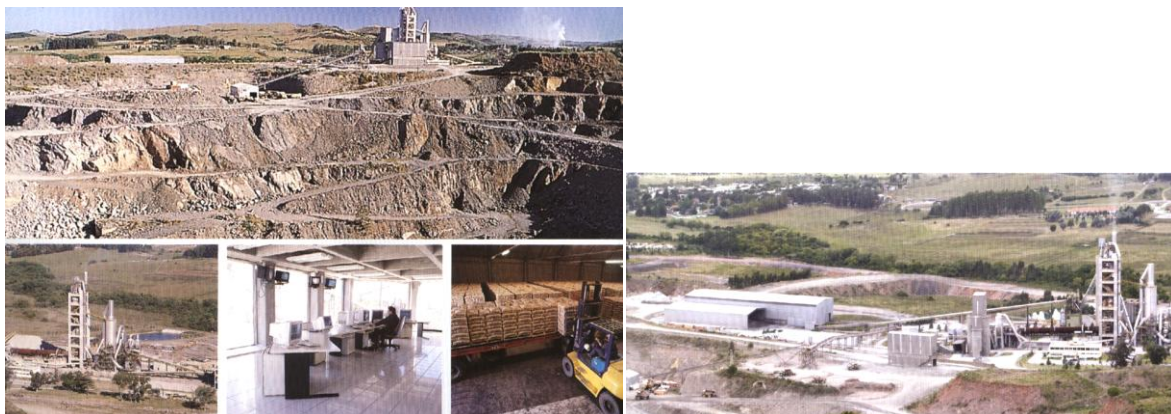


Figura 95: Planta de producción de clinker en Minas (CEMENTOS ARTIGAS, 2010)

5.3.7. Estimación de la energía incorporada en el cemento de producción nacional

Las informaciones utilizadas en el proceso de cálculo, para estimar la energía incorporada en la producción del cemento, fueron obtenidas en la planta, con la aplicación de un cuestionario de preguntas, que contenía preguntas referentes al consumo de energía, basado en el proceso productivo, descrito por un técnico de la planta.

El entrevistado fue un técnico del Departamento de Ingeniería de la empresa y los cálculos para estimar la energía incorporada consideran las informaciones obtenidas a partir del cuestionario y posteriores consultas vía mail, siendo, por lo tanto, dependientes de la calidad de los datos suministrados por el técnico.

En el proceso de cálculo fueron considerados: a) la explotación de la cantera, considerando los explosivos, b) el tractor utilizado en la cantera, c) el transporte de la caliza, en camiones, d) la energía utilizada en todo el proceso de producción del clinker, e) la energía eléctrica general de ambas plantas, f) el transporte del clinker a la planta de Sayago, en tren, g) la energía del Molino de la planta Sayago mineral.

5.3.8. Resultados obtenidos: cuantificación de los insumos energéticos utilizados

Los datos obtenidos de las dos ladrilleras fueron analizados y convertidos en MJ, para obtener el consumo por quilogramo de cemento y de clinker.

Los datos suministrados por la empresa fueron los totales por año, de los consumos energéticos discriminados en energía eléctrica y en combustibles. A estos datos se le agregó el dato del consumo del horno en la planta Minas, y el de los explosivos utilizados en la cantera.

A partir de los datos obtenidos de los insumos energéticos, la energía estimada fue convertida en poder calorífico. Esta conversión fue realizada según tabla 34:

Tabla 34: Valores de Poder Calorífico

ENERGÍA	PESO ESPECÍFICO (kg/m ³)	PODER CALORÍFICO (Kcal/kg)	FUENTE DATOS - PODER CALORÍFICO
Gasóleo	850	7.480	MTOP para trenes de carga
BOOSTER		520	Dato de la empresa
PESMUL		950	Dato de la empresa
URUANFO		840	Dato de la empresa

Para el transporte, el consumo energético adoptado es obtenido a partir de los valores de productividad de camiones de 2 ejes y 24 m³ de carga; según datos obtenidos son los que utiliza la empresa, agregándose, además, el consumo de los tractores utilizados en la cantera.

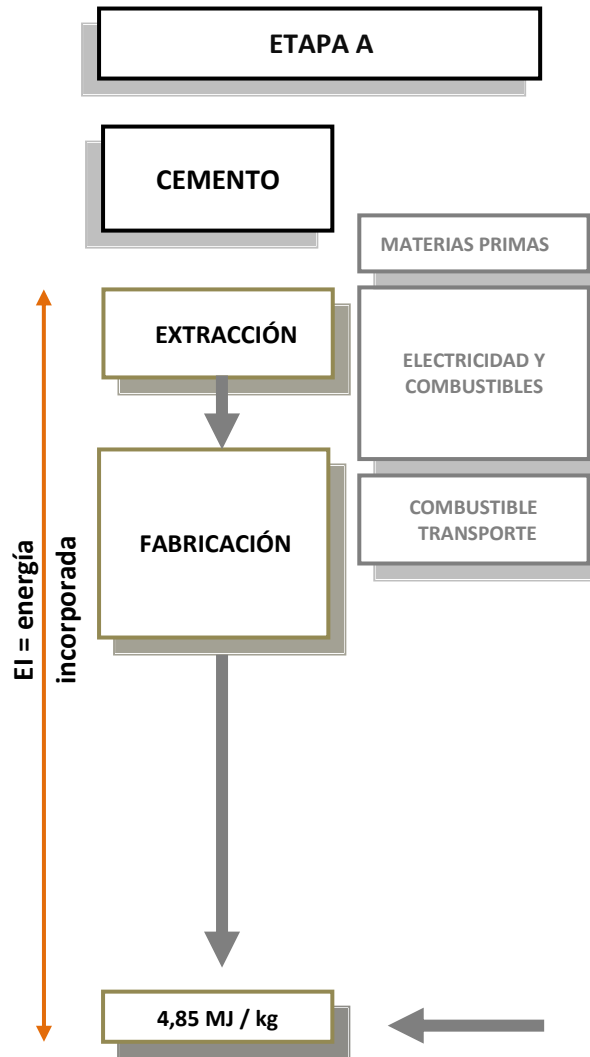
La figura 5.83, recoge los gastos totales de energía obtenidos en **CA**. El ítem energía eléctrica EE, incluye la energía general de las plantas de Minas y Sayago; el ítem combustible incluye los consumos de todos los equipos móviles de transporte, dentro de la planta, del horno y del transporte, de planta a planta.

La matriz energética del horno es:

- Carbón de coke
- Cáscara de arroz
- Aceites lubricantes
- Fueloil

No se obtuvo la información desde dónde se transportaba el combustible del horno, por lo que no fue considerado en la estimación de la **EI**.

Luego de obtenido los totales anuales de consumos energéticos, y sabiendo las toneladas producidas para ese año, se estimó la energía en MJ / ton, para luego obtener el dato en MJ / kg, de clinker y de cemento.



Ciudad :Minas - Montevideo		CA			
Producción anual 2008		500.555 toneladas de cemento 465.627 toneladas de clinker			
CONSUMOS ANUALES		AÑO 2008			
INSUMO	E (TJ)	E (MWh)	Poder calorífico	E (Kcal)	E (MJ)
Explosivos 100.000 kg			770 kcal/kg	77.000.000	322,384
Combustible	Minas	6,04436774			6.044.368
	Horno		830 Ktermias/ton		Ver ton
Energía eléctrica	Sayago	2,09004033			2.090.040
	Minas		34.279		123.404.400
Combustible transporte	Sayago		20.418		73.504.800
	Tren gasóleo 1.910 m ³			8.800 kcal / kg	1,42868 ¹⁰
TOTAL					205.372.789
INSUMO 1 TONELADA	Cantidad	Calor específico	E (Kcal)	E (MJ / ton Clinker)	E (MJ / ton Cemento)
Explosivos	0,21 kg	770 kcal / kg	162	0,68	0,68
Combustible	Minas			12,98	12,98
	Horno			3.475	3.475
Sayago	Sayago				4,49
	Minas			265,03	265,03
Energía eléctrica	Sayago				157,9
	M. Sayago				130,14
Combustible transporte	Tren gasóleo		28.655		119,97
TOTAL				3753,01	4165,51
TOTAL MJ / kgck					3,75 + 068 = 4,43
TOTAL MJ / kg cemento					4,17 + 0,68 = 4,85

MJ/ton
MJ / kg

Figura 96: Gastos totales de energía en CA

Los resultados finales de CA, son los que se muestran en la tabla 35:

Tabla 35: Valores obtenidos en CA

GL	Consumo energético kWh	Consumo energético MJ
1 tonelada de material	1.347	4.850
1 kg de material	1,35	4,85

La participación por insumo energético en la energía total consumida para GL es la que muestra la figura 97:

■ Combustible ■ Energía Eléctrica ■ Gasóleo

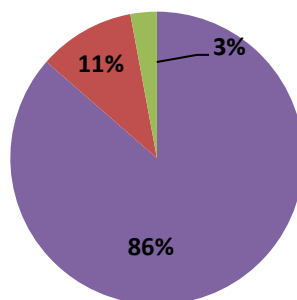


Figura 97: Participación por insumo en la energía total, consumida para una tonelada

Tabla 36: Energía necesaria para la producción de clinker y cemento

Nomenclatura	CLINKER		CEMENTO		Suma
	E térmica (MJ/kg)	E eléctrica (MJ/kg)	E térmica (MJ/kg)	E eléctrica (MJ/kg)	
1 kg Cemento Portland I	4,17	0,26	0,124	0,29	4,85
	86 %	5,4 %	2,6 %	6 %	100 %

5.3.9. Análisis de los resultados

5.3.9.1. Energía incorporada en el material

En la tabla 36, puede observarse que, desde el punto de vista energético (energía eléctrica + energía térmica), el mayor consumo corresponde a la producción del clinker, alcanzando el 91,4 % del total de la energía

consumida en el sistema. El valor obtenido de energía consumida, por kg de cemento, es de 4,85 MJ, lo cual está en el orden de los valores obtenidos en la bibliografía.

La energía eléctrica incluye la utilizada en las instalaciones y proviene de la red externa, que en nuestro país, el origen es hidroeléctrica o térmica, según la época del año. La energía térmica corresponde, principalmente, a la utilizada en el horno de fabricación del clinker, la que utiliza, en su, mayoría, recursos fósiles no renovables, como: carbón, aceites lubricantes y fueloil.

5.3.9.2. Emisiones de CO₂ según fuentes utilizadas

Las emisiones de gases se producen, básicamente, por: la energía consumida en el proceso, combustible utilizado en la obtención del clinker, y las reacciones químicas en el horno, que sufren las materias primas y el carbón, principalmente durante en la producción del clinker. Durante este proceso, se liberan a la atmósfera, al agua y al suelo, gran cantidad de gases y material particulado. Los compuestos liberados causan impactos ambientales, en mayor o menor grado, según la cantidad emitida.

Las emisiones más significativas durante el proceso son las emitidas por los gases CO₂, NO_x, SO₂ y material particulado.

Los resultados de las emisiones de CO₂ dependen del tipo de cemento, importando la cantidad del clinker que tenga el cemento, ya que la principal aportación de CO₂ se produce en la fabricación del clinker. Según Cardim, (2001), para los cementos tipo I, la emisión de CO₂ se sitúa en 800 gramos de CO₂ por kg de cemento, disminuyendo para otros tipo de cementos con menor cantidad de clinker.

La empresa **CA** tiene establecido un Sistema de Gestión Ambiental de acuerdo a la Norma ISO 14002:2004 en el que incluyen todos los aspectos que tengan repercusión sobre el ambiente.

Los gases que van a ser emitidos a la atmósfera son previamente enviados a una torre de lavado y enfriamiento de los mismos, donde se atrapa la mayoría de las partículas que lo componen, y, luego, son sometidos al pasaje por un electro filtro con una potencia de 90.000 y 110.000 voltios, entre cátodos y ánodos, que atrapa el 99,9% del material particulado que pudiera quedar remanente en los gases. Todo el material particulado es volcado nuevamente al proceso de fabricación de clinker.

Los gases provenientes del enfriador son tratados mediante el empleo de un ciclón, cuya eficiencia mínima es del 75 %, atenuando el contenido de polvo; los polvos provenientes del horno y los provenientes del enfriador son ingresados a la torre humidificadora y luego, en conjunto con los gases del molino, son tratados en el electro filtro. El material captado por el electro filtro se retira y se comercializa como fertilizante; el remanente es emitido por la chimenea a razón de una concentración en el entorno de los 50 g/Nm³

5.3.9.3. Comparación de resultados

La energía incorporada obtenida en el presente trabajo para la producción de cemento, es el que se muestran en la tabla 37:

Tabla 37: Energía incorporada en el cemento, obtenido en la investigación:

Datos obtenidos en el estudio de caso	MJ/kg	kWh/kg
CA	4,85	1,35

En la tabla 38, se muestran diversos valores encontrados, en la bibliografía internacional, de energía incorporada para el cemento:

Tabla 38: Energía incorporada en el cemento, datos internacionales

País	Fuente	MJ/kg
España	Cardim, 2001	4,27
Brasil	Tavares, 2006	4,20
Australia	Lawson, 1996; apud Manfredini, 2003	5,60
Brasil	Brasil 1982; apud Manfredini, 2003	3,82
Brasil	Guimaraes, 1985; apud Manfredini, 2003	4,04
Canadá	Cole & Rousseau, 1992; apud Manfredini, 2003	5,90
Suiza	Cole & Rousseau, 1992; apud Manfredini, 2003	4,90
Australia	Szokolay, 1997; apud Manfredini, 2003	7,92
Holanda	Constructio, 1996; apud Manfredini, 2003	5,80

Existe una variación entre los valores encontrados en la bibliografía de 4,04 a 7,92 MJ/kg para el cemento Portland

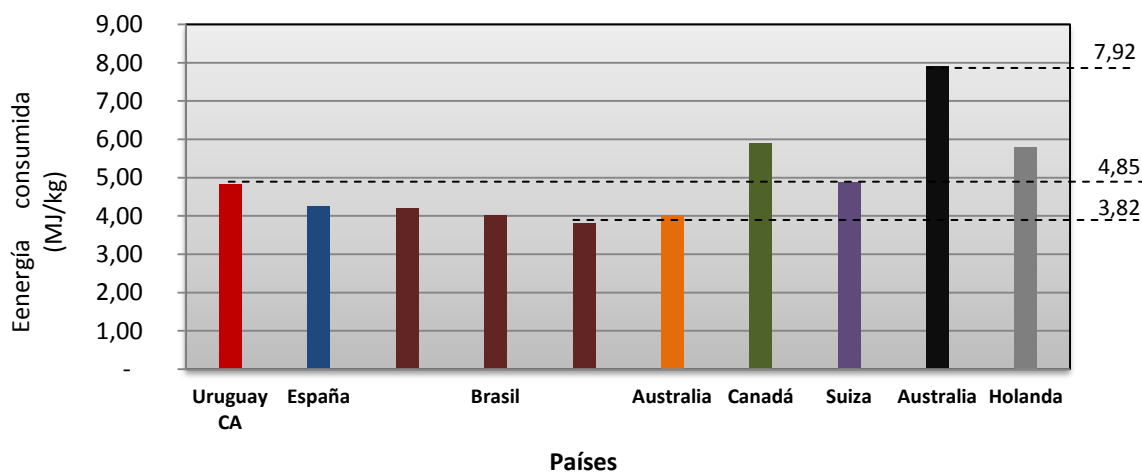


Figura 98: Gráfico comparativo entre los resultados obtenidos y resultados de bibliografía internacional

5.3.10. Conclusiones del EC-03

El principal recurso natural para la fabricación del cemento Portland es la caliza y su explotación es en la cantera a cielo abierto, teniendo una importante repercusión en el ámbito local circundante. Además de la alteración del paisaje, existe una contaminación por polvo, gases y ruidos, que repercuten de forma negativa.

El consumo energético proviene de la energía eléctrica (11 %), del gasóleo de transporte (3 %), y de la energía térmica (86 %), a base de combustibles fósiles, matriz energética del horno de la quema de materia prima.

La energía eléctrica, que representa el 14 % de la energía total, 553 MJ/t de cemento Portland, se reparte en los procesos de fabricación, resultando importante en las fases de trituración del crudo, cocción para transformar el crudo en clinker, y preparación del cemento en el molino.

Con respecto a las emisiones de gases GEI, las más altas son las de dióxido carbónico CO₂, seguidas de otras de menor importancia: óxidos de nitrógeno NO_x y dióxido de azufre SO₂.

En el proceso de producción del cemento, la obtención del clinker es el de mayor repercusión en todo el proceso. Es donde se produce el mayor consumo energético y la mayor parte de emisiones. En esta etapa, según datos de la empresa, se utilizan, como matriz energética: carbón, fueloil, lubricantes, y cáscara de arroz. Es aquí donde debería darse una mayor utilización de combustibles alternativos, especialmente la biomasa.

5.4. CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO

Luego de cuantificada la **EI**, en cada uno de los materiales estudiados, podemos hacer un análisis de los insumos energéticos, según sus fuentes (tabla 39):

Tabla 39: Consumo primario de energía por fuentes en materiales de estudio de caso

FUENTES		FUENTES NO RENOVABLES					FUENTES RENOVABLES			
		DIESEL TRANSPORTE	GAS NATURAL	FUELOIL	CARBÓN DE COQUE	ENERGÍA ELÉCTRICA	CÁSCARA DE ARROZ	VIRUTA	LEÑA	ASERRÍN
MATERIALES	LADRILLO									
	ACERO									
	CEMENTO									

De los tres materiales estudiados se verifica que en dos de ellos, la mayoría de los insumos energéticos, provienen de fuentes no renovables. El porcentaje de incidencia de cada fuente se muestra en la tabla 40:

Tabla 40: Consumo de energía (eléctrica y térmica), en MJ, en la producción de 1 kg de material

MATERIAL	E térmica Renovable (MJ/kg)	E térmica no renovable (MJ/kg)	E eléctrica (MJ/kg)	EI (MJ/kg)
1 kg Ladrillo LMP	1,68	0,013	0,12	1,81
	92,8 %	0,7 %	6,5 %	100 %
1 kg Ladrillo LGP	3,54	0,15	1,71⁻⁰³	3,7
	96 %	3,95 %	0,05 %	100 %
1 kg de Acero		9,94	4,64	14,58
		68 %	32 %	100 %
1 kg de Cemento Portland		4,294	0,55	4,85
		88,6 %	11,4 %	100 %

El insumo energético eléctrico, depende de la matriz energética del país, que como se vio, en el capítulo 3.4.2, en nuestro país, tiene una fuerte dependencia del petróleo y de la energía hidroeléctrica, según la variación del caudal hidrológico anual. Las emisiones, generadas en la obtención de dicha energía, no están en el entorno de las distintas industrias estudiadas, sino próximas a las centrales térmicas, que generan energía.

En el sector cerámico, la mayor cantidad de energía utilizada proviene de la quema de biomasa, especialmente de la leña; la utilización de esta fuente de energía de recursos renovables es favorable. El origen de los insumos energéticos deben estar localizado cercano a las industrias, para evitar el transporte de largo recorrido y, así, originar impactos producidos por los mismos.

En el sector del acero, la incidencia del transporte es significativa, ya que algunos de los insumos utilizados en el proceso recorren distancias de casi 2.000 km, generando emisiones de CO₂ a nivel local y regional.

Los procesos de fabricación de algunos materiales de construcción generan significativas cantidades de CO₂, independiente del generado por el uso de energía. Las emisiones más relevantes, según el Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero, (2004), son las generadas, principalmente, por la producción del cemento Portland, en la etapa de producción del clinker.

Según el IPCC (1995), son generadas 0,5 t CO₂ por tonelada de clinker producido, lo que, para Uruguay representaría alrededor de 369.617 toneladas de CO₂ producidos en la elaboración del clinker, por las dos empresas que lo producen.

Las emisiones más significativas, en los tres procesos productivos son las emisiones de CO₂, SO₂, NO_x, y material particulado.

Las emisiones de CO₂, tienen influencia en el calentamiento global, el efecto invernadero, por lo que tiene una influencia a nivel global.

Las emisiones de SO₂, tiene una incidencia a nivel regional, ya que la permanencia de sustancias acidificantes en la atmósfera conlleva al deterioro del medio ambiente.

Las emisiones de NO_x, al depositarse sobre el suelo, suelen desencadenar reacciones con otros elementos químicos presentes en el medio, causando desequilibrio de los ecosistemas receptores y resultando impactos al medio ambiente; el alcance es de efecto local.

Para las emisiones gaseosas de la planta de acero y cemento, se ha implementado sistemas de captación de los mismos, para evitar sean emitidos a la atmósfera.

El polvo constituye uno de los contaminantes del aire, de efecto local, caracterizado por la degradación física y visual del entorno y por la contaminación, por presencia de partículas sólidas, en el aire. Esto resulta objeto de las primeras medidas ambientales; así, las industrias del acero y del cemento han desarrollado sistemas de implantación de unidades filtrantes y control riguroso de emisión. No así la industria del cerámico, que no tiene ningún control sobre el material particulado.

6. LA ENERGÍA COMO INDICADOR DE LA SOSTENIBILIDAD

6.1. Introducción

Los impactos medioambientales analizados en esta investigación, a lo largo del ciclo de vida de los materiales son, el consumo energético, y las emisiones de CO₂ producidas por la fabricación de los materiales, el transporte y la ejecución de diferentes sistemas constructivos. Se han tomado estos dos indicadores de impacto ambiental global, asociados a la construcción, ya que son los más relevantes, indicadores del calentamiento global. La mayoría de las fuentes de energía tienen un impacto ambiental asociado y los materiales que proveen de esa energía suponen, casi siempre gran parte del total de materias implicadas en la producción de los materiales considerados; esto hace que, el consumo de energía primaria sea un factor informativo del impacto ambiental, que se puede asociar a cualquier proceso.

La evaluación ambiental, a partir del conocimiento de estos impactos, y de su incidencia en el medio local y global, asociado al uso de materiales en los sistemas constructivos, servirá de base sobre la cual se puedan articular las propuestas de mejora en la industria de la construcción (ÁLVAREZ-UDE et al, 2004). Uno de los objetivos más importantes de una construcción sustentable es que la **contaminación** resultante del consumo de energía sea mínima, para lo cual debemos:

- utilizar principios pasivos que reduzcan el consumo de energía del edificio,
- complementar las fuentes de energía convencionales con fuentes de energía renovables como la solar, la eólica y la derivada de la biomasa,
- y utilizar sistemas constructivos más eficientes y menos contaminantes

Los criterios convencionales para la selección de materiales y componentes, incluyen el costo y disponibilidad, la estética, y el rendimiento. Para elegir, de forma respetuosa con el medioambiente, los materiales y componentes de un edificio, es necesario sumar, a estos criterios, la energía incorporada y los impactos ambientales locales y globales. La elección de los materiales y componentes tiene un efecto importante sobre el rendimiento energético de la edificación, a lo largo de su ciclo de vida (CSCAE, 2008).

Los indicadores de impacto ambiental seleccionados, que han de permitir su cálculo, a través de instrumentos con base de datos en los resultados obtenidos en el capítulo 5, y con información ambiental referida a diferentes

materiales de la bibliografía internacional, se aplicará sobre un listado de materiales de construcción utilizados en las unidades funcionales elegidas.

Es necesario, para poder cuantificar los impactos, organizar los materiales de acuerdo al principal material que compone cada unidad funcional, determinando los tipos y cantidades de materiales empleados en la construcción de cada elemento constructivo, a partir de descripciones técnicas de los conceptos de obra. Para la realización de este estudio, se ha elegido una unidad funcional base, que resulta de la composición de un muro con alguno de los materiales estudiados anteriormente, en el capítulo 5. A partir de esta unidad funcional base, se han elaborado 3 unidades funcionales, que responden a unidades constructivas utilizadas comúnmente en la industria de la construcción, las cuáles son ejemplificadas con imágenes.

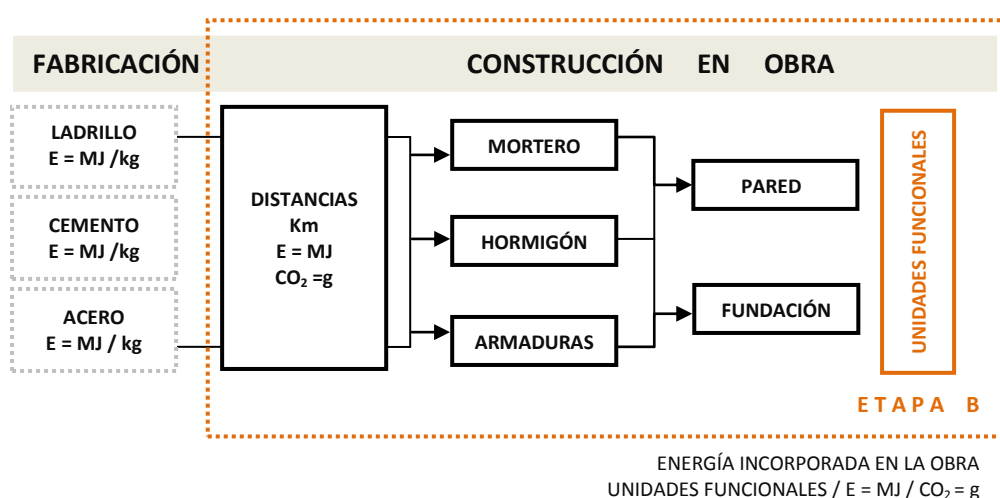


Figura 99: Unidades funcionales compuestas por materiales estudiados en Etapa A

Para el estudio, se ha considerado exclusivamente los materiales utilizados para la envolvente de una edificación de vivienda aislada: cimentación y muro; excluyendo cubierta, puertas, ventanas e instalaciones eléctricas y sanitarias. Determinado el listado de materiales básicos, se calcularon las cantidades de cada material empleado en cada sistema constructivo para 1 metro lineal, organizando la información disponible y convirtiendo las cantidades de medición, de los diferentes metrajes a quilogramos. Con este entendimiento, los impactos considerados en este estudio y los valores que han de permitir su cuantificación son: emisiones de gases GEI, medido a través del potencial de calentamiento global (GWP) de los diversos gases emitidos a la atmósfera ponderando los quilogramos de gases emitidos y transformándolos en quilogramos equivalentes de CO₂; energía primaria consumida en los diferentes sistemas constructivos, expresada en MJ.

Como Uruguay no cuenta con una base de datos sobre los diferentes impactos ambientales que provocan los materiales de construcción empleados en la edificación, se recurrió, para completar el estudio realizado en el capítulo 5, a la base de datos meta Base del Instituto de Tecnología de la Construcción de Cataluña (ITeC).

Tabla 41: Emisiones por material

Emisiones por kg de material	CO ₂ (kg)	NO _x (g)	SO ₂ (g)	Polvo (g)
Cemento***	0,410 – 0,355	0,96	0,43	10
Áridos	0,007			
Diesel	0,003			
Hormigón*	0,012	0,55	0,14	0,023
Acero**	1,950 t/t	0,003	0,004	15
Ladrillo	0,2			

(*fuente: MEDINA ROMERO, 2007; **fuente: LAWSON, B.; 1996; *** CARDIM, A.; 2001)

6.2. Unidad funcional base

La unidad funcional base, que será analizada en la presente investigación será la que surge de los materiales analizados en el capítulo 5. Se analizará un muro de ladrillo de campo, levantado con mortero de cemento y arena, y un muro de hormigón armado, definiendo el espesor del muro de hormigón, de manera tal que su comportamiento térmico sea igual al muro de albañilería.

En esta instancia prescindiremos de los demás elementos como fundaciones, cubierta, instalaciones, revestimientos, ya que partimos de la base que los demás elementos pueden ser comunes a las dos soluciones analizadas.

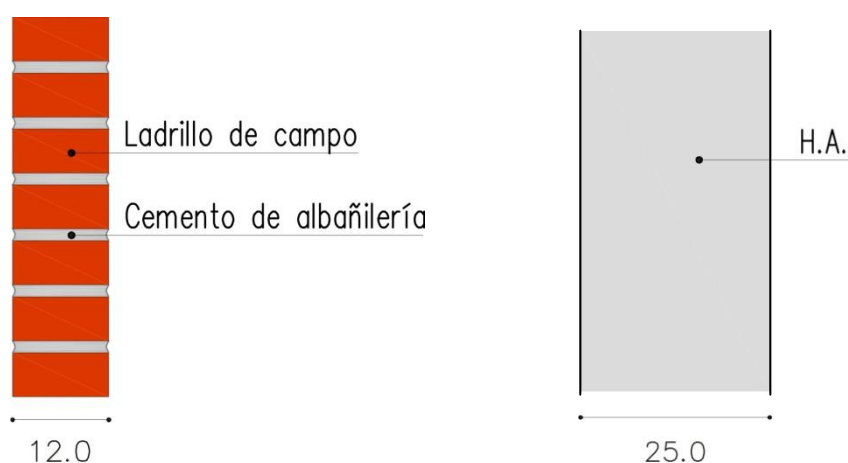


Figura 100: Unidades funcionales base con igual transmitancia térmica, $U = 2,82 \text{ W (m}^2\text{K)}$

Tabla 42: Estimación de EI, a partir de datos obtenidos para 1 m² de muro

UNIDADES FUNCIONALES SIMPLES		MURO LADRILLO e = 12 cm			MURO HORMIGÓN e = 20 cm			
		Cantidad x m2 (kg)	EI MJ/kg	EI MJ	Hormigón	Cantidad x m2 (kg)	EI MJ/kg	EI MJ
Ladrillos 60 unidades		120	3,7**	444	HA	625	1*	625
Mortero 5:1	Cemento	12	4,85**	58	Cemento	104	4,85**	504,4
	Arena	110	0,1*	11	Arena	178	0,1*	17,8
	Agua	10	0,05*	0,5	Grava	138	0,1*	13,8
TRANSMITANCIA U = 2,82 W(m ² .k)		TOTAL		514	Agua	53,5	0,05*	2,7
*fuente BEDEC PR/PCT					Acero	19,8	14,85**	294
** fuente de autor a partir de capítulo 5					U = 2,82 W(m ² .k)		TOTAL	833
Emisiones (kgCO₂/kg)								
Cemento				5	Cemento			42,6
Arena				8	Acero			38,6
Ladrillo				neutra	Áridos			
TOTAL MURO LADRILLO				12,7	TOTAL MURO H.A.			81,2

Para la solución **muro de ladrillo**, la EI es de 514 MJ/m² y para la solución **muro de hormigón**, la EI es de 833 MJ/m². Notamos que son menores las cantidades de energía requerida, así como la cantidad de emisiones de CO₂ generadas, para la obtención de los materiales que componen la unidad funcional muro de ladrillo, con respecto a la unidad funcional muro de hormigón.

Como vimos en el capítulo 5, la principal fuente de energía para la obtención del ladrillo es la biomasa (leña) cuyo valor, en los análisis de ciclo de vida (ACV), es neutro, por lo que las emisiones de CO₂ se asumen nulas. El cemento requerido para el levantamiento del muro, representa el 11 % del valor total de la EI, por metro cuadrado, por lo que podríamos decir que la energía incorporada en 1 m² de muro de ladrillo responde, básicamente, a la EI en la producción del material ladrillo, más el aporte de energía del transporte del material a la obra.

El ladrillo es un material que se produce en 14 de los 19 departamentos del país; cada región del país fabrica ladrillos, por lo que las distancias a recorrer son pequeñas, y la incidencia del transporte en la EI es despreciable.

Para la fabricación del cemento y acero, la fuente principal de energía proviene de recursos no renovables, lo que hace que el impacto ambiental sea mayor. La energía incorporada en 1 m² de muro de hormigón es 62 % superior a la EI del muro de ladrillo. La incidencia del cemento es de 60 % con respecto a la del acero, que representa el 35 %.

Con respecto a las emisiones de CO₂, el muro de hormigón produce 81,2 kg, y si aplicamos los valores de la tabla 41 (emisiones por material), tendremos para el hormigón: 344 g de NO_x; 88 g de SO₂ y 14 g de polvo, por metro cuadrado de muro.

6.3. Unidades funcionales constructivas analizadas

A partir de la unidad funcional base, se desarrollaron 3 unidades funcionales, representativos de sistemas constructivos utilizados en viviendas aisladas en la construcción uruguaya. Cada unidad funcional corresponde a 1 metro lineal de superficie vertical de cimiento y pared. Los tres sistemas constructivos elegidos están compuestos por (figura 101):

- UF01: doble pared de ladrillo, colocado a soga, sobre viga de cimentación de H.A., con cámara de aire y capa húmedica de arena y Portland con hidrófugo.
- UF02: doble pared de ladrillo: una pared colocada a soga y otra aplacada, sin cámara de aire, con capa húmedica de arena y Portland, con hidrófugo.
- UF03: pared de H.A. sobre viga de cimentación de H.A.

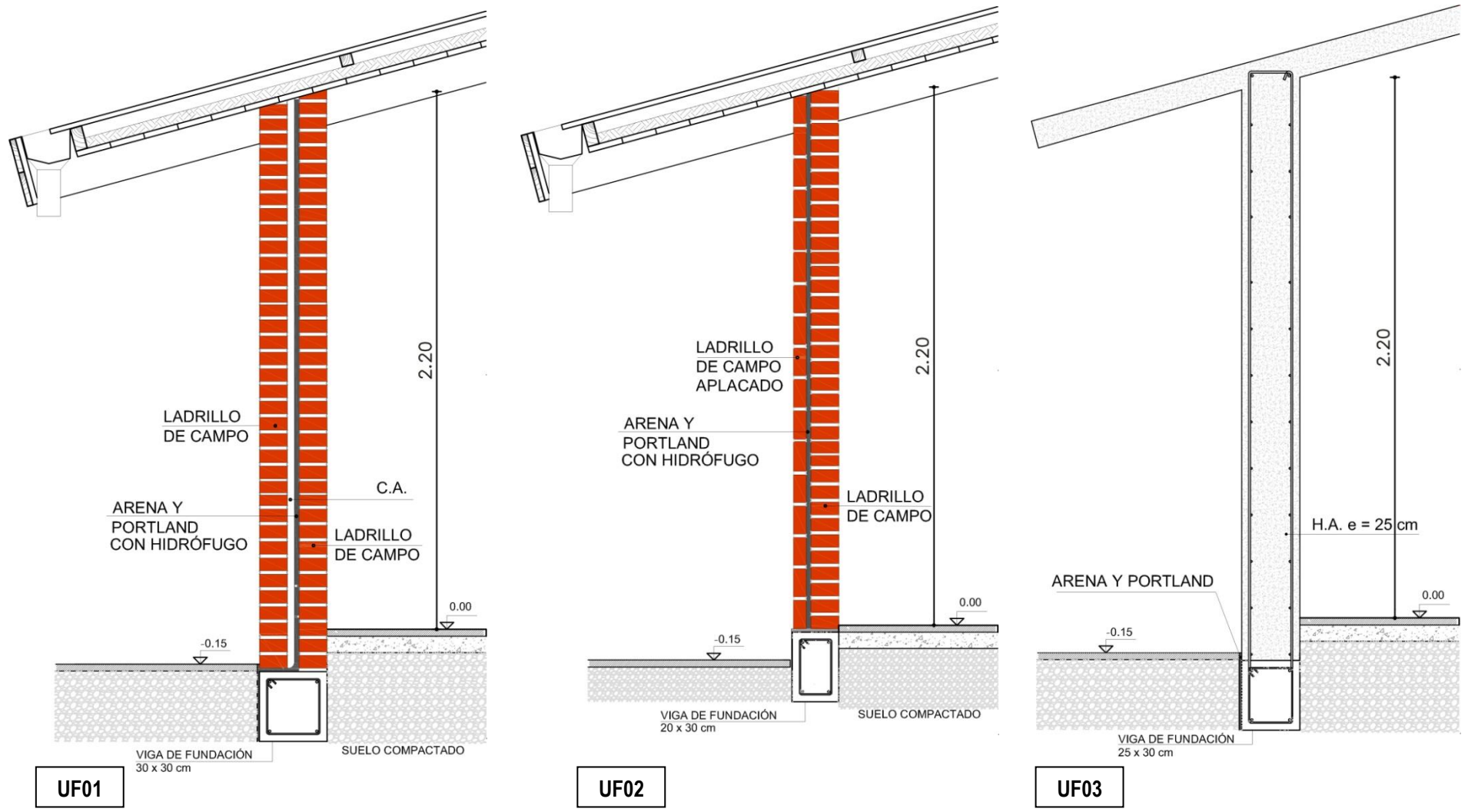


Figura 101: Unidades funcionales constructivas

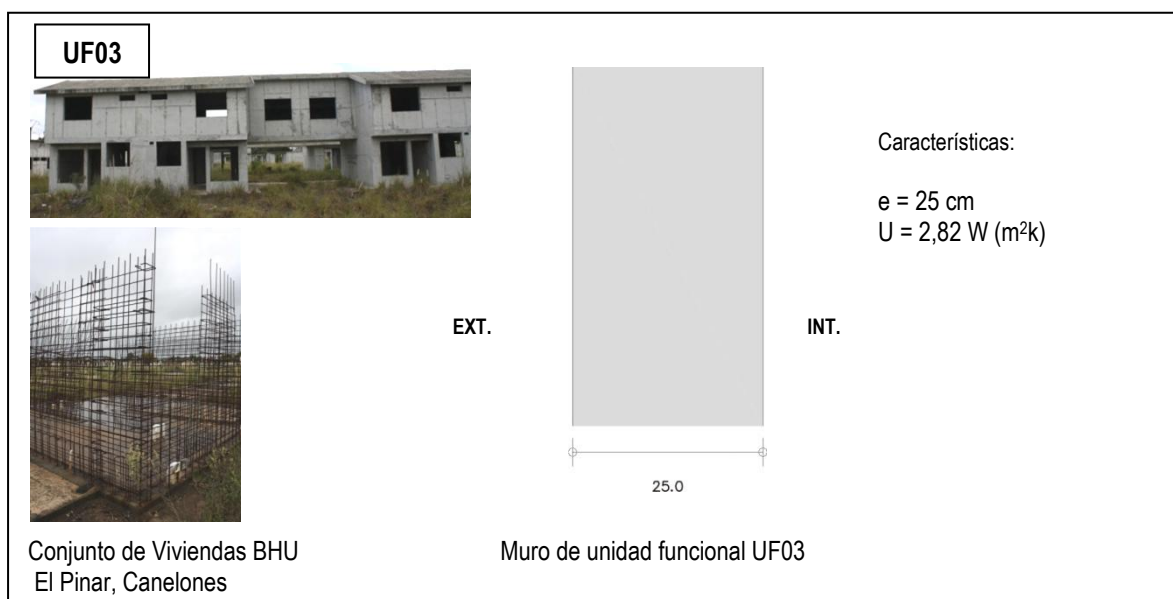
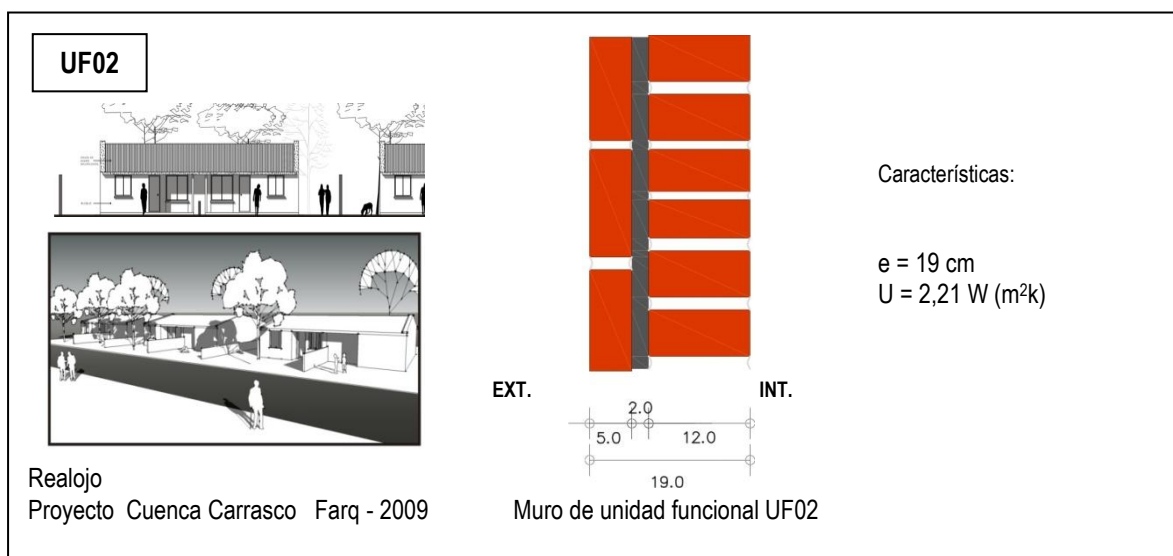
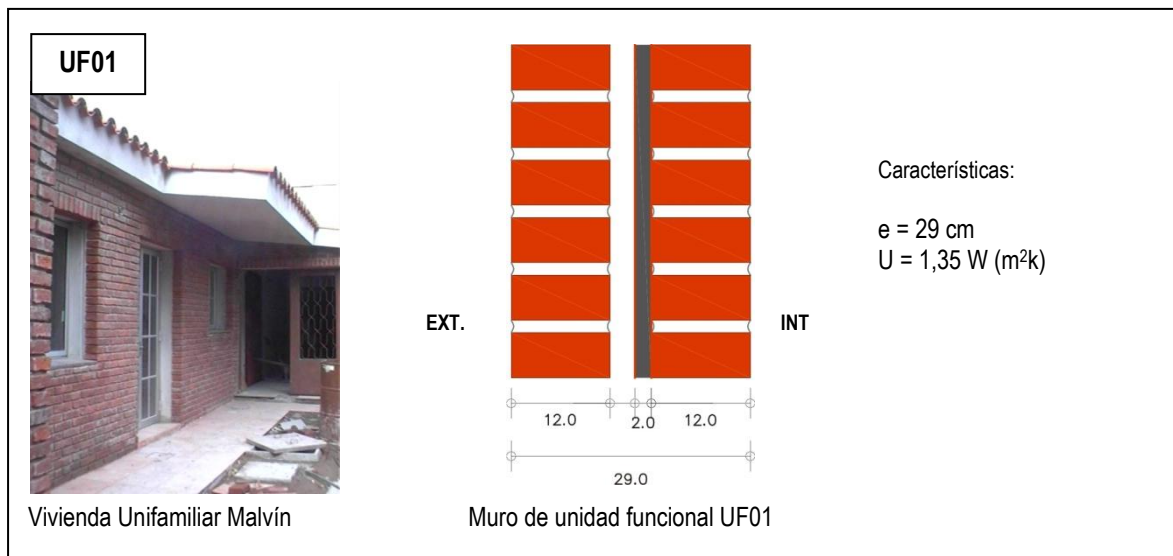


Figura 102: Ejemplos y características de los sistemas constructivos analizados

6.4. Análisis de resultados

Para el análisis se consideró el traslado de los materiales, desde su lugar final de almacenamiento, luego de producidos, a una obra *x*, ubicada en el departamento de Maldonado.

La cuantificación de los revoques de cemento y arena, y morteros de asentamientos, fueron obtenidos a partir de las recomendaciones dadas por la empresa CA y datos en base a la experiencia de una empresa constructora local, obteniéndose cantidades de cemento, de arena y agua en términos de kg / m².

Los cerámicos fueron considerados con las dimensiones de la LGP, de 12 x 24 x 5 centímetros, peso 2 kg y la dimensión de la junta 15 mm. De esta forma, se utilizó el valor de 60 unidades/m² de pared, cuando se coloca a soga y 28 unidades /m² de pared, cuando se colocó aplacado.

La cuantificación del H.A., fue, a partir de la dosificación para 1 m³ de hormigones, en kg según la tabla 43, y el acero fue estimado cantidad de kg, por metro lineal.

Tabla 43: Dosificación del Hormigón Común

DOSIFICACIÓN HORMIGÓN (kg/m ³)	Cemento	Arena	Grava	Agua
HC	417	713	1035	214

(fuente: FARQ, 2008)

Para la cuantificación de la EE utilizada en los equipos mecánicos en obra, como la hormigonera, los datos fueron obtenidos de la empresa constructora, basados en la experiencia.

El transporte de los materiales se considero desde el lugar de fabricación, según la ubicación de los estudios de casos del capítulo 5, a la obra ubicada en Maldonado. El consumo energético fue estimado para transporte carretero en camiones de 15m³, recorriendo distancias, de Montevideo a Maldonado (145 km), y de San Carlos a Maldonado (17 km), ida y vuelta. No fue considerado el transporte de la arena, ni de la grava, así como tampoco fue considerada la EE necesaria para la elaboración del encofrado del muro de H.A.

Tabla 44: Desglose por tipo de muro de cantidades de materiales de construcción usados por sistema constructivo en cimientos y muros para 1 metro lineal

CIMIENTOS Y MUROS PARA 1 METRO LINEAL						
MATERIAL	UF01 - Doble muro de ladrillo de campo con CA		UF02 - Doble muro de ladrillo de campo sin CA		UF03 - Muro de hormigón armado	
	kg	%	kg	%	kg	%
Acero	4	0,3	4	0,6	18	1,2
Agua	27	2,2	23	3,73	134	8,9
Arena	536	43,8	109	17,72	410	27,3
Cemento Portland	75	6,1	55	8,95	260	17,3
Cerámico ladrillo	528	43	387	63	-	-
Grava	56	4,6	37	6	678	45,3
SUB TOTAL	1.226	100 %	615	100 %	1.500	100 %
Diesel cemento 140 km	0,35 litros		0,4 litros		0,6 litros	
Diesel ladrillo 17 km	0,32 litros		0,24 litros		-	
EE (kWh)	0,25		0,25		0,5	

Tabla 45: Impactos ambientales asociados a la producción de los materiales de construcción usados por cada sistema constructivo en cemento y muro, su traslado a la obra y su ejecución

CIMIENTOS Y MUROS PARA 1 METRO LINEAL							
MATERIAL EI MJ / kg		Doble muro de ladrillo de campo con CA		Doble muro de ladrillo de campo sin CA		Muro de hormigón armado	
		Costo energético	Emisión de CO ₂	Costo energético	Emisión de CO ₂	Costo energético	Emisión de CO ₂
	MJ/kg	MJ	kg	MJ	kg	MJ	kg
Acero	14,58	58,3	7,8	58,3	7,8	262,4	35,1
Agua	0,050	1,35	-	1,15	-	6,7	-
Arena	0,1	53,6	3,75	10,9	0,76	41	2,87
Cemento	4,85	364,7	30,75	266,8	22,6	1.261	106,6
Ladrillo	3,7	1954	-	1432	-	-	-
Grava	0,1	5,6	0,4	3,7	0,26	67,8	4,7
Diesel cemento		15,75	0,06	18	0,07	27	0,11
Diesel ladrillo		14,40	0,06	10,8	0,04	-	-
TOTAL CO₂			42,8		31,5		149,4
EE		0,9		0,9		1,8	
TOTAL MJ		2.468		1.803		1.668	
MJ/ m² DE PARED		1.122		819		758	

Antes de analizar los resultados, es necesario mencionar que las unidades funcionales analizadas, utilizadas como sistemas constructivos en la industria de la construcción uruguaya, no responden a la misma transmitancia térmica, lo que significa que las envolventes tendrán diferentes comportamiento térmico, limitando más las pérdidas de calor, en la medida que la transmitancia térmica U sea menor.

La Reglamentación Térmica (RT), de la Intendencia de Montevideo, limita valores máximos de transmitancia térmica de elementos opacos en la construcción de vivienda nueva, en 0,85 W (m²K), cuestión que ha tenido

impacto positivo, a partir de su aplicación en el año 2010, en el comportamiento térmico de edificios residenciales. En el resto del país, no existe ninguna restricción de los valores de transmitancia térmica.

Tabla 46: Síntesis de resultados obtenidos

Unidad Funcional	UF01 – U = 1,35 W(m ² K)	UF02 U = 2,21 W(m ² K)	UF03 U = 2,82 W(m ² K)
Kg / m lineal	1.226	580	1.500
TOTAL CO ₂ (kg)	42,8	31,5	149,4
TOTAL MJ	2.468	1.682	1.668
MJ/m ² de pared	1.122	819	758

6.5. Análisis de impactos ambientales

6.5.1. Contenido energético

Hecha la aclaración, podemos comparar los resultados obtenidos para las tres unidades funcionales.

La unidad funcional UF01 presenta el contenido energético más elevado, entre todas las unidades funcionales, representado, por 1.222 MJ/m² de pared, incluyendo la cimentación, principalmente debido a la cantidad de cerámicos usados en el muro, representando el 79 % del valor. El sistema constructivo implica una cimentación mayor a la de las otras unidades funcionales, una viga de H.A., de 30 x 30 cm, las cantidades de cemento y acero son significativas, en la estructura de hormigón, en los morteros que unen los ladrillos y en la capa impermeable de arena y cemento. Esta unidad funcional tiene la ventaja que, es la que tiene una mejor transmitancia térmica, y, a pesar de que no cumple con la RT, está muy cerca del valor máximo. Si se coloca en la cámara de aire una placa de 2 cm de poliestireno, pasa a tener una transmitancia térmica de 0,807 W (m²K). Esto hará incrementar su valor energético, ya que para la fabricación de poliestireno se requiere de una gran energía, siendo un material sintético obtenido a partir del refinamiento del petróleo, con una EI de 40 a 100 MJ / kg. La sola aplicación de la RT no es sinónimo de eficiencia energética, ya que deberían incluirse otros factores que inciden, como la orientación de dicho paramento, entre otros.

La unidad funcional UF02 presenta un contenido energético medio, representado por 819 MJ/m², con las mismas características que la unidad UF01. La transmitancia térmica de esta unidad es de 2,21 W (m²K), más lejano al valor de 0,85 W (m²K). Con la colocación de una placa, de 3 cm de poliestireno, pasa a tener una transmitancia U = 0,83 W (m²K), cumpliendo con la RT. El incremento energético de esta nueva capa será mayor al anterior, ya que el espesor requerido para cumplir con la RT es de 1 cm más.

La última unidad funcional analizada, UF03, contiene el menor valor energético 758 MJ/m² pero posee la peor transmitancia térmica 2,82 W (m²k). Como se comparó en la unidad funcional base, para obtener la misma U, el muro de H.A., debió tener un espesor de 25 cm en relación al espesor del muro de ladrillo de 12cm. La

posibilidad de que la transmitancia térmica de la unidad disminuya a $0,85 \text{ W (m}^2\text{K)}$, es imposible de lograr aumentando el espesor del mismo, ya que llegaríamos a valores extremadamente grandes, siendo constructivamente inviable. Para disminuir la transmitancia térmica de la unidad UF03 se deben agregar más capas al sistema constructivo: una placa de 3,5 cm de poliestireno, más una placa de yeso, de 1,2 cm, para así lograr una transmitancia térmica de $0,82 \text{ W (m}^2\text{K)}$. Esto hace que el valor energético se vea incrementado, ya que a la **EI** del muro, se le debe incorporar el valor energético de dichos materiales: 40-100 MJ / kg del poliestireno y 3,3 MJ / kg del yeso. Las cantidades de cemento y acero son significativas, representando, el cemento, el 76 % y, el acero, el 16 % del valor energético.

Podemos decir, que las dos unidades funcionales compuestas por ladrillos, a pesar de tener mayor consumo energético, tiene un funcionamiento térmico mejor, y ofrecen menos aportes térmicos al aire ambiente interior de las viviendas, mientras que, la unidad funcional de HA proporciona mayores ganancias térmicas al interior de la vivienda, incrementando el sobrecalentamiento del aire interior en los meses de verano y el enfriamiento en invierno, lo que repercute en el bienestar de los habitantes y en la energía operacional de la vivienda.

Las cantidades de masa por unidad de área de pared (kg/m^2) se discriminan en la tabla 47:

Tabla 47: Consumo de material por metro cuadrado de pared para cada unidad funcional

UNIDAD FUNCIONAL	Kg/m^2 pared
UF01	557
UF02	279
UF03	682

Se puede constatar las diferencias de cantidad de masa entre las 3 unidades funcionales, observándose que las unidades funcionales exigen materiales con mayor o menor masa, y que la unidad UF02 presenta los valores más bajos. Las unidades funcionales compuestas por ladrillos requieren una mano de obra menos calificada, lo que posibilita la utilización de estas unidades funcionales en la autoconstrucción o en cooperativas de viviendas de ayuda mutua, donde la construcción es desarrollada por los mismos integrantes de la cooperativa, sin tener capacitación previa.

6.5.2. Emisiones de CO_2

Las emisiones de CO_2 en la realización de la unidad funcional UF03 son elevadas, respecto a la emisión de las unidades funcionales UF01 y UF02.

En el caso de las unidades funcionales UF01 y UF02, la energía del proceso de producción proviene de la biomasa, por lo que las emisiones de CO₂ se asumen nulas. Los otros materiales que componen el sistema como el cemento, para la barrera húmeda, levantamiento del muro y cimentación, y el acero para la cimentación representan el 90 % de los kg de CO₂ emitidos por la unidad UF01 y el 96 % de los kg de CO₂ emitidos por la unidad M02. Las emisiones de CO₂ de ambas unidades funcionales, son bajas, 19,45 y 14,3 kg / m².

La unidad funcional UF03, produce 149,4 kg, y si aplicamos los valores de la tabla 41 (emisiones por material), tendremos para el hormigón: 375 g de NO_x; 95 g de SO₂ y 15,7 g de polvo, por metro cuadrado de muro.

6.5.3. Resultados aplicados a una tipología de vivienda

A partir del área total estudiada, 2,2 m², para cada unidad funcional, se puede calcular el contenido energético total de las paredes, con su cimentación, para una vivienda, con la simple multiplicación matemática del valor del contenido energético por la cantidad de metros lineales de pared, que tenga la vivienda en estudio.

Analizando el ejemplo presentado: Proyecto Cuenca Carrasco, las viviendas son de 52 m², con dos dormitorios.

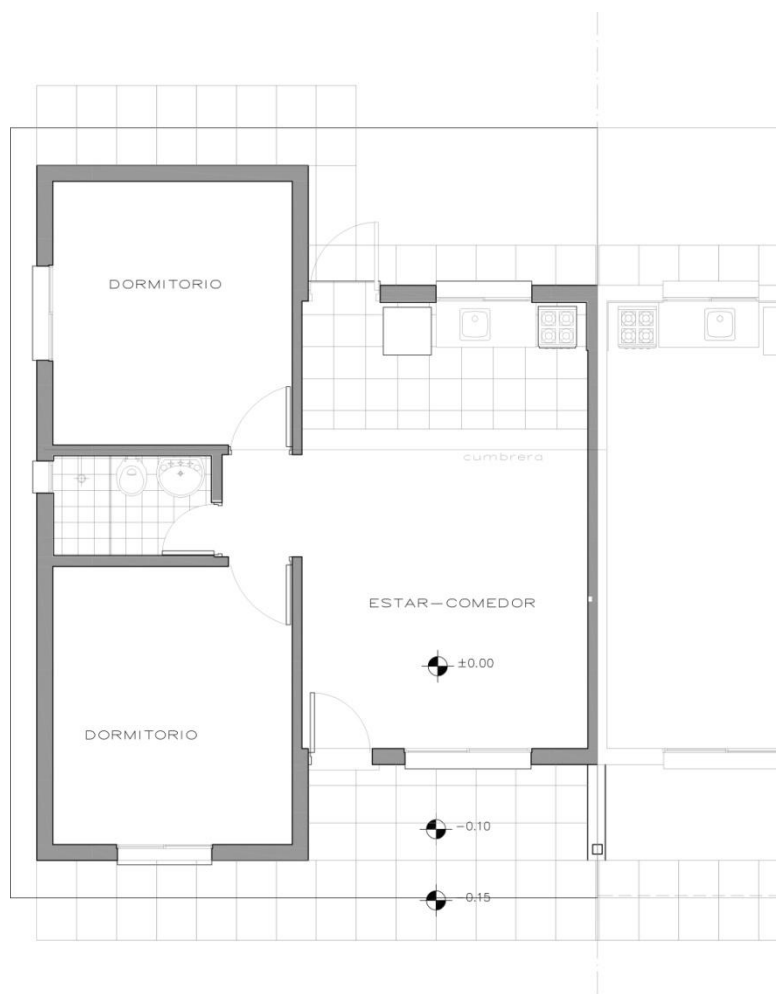


Figura 103: Tipología Proyecto Cuenca Carrasco (equipo Farq, UR. 2009)

El consumo energético de la envolvente exterior descontando las aberturas, es el de la tabla 48:

Tabla 48: Comparación de los consumos energéticos, por metro cuadrado de vivienda

UNIDAD FUNCIONAL	MJ total paredes	MJ/m ² de pared	MJ/m ² de superficie de vivienda
UF01	58.615	1.122	1.127,2
UF02	42.821	819	823,5
UF03	27.740	758	533,5

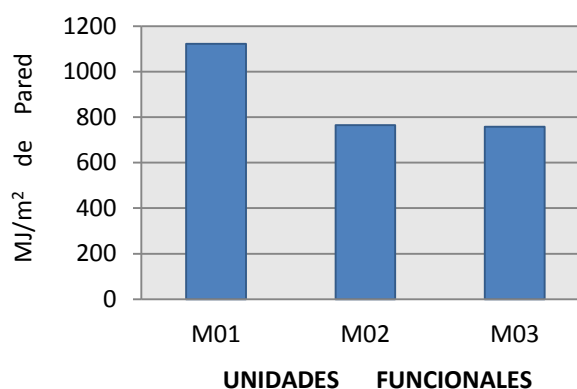


Figura 104: Comparación de los insumos energéticos, por metro cuadrado de pared para cada Unidad Funcional

6.6. Conclusiones del capítulo

En este capítulo se presentaron los resultados obtenidos en la etapa B de la metodología expuesta en el capítulo 4.

En general, comparando las unidades funcionales en términos energéticos, se puede observar que la unidad funcional UF01 presenta mayor contenido energético y la unidad funcional UF03 el menor. A pesar de esto las emisiones de CO₂, otro indicador analizado, son mayores para la unidad funcional UF03.

Podemos afirmar que en base a los datos obtenidos en la etapa A, los principales materiales de construcción responsables por los mayores contenidos energéticos son el cemento y el acero, el H.A.

Para poder comprender los datos obtenidos, a partir de las tres unidades funcionales, debemos comparar los resultados con los obtenidos en estudios similares en el país, lo cual resulta difícil, ya que en nuestro país no existen este tipo de estudios; o con otros usuales en otras regiones geográficas. Intentando tener algún valor de

referencia se compararon los resultados, con los datos de Sperb (2000), y Kuhn (2006), resultados de sus tesis de Maestría.

Los contenidos energéticos, obtenidos en sus investigaciones, específicamente para el subsistema de paredes, el valor global calculado es de 50.253,24 MJ, obtenido por Kuhn (2006) y 52.475,56 MJ, obtenido por Sperb (2000). Al considerar el consumo de energía por unidad de área construida, el valor obtenido por Kuhn, es 1.001 MJ y los obtenidos por Sperb, 919,28 MJ – 935 MJ.

Los valores calculados para el prototipo Cuenca Carrasco, según las diferentes unidades funcionales, está próximo al valor más alto, obtenido por Sperb (2000), para la UF01 (58.615 MJ) y por debajo para las UF02 (42.821 MJ), y la UF03 (27.740 MJ) . Considerando el consumo de energía por unidad de área construida, los valores son menores, que los obtenidos por las autoras; es los casos de UF02 (823,5 MJ/m²), y UF03 (533,5 MJ/m²); y el valor de la UF01 es cercano pero más alto (1.127,2 MJ/m²)

7. CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES FINALES

En el presente capítulo se exponen las conclusiones resultantes del desarrollo de la investigación, a través de las cuales se responde a los objetivos propuestos en ella, y las sugerencias para la realización de futuros trabajos.

El **objetivo principal** de la investigación fue, **a partir del análisis de diferentes tecnologías, identificar la mejor opción constructiva, teniendo en cuenta su consumo energético, para una edificación más sustentable.** El alcance de la investigación fue el estudio de los impactos relativos al consumo de energía, que permitieron evaluar el impacto ambiental del ciclo de vida de las edificaciones, desde la cuna hasta la obra, mediante la estimación de consumos energéticos, permitiendo presentar índices de energía incorporada.

El desarrollo de la investigación se dividió en tres fases: la comprensión del problema, identificando la laguna de conocimiento, el desarrollo de la investigación, y las conclusiones.

La **revisión bibliográfica** refleja una creciente tendencia de investigaciones en temas ambientales que intentan cuantificar los diferentes impactos producidos por la industria de la construcción. A pesar de ello, el sector de la construcción está retrasado con respecto a otras industrias; el ciclo de vida de una edificación, entendida como producto, no está aún explicitado, además de ser es un sector donde confluyen una gran cantidad de agentes productivos, lo que dificulta su estudio. Uruguay no dispone de datos específicos de costos energéticos en la producción de materiales de construcción, por lo que esta investigación presenta las bases para la elaboración de una base de datos de **EI** en materiales de producción nacional, para tres casos concretos: ladrillo, acero y cemento.

El **desarrollo de la investigación** tuvo dos etapas A y B. **La etapa A** es desarrollada en el capítulo 5, y responde a los **objetivos secundarios.**

En el capítulo 5, se estimó la energía incorporada de materiales de construcción de producción nacional. Se realizaron tres estudios de casos: ladrillo, acero y cemento. Se **pudo identificar el consumo energético** en cada una de las etapas del proceso productivo, obteniéndose un valor de energía incorporada para cada material, los cuales fueron comparados con valores de la bibliografía internacional. Los valores de energía incorporada obtenidos, para cada material, están dentro del rango de valores obtenidos en otros estudios de

similares características. Se identificaron los diferentes **impactos ambientales** que ocurren durante el proceso productivo de cada material.

En términos generales, los impactos desarrollados en esta investigación, pueden ser caracterizados en cada etapa del ciclo de vida de la producción de cada uno de los materiales analizados. Con respecto a cada uno de estos impactos, fueron determinados principios ambientales básicos, los cuales representan directrices a ser considerados con el objetivo de minimizar impactos ambientales. La elección de materiales, a partir de principios ambientales, puede estimular a la industria a la producción de materiales más sustentables.

El planteo del estudio de los materiales y sistemas constructivos desde la necesidad del cierre de los ciclos de materiales, combinando con un análisis de ciclo energético, permitió comprobar cómo el cierre del ciclo de los materiales actúa directamente sobre la reducción de las emisiones de CO₂ y el consumo de energía, entre otros impactos ambientales.

De los tres materiales caracterizados, el ladrillo es el que produce menor impacto ambiental ya que consume menos energía en su producción, y, las emisiones de CO₂, producto de la combustión de la biomasa, se suponen nulas. La producción de ladrillo, tiene el inconveniente que la extracción de la arcilla deja el suelo sin capacidad productiva, carente de nutrientes, alterando las escorrentías superficiales. El análisis de este problema es inconmensurable, y no se resuelve con una única y simple comparación energética. Por lo que, el análisis, debería involucrar una discusión mayor, que incluya la totalidad del problema.

El cemento presenta el mismo problema, ya que la caliza se extrae de las canteras mediante la explotación a cielo abierto, produciendo, además, alteraciones del paisaje, contaminación por polvo, gases y ruidos. Su producción consume cantidades significativas de combustible fósil no renovables.

En el sector del acero, más del 90 % de los insumos energéticos provienen de fuentes no renovables. La incidencia del transporte es significativa, lo que genera impactos a nivel local y regional, por emisiones.

Los resultados de la Etapa A, permitieron **en la etapa B, la evaluación del consumo de energía en elementos constructivos**, diferentes unidades funcionales, conformadas a partir de los materiales evaluados anteriormente. **El capítulo 6 responde al objetivo principal**. La evaluación ambiental de tres unidades funcionales constructivas, a partir, del conocimiento del consumo energético, y las emisiones de CO₂, permitieron **identificar las mejores soluciones, y su incidencia en el medio local**.

Las cantidades de energía requerida, y las emisiones de CO₂ generadas, para la obtención de los materiales que componen la unidad funcional base muro de ladrillo, son menores, con respecto a la unidad funcional muro de hormigón armado. La energía incorporada en 1 m² de muro de hormigón es 62 % superior a la **EI** del muro de ladrillo.

Analizando las unidades funcionales más complejas, las compuestas por ladrillos (UF01, UF02), presentan mayor contenido energético; a pesar de esto las emisiones de CO₂, son mayores para la unidad funcional hormigón armado. El análisis de las unidades funcionales nos confirma que los materiales de construcción responsables por los mayores contenidos energéticos son el cemento y el acero, el H.A.

Los resultados obtenidos en esta investigación, permiten iniciar una **reflexión sobre la construcción en Uruguay, respecto a sus variables ambientales**, aunque esta reflexión deba englobar cuestiones más amplias que las estrictamente ligadas al impacto ambiental de los materiales utilizados.

La elección de materiales y componentes constructivos tienen una gran incidencia, en el rendimiento energético de una edificación. En el análisis de las unidades funcionales, además de considerar la energía incorporada por metro cuadrado, deber tenerse en cuenta la posibilidad que éstas ofrecen de aprovechar la calefacción y refrigeración solar pasiva, ya que esto influirá en la eficiencia energética en el uso de la vivienda, lo que probablemente podrá compensar cualquier impacto resultante de la fabricación. Esto lleva a considerar, en el análisis, la capacidad del componente de limitar las pérdidas de calor a través del muro. La sola aplicación de la RT no implica eficiencia energética, sino que, además, debemos analizar la orientación y el soleamiento de la edificación. Esto, más la incorporación de otros elementos a analizar, permitirá realizar una mejor valoración, desde el punto de vista ambiental, de las unidades funcionales estudiadas.

7.1. Sugerencias para trabajos futuros

En el sentido de seguir con la línea de investigación que se desarrolló, se sugiere para futuros trabajos:

- profundizar en investigaciones de energía incorporada en otros materiales de construcción como el aluminio, madera y vidrio,
- generar índices de energía incorporada para diferentes unidades funcionales constructivas, que faciliten la elección a nivel de proyecto,
- relacionar la energía incorporada con la energía operacional, a lo largo del ciclo de vida de la edificación,
- caracterizar otros impactos ambientales involucrados en el ciclo de vida de la producción de materiales, como el consumo de agua.

REFERENCIAS

ABELENDIA, R. **Aratirí vista de cerca**. Brecha, Montevideo, 17 jun. 2011, año 26, N° 1334.p.2.

AFCA. **Historia del Cemento**. Disponible en:<
<http://www.cementosdeandalucia.org/index.php?cPath=historia&op=2>>. Acceso: 29 octubre, 2011.

AGUADO, A; JOSA, A; CARDIM, A. **Fortalezas y debilidades de los inventarios de cementos para su empleo en análisis de ciclo de vida (ACV)** Artículo. In: Boletín de la Sociedad española de Cerámica y Vidrio, 43 (2), 2004. p. 587-590.

ALONSO, S; CRACIUN, M; de SOUZA, L; NISIVOCIA, E. **5 narrativas, 5 edificios**. MEC, 2ª edición. 12ª Bienal de Arquitectura de Venecia. Agosto, 2010 Montevideo. 210p.

ALVAREZ-UDE, L; CASANOVA, X; CUCHÍ, A; BALDRICH,X. Análisis de los materiales empleados en la edificación en la isla de Lanzarote desde una perspectiva medioambiental. La Caja Insular de Ahorros de Canarias. 2004. 134p. Disponible en: <http://legalidadurbanistica.org/files/Life_13_Control_Oferta_Alojativa.pdf>. Acceso: 21 octubre, 2011.

ARANA, M; GARABELLI, L. **Arquitectura Renovadora en Montevideo 1915 – 1940**. Fundación de Cultura Universitaria, Montevideo, 1ª edición febrero 1991; 2ª edición marzo 1995.

ARATIRÍ. **Proyecto Valentines**. Disponible en:< <http://www.aratiri.com.uy/proyecto-en-uruguay/minera-aratiri/>>. Acceso: 11 setiembre, 2011.

ARENAS CABELLO, F. J. **Los materiales de construcción y el medio ambiente**. Revista electrónica de derecho ambiental N°17 - ISSN 1576-3196. 2008. Disponible en:
 <http://huespedes.cica.es/aliens/gimadus/17/03_materiales.html>. Acceso: 11 marzo, 2011.

ARGÚELO MENDEZ, T.; CUCHÍ, A. **Análisis del impacto mabinetal asociado a los materiales de construcción empleados en las viviendas de bajo coste del programa 10 x 10**. Con Techo-Chiapas del CYTED. Informes de la Construcción, 2008. Vol. 60, 509p. Bibliografía: p. 25-34. ISSN: 0020-0883.

ARCHITECTURE 2030. **Energy**. Disponible en: <http://architecture2030.org/the_problem/problem_energy>. Acceso: 9 abril, 2011.

ARTUCIO, L. **La nueva arquitectura se instala 1918 – 1933**. Edición Nuestra Tierra, Montevideo. In: 5 Montevideo y la Arquitectura Moderna. 1971. p. 10-25

AUGENBROE, G.; PEARCE, A. **La construcción sostenible en los Estado Unidos de América**. CIB-W82 Informe, 1998.

BAIRD, G; ALCORN, A; HASLAM, P. **The energy embodied in building materials – updated New Zealand coefficients and their significance**. IPENZ Transactions, 1997. Vol. 24, N° 1/CE. Bibliografía: p 46-54.

BERTONI, R.; ECHINOPE, V.; GUDIOSO, R., LAUREIRO, R.; LOUSTAUNAU, M.; TACKS, J. **La Matriz Energética: una construcción social**. CSIC, UDELAR, 2011. 198p.

BERTONI, R. **Aratirí: ¿suma o resta?** Brecha, Montevideo, 17 jun. 2011, año 26, N° 1334.p.5.

BOLOGNA, A.; RODRIGUEZ, C.; SANCHEZ, G. **Modelado 3-D de un horno clamp industrial para ladrillos de campo.** Ingeniería Química, 2007. N° 32, p 9-14.

BOSSI, J. **Yacimientos uruguayos conocidos.** Edición Nuestra Tierra, Montevideo. In: 10 Recursos Naturales. 1971. p. 10-57.

CARDIM de CARVALHO, A. **Análisis del ciclo de vida de productos derivados del cemento. Aportaciones al análisis de inventarios del ciclo de vida del cemento,** 2001. 317p. Disertación (Tesis de Doctorado en Ingeniería Civil). Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, canales y Puertos de Barcelona. Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona.

CARPINTERO, O. **El metabolismo de la economía española.** Economía vs naturaleza. Fundación César Manrique, Madrid, 2005. 636p. ISBN 84-88550-60-X.

CEMPRE. **Manual de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos,** CEMPRE, Uruguay, 1998. 300p. Disponible en : http://www.cempre.org.uy/index.php?option=com_content&view=article&id=71&Itemid=76. Acceso: 7 de setiembre de 2011

CIB, Conseil International du Bâtiment. **Agenda 21 on sustainable construction.** CIB Report Publication 237, Netherlands 1999. 120 p. ISBN 90-6363-015-8.

CIMENT CATALÀ. **Memora de Sostenibilidad.** Ciment Català, Barcelona. 2007. 81p.

CORTAZZO, R. **Impacto paisajístico ambiental de la zona de Cabo Polonio y Cerro de la buena visa.** Proyecto (Tesis de Maestría en Ciencias Ambientales) Facultad de Ciencias, Universidad de la República, 2009.

CRAWFORD, R; TREOLAR, G. **Validation of the use of Australian input-output data for building embodied energy simulation.** In: Eighth International IBPSA Conference. Anales...Eindhoven, Netherlands, 2003.p. 235 – 242.

CSCAE. **Un Vitruvio Ecológico.** Gustavo Gili. 2008. 158p. ISBN 978-84-252-2155-2

CUCHÍ, A. **Los ciclos de materiales en la edificación. Materiales y tecnologías respetuosas con el medio.** 2003. Universidad Autónoma de Chiapas.

DINAMIGE. **Memoria explicativa de la carta de materias primas minerales no metálicas, 1987.** MIEM, Montevideo, 1987.119p.

ECOPlata. **Diagnóstico ambiental y socio-demográfico de la zona costera uruguaya del Río de la Plata.** INAPE, MVOTMA, UR, PNUD, IDRC, UNESCO. 1999. 991p.

ECO, U. **Cómo se hace una tesis.** Traducción: Lucía Baranda y Alberto Clavería. 1983.

FABRE, L; FABRE, M; GIORGE, S. **Censo Departamental de Ladrilleros. 2011.** Gobierno Departamental. De San José. Dirección General de Desarrollo. 33p. Disponible en <<http://www.imsj.gub.uy/portal15/images/stories/noticias/informecensoladrilleros.pdf>>. Acceso: 2 julio, 2011.

FAY, R.; TRELOAR, G.; IYER-RANIGA, U. **Life-cycle energy analysis of buildings: a case study**. Rout ledge, London. 2000. Building Research and Information, 28 (1) p.31- 41.

FERNANDES, C. **Introducción al conocimiento del material estructural hormigón armado**. FA, UR. 2007.48p.

FERNANDES, C.; CASAÑAS, V.; FONTANA, J.J.; LAURINO, P.; VILA, V. **Estructuras livianas como respuesta a programas temporales diseñadas con materiales sustentables**. FA, UR. 2007.

FERNANDEZ DURÁN, R. **Globalización, urbanización y sostenibilidad. El capitalismo (financiero) global acelera la crisis ecológica planetaria**, 2003. Disponible en: <http://www.ecologistascalah.org/docs/curso/Globalizacion_urbanizacion_sostenibilidad.doc>. Acceso: 11 de marzo, 2011.

FERNANDEZ MUERZA, A. **Para qué sirve reciclar acero y cómo hacerlo. Los consumidores son esenciales para reducir el impacto ecológico cuando no se aprovechan los residuos de este metal**. 2010. Disponible en: <http://www.consumer.es/web/es/medio_ambiente/urbano/2010/03/17/191793.php>. Acceso: 15 octubre, 2011.

FOCER. **Manual sobre energías renovable: Biomasa**. 1 ed. San José, Costa Rica, 2002. 42 p. ISBN: 9968-904-02-3.

FRAMPTON, K. **Historia crítica de la arquitectura moderna**. Gustavo Gili, 1989.375p. ISBN: 84-252-1051-8.

GEOURUGUAY. **Informe del estado del ambiente**. CLAES, PNUMA, DINAMA, ECOplata. 2008. Disponible en: <<http://www.mvotma.gub.uy/documentos/publicaciones-del-tipo-documentos.html?start=10>>. Acceso: 8 mayo, 2010.

GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. Atlas S.A. 4ª Edição, 2002. 175p.

GLAVIND, M; MUNCH-PETERSEN, C. **Green concrete in Denmark**. Structural Concrete (1) N° 1, mar 2000. 7p.

GOMEZ, Y. **Rehabilitación energética en edificaciones de más de 30 años mediante el uso de recursos informáticos**, 2010. 88p. Proyecto (Tesis de Maestría en Edificación) Escola Politècnica Superior d'Edificació de Barcelona. Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona.

GONZALEZ, F. **Geología y evaluación de los recursos minerales del sector oeste de la Localidad de Valentines (Dpto. De Florida)**. 2010. 88p. Disertación (Trabajo de Licenciatura en Geología). Facultad de Ciencias, Universidad de la República.

GONZALEZ LUZ, M. **La modernidad uruguaya de los años cincuenta, Mario Payssé y Rafael Lorente Escudero, desde la docencia y la práctica**. 2010. 495 p. Disertación (Tesis de Doctorado). Escuela Técnica Superior d' Arquitectura, Barcelona. Universidad Politècnica de Catalunya, Barcelona.

GRIGOLETTI, G. **Caracterização de impactos ambientais de indústrias de cerâmica vermelha do Estado do RS**, 2001. 154p. Dissertação (Tese de Mestrado em Engenharia Civil). Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

GUDYNAS, E. **Tensiones y posibilidades de la ecología política en Uruguay**. Coscoroba. En Políticas ambientales en Uruguay, Montevideo, 2001. p 187-208. Disponible en: <<http://www.ambiental.net/coscoroba/PolíticasAmbientalesUruguay.htm>>. Acceso: 7 mayo, 2011

_____. **Desarrollo sostenible: una guía básica de conceptos y tendencias hacia otra economía**. Otra Economía. Volumen IV, Nº 6. ISSN 1851-4715. 2010. Disponible en www.riless.org/otraeconomia. Acceso: 13 mayo, 2011.

HERRERA, T. **El ladrillo en la arquitectura prehispánica**. México en el Tiempo Nº 19, 1997. Disponible en: <http://www.mexicodesconocido.com.mx/notas/5247-El-ladrillo-en-la-arquitectura-prehisp%C3%A1nica>. Acceso: 2 julio, 2011.

IEA ANNEX 31. **Energy Related Environmental Impact of Building**. 2001. Disponible en: <http://www.iisbe.org/annex31/pdf/B_environmental.pdf>. Acceso: 2 mayo, 2011.

INE. **Prensa comunicados**.2009 Disponible en: <<http://www.ine.gub.uy/comunicados/ivfc/ivfc0609.pdf>>. Acceso: 25 noviembre, 2009.

_____.2010 Disponible en: <<http://www.ine.gub.uy/comunicados/ivfc/ivfc0610>>.pdf. Acceso: 28 agosto, 2011.

_____.2011 Disponible en: <<http://www.ine.gub.uy/comunicados/ivfc/ivfc1210.pdf>>. Acceso: 5 octubre, 2011.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 14040**: Environmental management — life cycle assessment — principles and framework. Geneva, Switzerland, 1997.

_____. **ISO 14041**: Environmental management — life cycle assessment — goal and scope definition and inventory analysis. Geneva, Switzerland, 1998.

_____. **ISO 14042**: Environmental management — life cycle assessment — life cycle impact assessment. Geneva, Switzerland .1999.

_____. **ISO 14043**: Environmental management — life cycle assessment — life cycle interpretation. Geneva, Switzerland .1999.

JUNTA DE ANDALUCÍA. Eladio Dieste 1943 – 1996, Sevilla, Montevideo, 2001.306 p. ISBN 84-8095-136-2

LADRILLEROS de Rivera. **Diario Norte Online**, Rivera, 14 de febrero de 2011. Disponible en: <<http://www.diarionorte.com.uy/sociedad/el-director-de-la-escuela-de-ladrilleros-de-rivera-estuvo-en-salto-invitado-por-la-comuna-litoralena-13273.html>>. Acceso: 11 julio, 2011.

LAGROTTA, M. **La influencia británica en la arquitectura uruguaya. La arquitectura de hierro y vidrio: el mercado del puerto**. 2011. Disponible en:< <http://profelagrotta.blogspot.com/2011/06/la-influencia-britanica-en-la.html>>. Acceso: 8 de agosto, 2011.

LATOUCHE, S. **La apuesta por el decrecimiento: ¿cómo salir del imaginario dominante?** , 2008.Edición: Icaria. ISBN 9788474269840.

LIPPIATT, Bárbara C. **Building for Environmental and Economic Sustainability (BEES)**. En: CIB World Building Congress. Construction and The Environment. Proceedings, 8p. Gavle, Sweden, junio 1998.

LOPEZ, Fabián. **Sobre el uso y la gestión como los factores principales que determinan el consumo de energía en la edificación**. Disertación (Tesis de Doctorado Departament de Construccions Arquitectòniques I). Programa Àmbits de Recerca en l'Energia i el Medi Ambient a l'Arquitectura. Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, 2006.

LYLE, J. T. **Regenerative design for sustainable development**. Nueva York: John Wiley & Sons, Inc., 1994.

MAMFREDINI, C. **Impactos ambientais causados pelas indústrias de cerâmica vermelha no Rio Grande do Sul**. 2003. 123p. Dissertação (mestrado em Engenharia Civil). Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porta Alegre.

MARLAND, A. In Trends: **A Compendium of Data on Global Change. Carbon Dioxide Information Analysis Center**, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., U.S.A. Global, Regional, and National CO₂ Emissions. 2007. Disponible en: <<http://cdiac.ornl.gov/trends/emis/overview.html>>. Acceso: 25 mayo 2011.

MARTÍNEZ ALIER, Juan; ROCA, Jordi; SÁNCHEZ Jeannette. **Curso de economía ecológica**. Red de formación ambiental. 1998.

MEADOWS D., RANDERS, D., BEHRENS W. **Los Límites del Crecimiento**, 1972. Madrid Fondo de Cultura Económica.

MIEMDNEN. **Análisis sobre la demanda y oferta de la electricidad en el sistema eléctrico uruguayo**. Período 2000-2007. Marzo, 2008. 21p.

_____. MIEM. **Política energética 2005- 2030**. 2005. Disponible en: <<http://www.miem.gub.uy/gxpsites/hgxpp001?5,6,294,O,S,0,MNU;E;94;1;MNU>>. Acceso: 31 octubre, 2009

MIGUEL, P. **Estudo de caso na engenharia de produção: estruturação e recomendações para sua condução**, 2007. Produção. Vol. 17, N°1, p. 216-229.

MUMMA, T. **Reducing the Embodied Energy of Buildings**. 1995. Disponible en <<http://www.homeenergy.org/show/article/filter/1995/id/1105>>. Acceso 14 mayo, 2010.

MTOP. **Anuario Estadístico de Transporte, 2007**. Disponible en: <<http://www.dnt.gub.uy/portal/agxppdwn.aspx?11,4,198,O,S,0,1859%3BS%3B1%3B237>>. Acceso 7 de agosto, 2011.

MVOTMA. **Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero 2004, 2010**. Evolución de emisiones de Gases de efecto Invernadero 1990 - 2004. Resumen Ejecutivo, 39p. Disponible en: <<http://www.cambioclimatico.gub.uy/index.php/publicaciones 2010>>. Acceso: 12 marzo, 2011.

_____. **Tercera Comunicación Nacional, a la conferencia de las partes en la Convención marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático**, 2010. 175p. Disponible en: <<http://www.cambioclimatico.gub.uy/index.php/publicaciones 2010>>. Acceso: 4 junio, 2011.

_____. **Inventario Nacional de liberaciones de dioxinas y furanos Uruguay 2000**, 2002. 58p. Disponible en: <http://www.mvotma.gub.uy/documentos/publicaciones-del-tipo-documentos/cat_view/48publicaciones.html?limit=10&order=date&dir=ASC>. Acceso: 20 diciembre, 2010.

NAREDO, José Manuel; VALERO, Antonio. **Desarrollo económico y deterioro ecológico**. Fundación Argentaria/Visor. Colección Economía y Naturaleza. Madrid, España, 1999. ISBN 84-7774-981-7.

OFICEMENT. **Historia del Cemento**. Antigüedad. Disponible en: <http://www.oficemen.com/reportajePag.asp?id_rep=23>. Acceso: 29 octubre de 2011.

OYESHOLA, F ; KOFOWOROLA , GHEEWALA, SABBIR, H. **Life Cycle energy assessment of a typical office building in Thailand**. , 2009. In: Energy Buildings, 41 (10). p.1076 – 1083.

PARROT, L. **An environmental perspective on UK construction materials**. In: CIB World Building Congress, 8p. Gavle, Sweden, 1998.

PLESSIS, C. du (Org.). **Agenda 21 for sustainable Construction in redeveloping Countries: a discussion document**. Rotterdam: CIB; CSIP, 2002.

PONTING, C. **Historia verde del mundo**. Barcelona: Ediciones Paidós Ibérica, S.A., 1992. 582p. ISBN: 84-7509-840-1.

QUEIROZ, W; PEREIRA, R; MAURAYAMA, S; DE SÁ, R. **Estudo da qualidade e de sua relação o processo de produção dos blocos cerâmicos utilizados na construção civil de Manaus**. In: Encontro Nacional de Engenharia de produção. 10, 2006, Fortaleza. Anales... Fortaleza, 2006. Disponible en: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2006_TR470321_7308.pdf>. Acceso: 30 julio, 2011.

RIPOLI FILHO, F. **A utilização do rejeito industrial cerâmico – chamote – como fator de qualidade na fabricação de elementos cerâmicos: um estudo experimental**. Cerâmica, São Paulo, v.43, n.281/282, p.133-139, maio/jun/jul/ago 1997.

RODRIGUEZ, C. **La Cámara de la Construcción en Uruguay**. El país digital, Montevideo, 15 de setiembre de 2010.

SOCIETAT ORGANICA (España). **Eco materiales**. Disponible en: <<http://societatorganica.com/web/>>. Acceso: 18 mayo 2011.

SPERB, Márcia. **Avaliação de tipologias habitacionais a partir da caracterização de impactos ambientais relacionados a materiais de construção**, 149 p. Dissertação (Tese de Mestría) Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

TALLER DE CONSTRUCCIÓN. **Materiales Cerámicos**, FA; UR. 2002.

TAVARES, Sérgio. **Metodologia de análise do ciclo de vida energético de edificações residenciais brasileiras**. 225p. Dissertação (Tese de Doutorado em Engenharia Civil). Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, 2006.

TECHERA, Javier; ARRIGUETTI, Richard; SPORTURNO, Jorge; OYHANTCABAL, Pedro. **Recursos Minerales. Mapa Geológico y Recursos Minerales Del Departamento de Montevideo a Escala 1/50.000**. Proyecto

CONICYT 6019. Disponible en:

<<http://www.miem.gub.uy/gxpfiles/miem/content/video/source000000063/VID000005000000331.pdf>>. Acceso: 24 de mayo, 2011.

TERRACOTA. Colombia: Anfalit. Asociación Nacional de fabricantes de ladrillo y derivados de la arcilla. Año 10 Edición 38, 2010. ISSN 1657-7116.

Ubal, S. **Uruguay, La minería a cielo abierto una actividad de grave impacto ambiental**. 2011. Disponible en: <<http://www.alterinfos.org/spip.php?article4880>>. Acceso: 1 octubre, 2011.

UNIT, NORMAS Disponible en: <http://www.unit.org.uy/>

VAZQUEZ, W. **Mineralogía. Minerales. Recursos mineros venezolanos. Yacimientos férricos. Reservas. Hierro en Venezuela**, 1998. 10p.

VITRUVIO, Marco Lucio. **Los Diez Libros de Arquitectura**. Barcelona: Iberia, 1955. 301 p.

WADEL G. **La sostenibilidad en la construcción industrializada. La construcción modular ligera aplicada a la vivienda**. 331 p. (Tesis de Doctorado) Programa de doctorado Ámbitos de Investigación en la Energía y el Medio Ambiente en Arquitectura, Universidad Politécnica de Cataluña, 2009.

WORD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT: **Our common future**. Disponible en: <<http://www.un-documents.net/wced-ocf.htm>>. Acceso: 8 mayo, 2010.

YIN, R. **Case Study Research. Design and Methods**. Third Edition. SAGE Publications, 2002. ISBN