



UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA

MÁSTER OFICIAL EN ENERGÍAS RENOVABLES Y EFICIENCIA ENERGÉTICA

**PROGRAMA OFICIAL DE POSGRADO EN INGENIERÍA ELÉCTRICA Y
ENERGÉTICA**

TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

**IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE AMENAZAS A LA
SEGURIDAD DEL SUMINISTRO ENERGÉTICO**

Alumno:

Gabriel Jaime Correa Henao

Director:

José María Yusta Loyo, PhD

SEPTIEMBRE, 2010

IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE AMENAZAS A LA SEGURIDAD DEL SUMINISTRO ENERGÉTICO

Tabla de contenido

I.	LISTADO DE FIGURAS.....	v
II.	LISTADO DE TABLAS	vii
III.	RESUMEN.....	viii
IV.	PALABRAS CLAVE.....	viii
V.	ABSTRACT	ix
VI.	KEYWORDS	ix
1.	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1.	OBJETIVOS DEL TRABAJO	1
1.2.	ESTRUCTURACIÓN DEL TRABAJO.....	1
2.	CONCEPTO DE ASEGURAMIENTO DEL SUMINISTRO ENERGÉTICO.....	4
2.1.	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA EN EL TEMA.....	4
2.2.	ANÁLISIS DE LA LITERATURA.....	9
2.3.	COMENTARIO FINAL	10
3.	DIAGNÓSTICO EN AMENAZAS AL ASEGURAMIENTO ENERGÉTICO	12
3.1.	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA EN EL TEMA.....	12
3.2.	ANÁLISIS DE LA LITERATURA.....	15
3.3.	COMENTARIO FINAL	16
4.	CLASIFICACIÓN DE AMENAZAS AL ASEGURAMIENTO ENERGÉTICO	17
4.1.	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA EN EL TEMA.....	17
4.2.	ANÁLISIS DE LA LITERATURA.....	19
4.3.	COMENTARIO FINAL	21
5.	EVALUACIÓN Y VALORACIÓN DE AMENAZAS AL ASEGURAMIENTO ENERGÉTICO	22
5.1.	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA EN EL TEMA.....	22
5.2.	ANÁLISIS DE LA LITERATURA.....	24
5.2.1.	Indicadores de Seguridad Energética	24
5.2.2.	Indicadores de Estimación de Recursos y Reservas.....	25
5.2.3.	Indicadores de tasas de producción sobre reservas	25
5.2.4.	Indicadores de diversidad.....	25
5.2.5.	Indicadores de Importaciones	25
5.2.6.	Indicadores de Situación Política	26
5.2.7.	Indicadores de Precios de la Energía.....	26
5.2.8.	Teoría de portafolio con varianza media.....	26
5.2.9.	Contribución de fuentes energéticas sin emisiones.....	27
5.2.10.	Liquidez del mercado	27
5.2.11.	Indicadores sobre gestión de la demanda.....	27
5.3.	VALORACIÓN DE AMENAZAS.....	28

5.4.	GESTIÓN DE RIESGOS	30
5.5.	COMENTARIO FINAL.....	33
6.	ASPECTOS SOBRE PRIORIZACIÓN Y ACCIONES EN EL ASEGURAMIENTO DEL SUMINISTRO ENERGÉTICO	34
6.1.	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA EN EL TEMA	34
6.2.	ANÁLISIS DE LA LITERATURA	36
6.3.	COMENTARIO FINAL.....	40
7.	METODOLOGÍA DE GESTIÓN INTEGRAL DEL RIESGO	41
7.1.	VALORACIÓN DE AMENAZAS DE TIPO TÉCNICO	43
7.2.	VALORACIÓN DE AMENAZAS DE TIPO NO TÉCNICO	44
7.3.	MODELO DE FUENTES DE AMENAZAS AL ASEGURAMIENTO ENERGÉTICO	46
8.	CONCLUSIONES	49
9.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51
10.	ANEXO 1: IDENTIFICACIÓN DE AMENAZAS TÉCNICAS A LA SEGURIDAD DEL SUMINISTRO ENERGÉTICO	57
A.	DISMINUCIÓN EN EL MARGEN RESERVA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA	57
B.	DISMINUCIÓN EN EL MARGEN RESERVA DE LA OFERTA DE GAS	58
C.	DÉFICIT DE INFRAESTRUCTURAS DE TRANSPORTE Y DISTRIBUCIÓN DE GAS Y PETRÓLEO	59
D.	DÉFICIT DE INFRAESTRUCTURAS DE TRANSPORTE DE ELECTRICIDAD	61
E.	VULNERABILIDAD DE LOS SISTEMAS ELÉCTRICO Y GASISTA	62
F.	CRÍTICA DEPENDENCIA GAS NATURAL-ELECTRICIDAD	63
G.	DIFICULTADES EN EL CONTROL DE DESPACHO DE ELECTRICIDAD CON ENERGÍAS RENOVABLES	65
H.	ATAQUES INFORMÁTICOS EN CENTROS DE CONTROL DE LOS SISTEMAS DE GAS, PETRÓLEO Y ELECTRICIDAD	65
I.	DESAJUSTES DE OFERTA Y DEMANDA DE PRODUCTOS PETROLÍFEROS.....	66
11.	ANEXO 2: IDENTIFICACIÓN DE AMENAZAS NO TÉCNICAS A LA SEGURIDAD DEL SUMINISTRO ENERGÉTICO	67
A.	CRECIMIENTO DE LA DEMANDA DE LAS FUTURAS POTENCIAS MUNDIALES.....	67
B.	INESTABILIDAD POLÍTICA DE LOS PAÍSES PRODUCTORES DE GAS Y PETRÓLEO Y AGOTAMIENTO DE LOS RECURSOS.....	68
C.	POSIBLE CREACIÓN DE UNA OPEP DEL GAS	70
D.	RESERVAS ESTRATÉGICAS DE GAS Y PETRÓLEO.....	70
E.	INSUFICIENCIA DE INVERSIONES PARA NUEVOS YACIMIENTOS E INFRAESTRUCTURAS	71
F.	DEFICIENTE DIVERSIFICACIÓN DE LOS RECURSOS ENERGÉTICOS	72
G.	AMENAZAS A LAS INFRAESTRUCTURAS E INSTALACIONES DE PETRÓLEO, GAS Y ELECTRICIDAD.....	75
H.	AMENAZAS EN LAS RUTAS MARÍTIMAS DE APROVISIONAMIENTO.....	75
I.	CONFLICTOS POLÍTICOS ENTRE PAÍSES SUMINISTRADORES, CONSUMIDORES Y DE TRÁNSITO.....	76
J.	REGULACIÓN ECONÓMICA INEFICIENTE DE LOS NUEVOS MERCADOS ENERGÉTICOS	79
K.	FALTA DE COORDINACIÓN DE POLÍTICAS ENERGÉTICAS NACIONALES Y DE LA UNIÓN EUROPEA	80
L.	SEGURIDAD FÍSICA DE LAS INFRAESTRUCTURAS	81

M.	EMISIONES CONTAMINANTES, IMPACTO AMBIENTAL Y CAMBIO CLIMÁTICO.....	83
N.	CONFLICTOS ARMADOS POR LA EXPLOTACIÓN DE RECURSOS ENERGÉTICOS	85
O.	CATÁSTROFES NATURALES.....	86
P.	RIESGOS DE LA GENERACIÓN ELÉCTRICA NUCLEAR.....	87
Q.	INCOMPRENSIÓN Y OPOSICIÓN DE LA POBLACIÓN FRENTE A LA IMPLANTACIÓN DE NUEVAS INFRAESTRUCTURAS Y TECNOLOGÍAS NECESARIAS PARA ASEGURAR EL SUMINISTRO ENERGÉTICO.....	88
12.	ANEXO 3: SISTEMAS DE APOYO A LA TOMA DE DECISIONES	89
A.	BREVE DESCRIPCIÓN DE LA TOMA DE DECISIONES	89
B.	METODOLOGÍAS PARA LA TOMA DE DECISIONES.....	90
C.	SIMULACIÓN EN AMBIENTES CONTINUOS PARA LA TOMA DE DECISIONES	92
13.	ANEXO 4: MÉTODOS DE PONDERACIÓN DE VARIABLES	94
A.	Métodos de asignación directa.....	94
1.	Método de ordenación simple	94
2.	Método de Tasación Simple	94
3.	Método de asignación por ratios.....	94
4.	Método de comparaciones sucesivas.....	95
B.	Métodos de asignación indirecta.....	95
1.	Método de la entropía.....	95
2.	Método CRITIC	95
3.	Matriz de dominación.....	96
4.	Principio de composición jerárquica	96
5.	Operadores de Agregación por pesos Ponderados (OWA).....	97
14.	ANEXO 5: TÉCNICAS DE DECISIÓN MULTICRITERIO	99
A.	Programación matemática multiobjetivo	99
B.	Programación por compromiso.....	99
C.	Programación por metas	100
D.	Metodología AHP.....	101
1.	Proceso metodológico	101
2.	Ventajas e Inconvenientes del AHP	104
E.	Metodología ANP.....	105
15.	ANEXO 6: LA DINÁMICA DE SISTEMAS COMO TÉCNICA DE SIMULACIÓN EN AMBIENTES CONTINUOS.....	107
A.	Conceptos de la Metodología de Dinámica de Sistemas	107
B.	Elementos de la Dinámica de Sistemas.....	108
16.	ANEXO 7: DIAGNÓSTICO GEOPOLÍTICO SOBRE EL SUMINISTRO ENERGÉTICO	111
A.	SITUACIÓN ENERGÉTICA MUNDIAL.....	111
B.	INTERDEPENDENCIA ENTRE SEGURIDAD ENERGÉTICA E INFRAESTRUCTURA CRÍTICA 114	
C.	PROTECCIÓN DE INFRAESTRUCTURA CRÍTICA	116
17.	ANEXO 8: LA ECONOMÍA DE LA ENERGÍA.....	118
A.	CONCEPTO DE PRESUPUESTO ENERGÉTICO.....	119
B.	CONCEPTO DE ENERGÍA NETA.....	120

C.	ENERGÍA Y ECONOMÍA	123
18.	ANEXO 9: LA GEOPOLÍTICA Y SU RELACIÓN CON LA SEGURIDAD DEL SUMINISTRO ENERGÉTICO	127
A.	DESAFÍOS Y ÁMBITOS DE ACTUACIÓN	127
B.	ÁMBITOS DE ACTUACIÓN	128
1.	Perspectiva económica	128
2.	Perspectiva política	129
3.	Perspectiva Tecnológica	130
4.	Perspectiva medioambiental y social	132
19.	ANEXO 10: PLANES DE PROTECCIÓN DE INFRAESTRUCTURAS.....	134
A.	EL PROGRAMA NIPP DE ESTADOS UNIDOS.....	134
1.	Sectores y agencias designadas.....	135
2.	Intercambio y protección de la información.....	136
3.	Propuesta de valor del NIPP	136
4.	Estructura del NIPP.....	137
B.	PEPIC: PROGRAMA EUROPEO PARA LA PROTECCIÓN DE INFRAESTRUCTURA	138
1.	Plan de acción del PEPIC.....	140
2.	Red de información sobre alertas en infraestructuras críticas (CIWIN).....	140
3.	Grupo de expertos	140
4.	Información compartida acerca de la Protección de Infraestructuras Críticas (PIC)	140
5.	Identificación de la interdependencia.....	140
6.	Grupo de contacto PIC.....	141
7.	Protección de Infraestructuras Críticas Nacionales (ICN)	141
8.	Dimensión exterior.....	141
9.	Medidas financieras complementarias	141
C.	CNPIC: Centro Nacional de Protección de Infraestructuras Críticas en España	141
D.	Estándar Australiano para la Administración de Riesgos.....	143

I. LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Estructura del Trabajo.....	2
Figura 2. Definición conceptual de “Seguridad del suministro energético”. (Tomado de <i>Cambridge Energy Research Associates</i>).....	4
Figura 3. Índice de Suministro y Demanda en países de Europa. Fuente [48].....	29
Figura 4. Modelo de fuentes de riesgo a las empresas del sector energético. Fuente XM [94].....	32
Figura 5. Modelo de riesgos al sistema energético en Colombia. Fuente ISA [44].....	32
Figura 6. Evaluación del indicador de Suministro y Demanda para la seguridad energética de largo plazo. Fuente [48].....	37
Figura 7. Ejemplo de aplicación de indicadores ex-ante y post-ante Fuente [57].....	38
Figura 8: Matriz de Riesgos para la calificación de las amenazas al suministro energético	42
Figura 9: Modelo de las fuentes de riesgos puros al aseguramiento energético en España.....	47
Figura 10. Mezcla de fuentes energéticas a nivel mundial (Millones de TEP). Fuente: IEA [42].....	57
Figura 11. Capacidad instalada y energía generada en España en 2009. Fuente: [75].....	58
Figura 12. Índice de cobertura del sistema eléctrico. Fuente: [76].....	58
Figura 13. Red española de transporte de gas y terminales marítimos con plantas de regasificación. Fuente:[11].....	60
Figura 14. Costos indicativos del transporte de gas natural desde países productores hasta países consumidores de la UE. Fuente: [42]	61
Figura 15. Red española de transporte de electricidad. Fuente: [76].....	62
Figura 16. Ejemplo de perfil de horario de entrega de gas en el sistema español	63
Figura 17. Red gasista europea.....	63
Figura 18. Planificación de nuevas centrales eléctricas en Europa	64
Figura 19. Fuentes de generación de electricidad en España (GWh)	64
Figura 20: Relación de capacidad instalada entre potencia eólica y ciclo combinado en España. Fuente: ENAGAS.	65
Figura 21: Capacidad de refinación en España, Fuente CNE [10]	66
Figura 22: Demanda mundial de energía primaria, según combustible, Fuente [42]	67
Figura 23: Incremento de la demanda de energía primaria. Escenario 2006 - 2030, Fuente [42]	67
Figura 24: Gastos anuales estimados en importaciones de energía. Fuente IEA [42].....	68
Figura 25: Dependencia en importaciones de petróleo. Fuente IEA [42].....	68
Figura 26: Reservas certificadas de yacimientos de petróleo por país, Fuente [59].....	69
Figura 27: Reservas certificadas de yacimientos de gas natural por país, Fuente [59].....	70
Figura 28: Cuantificación de las reservas estratégicas de petróleo en los EE.UU	71
Figura 29: Inversiones para extracción de fuentes primarias de energías, escenario 2007 - 2030. Fuente IEA [41]	71
Figura 30: Fuentes de producción de petróleo a nivel mundial. Fuente IEA [41].....	72
Figura 31. Consumo energético en la Unión Europea, por fuentes primarias. Fuente: IEA [38].....	73
Figura 32. Generación de Electricidad, por tipo de combustible. Fuente: IEA [38]	73
Figura 33. Origen de las fuentes de Energía Primaria en Europa. Fuente: EUROSTAT [28].....	74
Figura 34. Origen de importaciones españolas de petróleo y gas natural. Fuentes: [10], [76], [23]	74
Figura 35. Rutas y cantidades diarias de transporte de petróleo desde el Oriente Medio (millones de barriles). Escenario 2006 - 2030 Fuente: [41]	75
Figura 36. Estrecho de Hormuz y Estrecho de Malaca	76
Figura 37. El caso de la suspensión del gas ruso a Europa en el 2008	77
Figura 38. Proyectos de gasoductos entre Rusia, Asia y Europa.....	78
Figura 39. Rutas y flujos de suministro de Gas Natural hacia los países consumidores. (billones de metros cúbicos al año) Fuente IEA [41].....	78
Figura 40. Operadores de los sistemas eléctricos en Europa.....	79
Figura 41: Metodología de análisis y gestión de riesgos del plan de protección de infraestructuras críticas de EEUU. [68]	81
Figura 42: Esquema de un sistema de infraestructura crítica, incluyendo sistema eléctrico y de telecomunicaciones y sistema petrolero	83
Figura 43: Países emisores de Gases de Invernadero. Fuente: [59]	83
Figura 44: Fuentes de emisión de Gases de Invernadero. Fuente: IEA [42]	84
Figura 45: Escenario de 450ppm de CO ₂ . Fuente: IEA [42]	84
Figura 46: Escenario de 450ppm de CO ₂ . Metas a cumplir. Fuente: IEA [42]	85
Figura 47: Evolución histórica de los precios del petróleo.....	86

Figura 48: Precio de casación en mercados europeos. €/MWh – (20/12/2001).....	87
Figura 49: Situación geográfica de las centrales nucleares europeas.....	87
Figura 50: Capacidad instalada mundial, con energía nuclear. Fuente: [59]	87
Figura 51: Esquema del proceso de toma de decisiones	89
Figura 52: Contribución de las corrientes metodológicas multicriterio a la resolución de problemas de toma de decisiones continuos y discretos. Fuente: [82].....	91
Figura 53: Modelación básica jerárquica en AHP	102
Figura 54: Diagrama de un bucle de realimentación negativa y respuesta en el tiempo.....	109
Figura 55: Estructura de un bucle de realimentación positiva y comportamiento correspondiente	109
Figura 56: Estructura de un bucle de realimentación negativa con un retraso y comportamiento correspondiente	109
Figura 57: Estructura formada por dos bucles de realimentación negativa y positiva, y respuesta sigmoïdal en el tiempo	110
Figura 58. Distribución de la población mundial en el año 2010. Fuente [59]	112
Figura 59. Población mundial con acceso a la electricidad. Fuente [42][59].....	113
Figura 60. Relación entre ingresos y consumos energéticos por habitante. Fuente [42][59].....	113
Figura 61. Demanda per cápita de energía primaria. Escenario 2030. Fuente [41][59].....	114
Figura 62. Producto Interno Bruto Mundial. Fuente [59][59].....	114
Figura 63. Interrelación del sistema energético y otras infraestructuras críticas.....	116
Figura 64. Proyección de la dependencia de importación de petróleo en las principales regiones mundiales. Fuente: IEA [42].....	118
Figura 65. Proyección de la dependencia de importación de gas natural en las principales regiones mundiales. Fuente: IEA [42].....	119
Figura 66: Esquema de Presupuesto Energético en la Sociedad	119
Figura 67: Esquema simplificado de Presupuesto Energético en la Sociedad	120
Figura 68: El concepto de Energía Neta, fuente [9].....	121
Figura 69: Energía neta de los combustibles carburantes, fuente [9].....	122
Figura 70: Yacimientos mundiales de arenas Bituminosas, fuente [59]	122
Figura 71: Curva de Hubbert para los principales minerales extraídos en la tierra. Fuente [91]	124
Figura 72: Certeza y riesgo de la relación economía-energía	125
Figura 73: Interdependencias a través de la economía.....	129
Figura 74: Producción mundial de electricidad en escenario 450 ppm. Fuente: IEA [42].....	133
Figura 75: Marco para la protección de IC/RC, propuesta en el NIPP. [68].....	137
Figura 76: Ciclo de la Administración del Riesgo, según estándar australiano AS/NZS 4360:1999. [26].....	144

II. LISTADO DE TABLAS

Tabla 1: Aproximación de la Definición del concepto de “Seguridad del Suministro Energético”	6
Tabla 2: Aproximación Diagnóstico en el concepto de “Seguridad del Suministro Energético”	13
Tabla 3: Publicaciones que clasifican las amenazas al sistema de seguridad del Suministro Energético”	17
Tabla 4: Literatura sobre evaluación y valoración de amenazas a la “Seguridad del Suministro Energético”	23
Tabla 5: Resumen de indicadores más útiles en el concepto de seguridad del suministro energético”	27
Tabla 6: Aspectos de Priorización y acciones sobre el aseguramiento energético	35
Tabla 7: Procedimiento para asignación de probabilidad del riesgo	36
Tabla 8: Indicador ex-ante diferentes fuentes energéticas. Fuente [57]	39
Tabla 9: Aplicación de la matriz de riesgos puros en la valoración de amenazas técnicas	43
Tabla 10: Aplicación de la matriz de riesgos puros en la valoración de amenazas no técnicas	45
Tabla 11: Número estimado de cargas de GNL adicionales para cubrir una interrupción temporal del suministro en el mayor proveedor de GNL a España. Fuente [10]	59
Tabla 12: Exceso de producción en Gasolina y déficit en refinación de Diesel en España.....	66
Tabla 13: Reservas mundiales de petróleo y gas. Diciembre 2008. Fuente [71].....	69
Tabla 14: Anexo I de la Directiva 2008/114/CE sobre protección de infraestructuras críticas	82
Tabla 15: Metodologías en la decisión multicriterio. Fuente: [81]	91
Tabla 16: Consumo per cápita de energía primaria (Toneladas Equivalentes de Petróleo - TEP). Fuente CME [17]	112

IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE AMENAZAS A LA SEGURIDAD DEL SUMINISTRO ENERGÉTICO

III. RESUMEN

El tema de la seguridad energética, se define como la capacidad de un país para satisfacer la demanda nacional de energía con suficiencia, oportunidad, sustentabilidad y precios adecuados, en el presente y hacia un futuro. La problemática de la seguridad energética constituye en la actualidad uno de los temas centrales mundiales que afectan de forma esencial a las economías y la política de seguridad de los Estados.

Precisamente el interés estratégico asociado a la seguridad energética de las naciones, constituye la motivación para abordar un trabajo de investigación que permita identificar y evaluar las amenazas a la seguridad energética, las cuales necesiten ser analizadas por cualquier nación.

En este trabajo se realiza la identificación, análisis y evaluación los riesgos del suministro energético en un país. Se destaca el enfoque de algunas herramientas para la toma de decisiones y más concretamente su aplicación en el ámbito de la identificación y evaluación de amenazas al suministro energético.

Adicionalmente se revisa y se actualiza el estado del arte del tema de aseguramiento del suministro energético, desde el punto de conceptual en países de la OCDE, y específicamente, de acuerdo con la directiva 2008/114/CE de la U.E. (sobre la identificación y designación de infraestructuras críticas europeas) y la NIPP de EE.UU (National Infrastructure Protection Plan) al tiempo que se revisa la situación de los países europeos, se identifican sus vulnerabilidades y las acciones propuestas para el aseguramiento del suministro energético.

La revisión y actualización del estado del arte en el aseguramiento energético, se acompaña de una revisión en el panorama de los países europeos, con mayor énfasis en el caso español. De esta manera, se realiza una identificación de las vulnerabilidades, así como las acciones propuestas, las cuales se evalúan a través de una metodología de Administración del Riesgo, ajustándose a la normativa actualmente implementada por empresas del sector energético.

Los capítulos que conforman este trabajo, así como los respectivos anexos, se complementan con información referida a las metodologías de apoyo a la toma de decisiones y simulación de sistemas, que pueden ser empleadas en futuras investigaciones relacionadas con aplicaciones en distintos ámbitos para la priorización de decisiones. De esta manera se puede realizar la comparación de algunas técnicas de apoyo a la toma de decisiones para su aplicación en un caso de estudio de identificación y evaluación de amenazas a los sistemas de suministro energético de un país.

Igualmente, se presenta información relevante con la situación geopolítica, la economía de la energía, la escasez de recursos y la vulnerabilidad de las infraestructuras energéticas y los recursos claves, que hacen parte del concepto de “seguridad energética”. De esta manera, se efectúa un aporte desde el punto de vista metodológico, dada la recopilación y análisis estructurado de la información, que puede tomarse como un documento técnico y científico en el área del “aseguramiento energético”.

IV. PALABRAS CLAVE

Mercados energéticos, sostenibilidad, seguridad, infraestructuras estratégicas, recursos clave.

IDENTIFICATION AND EVALUATION OF THREATS TO ENERGY SUPPLY SECURITY

V. ABSTRACT

The issue of energy security is defined as the ability of a country to meet domestic demand for energy sufficiency, opportunity, sustainability and appropriate pricing, both in the present and in the future. This issue of energy security is now one of the key topics that affect the world's essential to the economies and security policy of states.

Precisely the strategic interest associated with the energy security of any nation is the motivation to tackle a research project to identify and assess threats to energy security, which need to be analyzed by any nation.

In this work we make the identification, risk analysis and assessment of energy supply in a country. It highlights the approach of some tools for making decisions and more specifically its application in the field of identification and evaluation of energy supply threats.

Furthermore, we make a review and update of the state of art in the subject of supply security, from the conceptual point of OECD countries, and specifically, in accordance with EU directive 2008/114/CE (On the identification and designation of European critical infrastructures) and the U.S. NIPP (National Infrastructure Protection Plan) at the same time as reviewing the situation of European countries, identifying their vulnerabilities and the proposing some actions in the concept of energy supply.

This review and update of the state of the art in energy supply security, is associated with an outlook description for European countries, emphasizing on the Spanish case. This way, we make an identification of vulnerabilities and we propose actions, which are assessed through a Risk Management methodology, which is also aligned to the regulations currently being implemented by companies in the energy sector.

Both chapters and amendments of this work are supplemented with information concerning the methodologies to support decision making and system simulation, which can be used in future researches related to applications in various fields for prioritizing decisions. In this way it is possible to make the comparison among some techniques in order to support decision making for application in a case study of identification and assessment of threats to energy supply systems of a country.

We also provide information relevant to geopolitics, energy economics, scarcity of resources and the vulnerability of energy infrastructure and key resources, which are part of the concept of energy security. Thus, a contribution is made from a methodological point of view, given the structured collection and analysis of information that can be taken as a technical and scientific document in the area of "energy security".

VI. KEYWORDS

Energy Markets, sustainability, security, strategic infrastructure, key resources.

1. INTRODUCCIÓN

El tema de la seguridad energética, se define como la capacidad de un país para satisfacer la demanda nacional de energía con suficiencia, oportunidad, sustentabilidad y precios adecuados, en el presente y hacia un futuro [66]. La problemática de la seguridad energética constituye en la actualidad uno de los temas centrales mundiales que afectan de forma esencial a las economías y la política de seguridad de los Estados [72], [74].

Este concepto de seguridad energética se utiliza con frecuencia para justificar las distintas políticas o acciones, incluso si estas políticas parecen contradictorias entre sí. Las estrategias para combatir las amenazas a la seguridad energética se enfocan en la producción, distribución, o en la gestión de la demanda final de energía [58].

En el marco de esta definición, también se evidencia una estrecha relación entre la seguridad global de la infraestructura energética y los otros sectores de infraestructuras críticas de la economía y la sociedad de un país.

1.1. OBJETIVOS DEL TRABAJO

Con la realización de este trabajo, se procura identificar los principales retos a los que se enfrenta un país, para la búsqueda de estrategias que le permitan mantener un abastecimiento adecuado de energía. Estos desafíos surgen de un conjunto de acontecimientos internos y externos de origen geopolítico y económico.

En consecuencia, se han propuesto los siguientes objetivos, con cuyo cumplimiento se pretende realizar la identificación, análisis y evaluación los riesgos del suministro energético en un país. Se desea destacar el enfoque principalmente en las herramientas para la toma de decisiones y más concretamente su aplicación en el ámbito de la identificación y evaluación de amenazas al suministro energético.

1. Revisar y actualizar el estado del arte del tema de aseguramiento del suministro energético, desde el punto de conceptual en países de la OCDE, y específicamente, de acuerdo con la directiva 2008/114/CE de la U.E. (sobre la identificación y designación de infraestructuras críticas europeas) y la NIPP de EE.UU (National Infrastructure Protection Plan).
2. Revisar la situación de los países europeos, identificar sus vulnerabilidades y las acciones propuestas para el aseguramiento del suministro energético.
3. Revisar y actualizar el estado del arte del análisis multicriterio y de las técnicas de ayuda a la decisión, y sus aplicaciones en distintos ámbitos para la priorización de decisiones.
4. Comparar el análisis multicriterio y otras técnicas de ayuda a la decisión, para su aplicación en un caso de estudio de identificación y evaluación de amenazas a los sistemas de suministro energético de un país.

1.2. ESTRUCTURACIÓN DEL TRABAJO

Teniendo en cuenta los objetivos expuestos anteriormente, se constituyen los argumentos para realizar un trabajo de investigación que conduzca al estudio de la identificación y evaluación de amenazas al suministro energético.

Este trabajo se compone de 7 capítulos y 10 Anexos, en los cuales se hace una descripción y análisis detallado sobre el estado del arte, en los temas de aseguramiento energético, las cuales incluyen una exhaustiva revisión bibliográfica, soportada en publicaciones científicas, artículos de prensa, pensamiento geopolítico y militar.

El presente trabajo se ha estructurado de acuerdo a la organización que se presenta en la

Figura 1. Un adecuado entendimiento de este trabajo debe comprender la lectura de los capítulos y los respectivos anexos, que están referenciados a lo largo de todo el documento. Idealmente, el trabajo debe leerse en el orden que se recomienda en dicha ilustración.

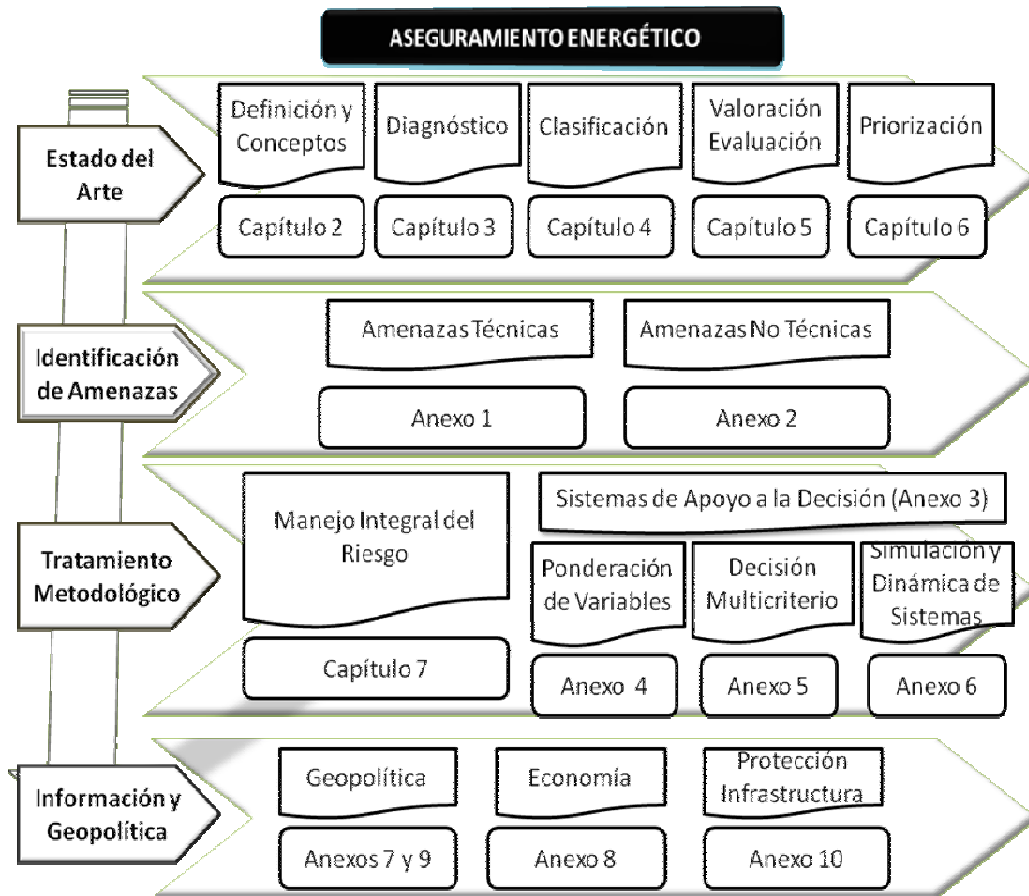


Figura 1. Estructura del Trabajo

En cada uno de los capítulos, se realiza una revisión de los respectivos conceptos, relacionados con el tema de seguridad en el suministro energético.

La esencia y principal aporte de este trabajo lo constituye la revisión, clasificación, y análisis bibliográfico que soporte la futura realización de un trabajo de investigación de mayor alcance. El estudio del estado del arte en el tema del Aseguramiento Energético, está comprendido en los capítulos 2 al 6.

En resumen, los capítulos integrados en la estructura de este trabajo presentan una metodología de estudio en el estado del arte de los temas de amenazas al sistema energético, lo cual implica integrar la amenaza, la vulnerabilidad y la información sobre las consecuencias del fallo en el sistema de suministro energético. Asimismo, se presentan las metodologías de gestión del riesgo, las cuales implican decidir qué medidas de protección se debe tomar con base en una estrategia acordada de reducción de riesgos.

El capítulo 2 presenta una revisión del estado del arte, en lo referido a DEFINICIONES Y CONCEPTOS asociados al aseguramiento energético, que abarca enfoques desde el punto de vista de la seguridad de la infraestructura crítica y los recursos claves (incluyendo estrategia militar y políticas de seguridad nacional, equilibrio político y poder militar, etc), así como conceptos económicos (precios, disponibilidad y diversidad de la oferta energética, reservas y almacenamiento, eficiencia energética, mercados energéticos, sostenibilidad, etc)

El capítulo 3 se enfoca en el DIAGNÓSTICO donde se establece la seguridad energética

en el centro de la escena internacional de la geopolítica, en una perspectiva que abarca disponibilidad del recurso energético, la economía nacional (incluyendo el impacto de la evolución del consumo impulsado por las economías emergentes), la seguridad nacional y la política militar.

En el capítulo 4 se presenta la CLASIFICACIÓN de amenazas al suministro energético, los cuales pueden ser agrupados en riesgos de tipo técnicos y no técnicos. Dicho capítulo se complementa con los Anexos 1 y 2, en los cuales se realiza la identificación y clasificación de amenazas en un caso de estudio centrado en el tema europeo y específicamente en España.

El capítulo 5, referido a la VALORACIÓN Y EVALUACIÓN de amenazas, se analiza el estado del arte en la formulación de indicadores y metodologías de evaluación de riesgos al aseguramiento energético. En este capítulo se exponen los indicadores más utilizados en la valoración de amenazas, y también se introduce el concepto de algunas metodologías empleadas en el proceso de evaluación de riesgos (incluyendo análisis multicriterio y gestión de riesgos).

La PRIORIZACIÓN estudiada en el capítulo 6 analiza las acciones requeridas para disminuir la probabilidad y el impacto de las amenazas al sistema energético. Los conceptos introducidos en dicho capítulo están altamente ligados a los resultados de la valoración de amenazas.

En el capítulo 7 se realiza un análisis semicuantitativo, con base en la matriz de valoración de riesgos, para la calificación de las amenazas al suministro energético, con lo cual se obtiene el modelo de las fuentes de riesgos al aseguramiento energético en el caso español.

Los Anexos 1 al 10 hacen parte integral de este trabajo, y por tal razón se incorporan plenamente a la estructura del documento. Contienen información que complementa el estudio del estado del arte, y que además, permite cumplir con los objetivos indicados en el apartado 1.1 de este trabajo. Su lectura permite asegurar el pleno entendimiento del trabajo.

En los Anexos 1 y 2 se realiza un estudio detallado de identificación de amenazas técnicas y no técnicas al aseguramiento energético en los países europeos, y más específicamente en España. Dichas amenazas son evaluadas mediante la metodología indicada en el capítulo 7 de este trabajo. El análisis y manejo del riesgo asociado a las diferentes amenazas identificadas en el tema del aseguramiento energético, en el caso de los países europeos asociados a la OCDE y más específicamente, tomando el caso de estudio de España, se realiza en el Capítulo 7. Para el efecto, se realiza una valoración mediante la metodología de administración de riesgos, extendida a la nación española.

En los Anexos 3, 4, 5 y 6 se precisa una descripción de los métodos de toma de decisiones y de la dinámica de sistemas, que corresponden a diferentes técnicas de valoración o decisión, y su posible aplicación a la evaluación y priorización de acciones en seguridad energética, que son propuestas en este trabajo. Dichas técnicas son de utilidad para retomar en profundidad el tema de un posterior trabajo de investigación.

Finalmente, en los Anexos 7, 8, 9 y 10, se realiza la presentación de información relevante respecto a la geopolítica, la economía y los planes de protección de infraestructura crítica y recursos clave, que están directamente relacionados con el concepto de aseguramiento energético. Dicha información es abierta y disponible para el público. Las metodologías de análisis de riesgos están directamente relacionadas con los planes de protección que están siendo implementados por las naciones, y por tal razón se ha documentado dicha información.

Precisamente el interés estratégico asociado a la seguridad energética de las naciones, ha constituido la motivación para abordar este trabajo de investigación el que se identifican y se evalúan las amenazas a la seguridad energética. En ese sentido, este trabajo brinda un aporte, al identificar los principales retos a los que se puede ver enfrentado un país, en la búsqueda de estrategias para mantener un abastecimiento adecuado de energía.

2. CONCEPTO DE ASEGURAMIENTO DEL SUMINISTRO ENERGÉTICO

Puesto que este trabajo está basado en la información disponible en publicaciones internacionales, se revisan los estudios más relevantes relativos a tema de aseguramiento del suministro energético.

Dicho concepto abarca diferentes nociones, las cuales son analizadas en diversos escenarios. Así, la definición clásica de “seguridad del suministro energético” basada en la provisión de suficiente cantidad de energía a precio asequible, necesita de la incorporación en los tiempos actuales de un nuevo mapa conceptual, que incluya estabilidad de los precios, diversificación de fuentes energéticas, economía de las inversiones, seguridad física de las infraestructuras, reservas y almacenamiento, equilibrio político y poder militar, eficiencia energética, mercados, sostenibilidad, etc. [95]

La Figura 2 puede servir de referencia en lo que abarca la definición del concepto de “Seguridad Energética”. Puede apreciarse que se trata de una definición tan amplia, cuya estrategia debe estar sintonizada alrededor de la protección de las diferentes amenazas que se indican.



Figura 2. Definición conceptual de “Seguridad del suministro energético”. (Tomado de Cambridge Energy Research Associates)

2.1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA EN EL TEMA

La literatura consultada para la elaboración de este trabajo, eclipsa el enfoque de manera casi abrumadora a la definición de “seguridad del abastecimiento energético” con el concepto de fuentes de energía primaria y la geopolítica.

Un primer enfoque en la noción de “seguridad del suministro energético” se centra en la

infraestructura crítica y los recursos clave [6], un término que está recibiendo cada vez más atención, y que de conformidad con las definiciones establecidas tanto por la comisión europea en [14] y en [21] como por el gobierno de EE.UU en [68] y [87]. El término de infraestructura crítica es definido como aquel elemento, sistema o parte de éste, situado en un Estado y que es esencial para el mantenimiento de funciones sociales vitales, la salud, la integridad física, la seguridad, y el bienestar social y económico de la población y cuya perturbación o destrucción afectaría gravemente a un Estado al no poder mantener esas funciones [21].

Otra definición en torno al término “seguridad del suministro energético”, asumida por organismos internacionales como la IEA, se refiere a la probabilidad de que la energía se suministre continuamente a un Estado, teniendo en cuenta que las variables económicas tales como los niveles de precios y volatilidad de los precios están excluidos de la definición. Una baja confiabilidad en el suministro energético por lo general contribuye al establecimiento de precios altos y volátiles de la energía [38]. La seguridad energética está estrechamente relacionada con las variables micro y macroeconómicas. Las importaciones y exportaciones de energía pueden tener un enorme impacto en la balanza de pagos. Los subsidios, los impuestos y los ingresos de las empresas de propiedad pública pueden tener una influencia considerable en el presupuesto nacional. Además, los costos de la energía son un factor importante en la tasa de inflación y en la posición competitiva internacional de la economía de un país. [8]

A partir de la anterior definición, se establece una relación económica entre oferta y demanda de energía, la cual es dinámica y afecta sensiblemente las relaciones políticas y geopolíticas entre las naciones. En consecuencia, existe otro concepto de tipo geopolítico, dado que para los países productores, así como para los países consumidores, la energía es un bien estratégico.

Los países productores dependen de las exportaciones de energía de una parte importante de su PIB. Además, están sometidos a la presión ejercida por los países consumidores, que repercuten directamente dentro de sus asuntos internos [8]. Los países consumidores desde el punto de vista económico y estratégico dependen de los suministros ininterrumpidos de energía. [8]

Un fallo en el suministro de energía provoca impactos negativos de carácter social y económico: [95]

- La imagen de la región donde se produce el corte de suministro energético puede verse afectada negativamente.
- Puede producirse un fallo en cadena catastrófico, con efecto sinérgico entre industrias que compartan infraestructuras. (ejemplo: comunicaciones).
- Las empresas pueden ver afectados sus procesos productivos, produciéndose grandes pérdidas económicas (más afectadas las empresas manufactureras, alimentarias y de servicios.) En el apagón eléctrico de Nueva York en 2003, un 24% de las empresas que se vieron afectadas tuvieron unas pérdidas de 50.000 \$/hora apagón y un 4% de éstas tuvieron unas pérdidas superiores a 1.000.000 \$/hora apagón.
- Un fallo en el sistema de suministro energético provoca un elevado grado de insatisfacción y malestar entre los usuarios y la población afectada.
- Como consecuencia de un fallo en el sistema energético, las empresas y usuarios se pueden plantear vías alternativas de suministro de energía.

Un último concepto de la “seguridad del suministro energético” otorga un amplio protagonismo militar, dado que dicho sector depende de los suministros de energía fácilmente disponible, en particular el petróleo, porque la mayoría de los equipos son impulsados por combustible derivado del petróleo. La energía es por lo tanto, no sólo un bien económico estratégico, sino también un bien político. [8]

Las publicaciones y literatura disponible, plantean el concepto de aseguramiento energético, de acuerdo a la clasificación que se presenta en la Tabla 1, que se muestra a continuación.

Tabla 1: Aproximación de la Definición del concepto de “Seguridad del Suministro Energético”

TIPO ENFOQUE	AUTOR(ES)	TÍTULO	ÁREAS DE APLICACIÓN	ÁREAS ESPECÍFICAS
Económico	CHESTER, L. [13]	Conceptualizing energy security and making explicit its polysemic nature	Estado del Arte	Mercado mundial energético
Económico	COSTANTINI, V, et. al [17]	Security of energy supply: Comparing scenarios from a European perspective	Indicador Suministro Energético	Políticas energéticas en países OCDE
Económico	IEA [38]	Security of supply in electricity markets	Diversificación de fuentes energéticas	Diagnóstico del mercado de combustibles fósiles, Políticas energéticas en países OCDE
Económico	JANSEN J. et al. [48]	Long-term energy services security: What is it and how can it be measured and valued?	Técnicas para toma de decisiones	Diagnóstico del mercado de combustibles fósiles (Caso de Estudio)
Económico	KRÖGER, W. [52]	Issues of Secure Energy Supply	Diversificación de fuentes energéticas	Políticas energéticas en Europa
Económico	KRUUYT B., et. al. [54]	Indicators for energy security	Indicador Suministro Energético	Definición Aseguramiento Energético
Económico	LE COQ, C., et. al.[55]	Measuring the security of external energy supply in the European Union	Indicador Suministro Energético	Políticas energéticas en Europa
Económico	LÖSCHEL, A., et. al. [57]	Indicators of energy security in industrialised countries	Indicador Suministro Energético	Definición Aseguramiento Energético
Económico	LÖSCHEL, A., et. al. [58]	Energy security—concepts and indicators	Indicador Suministro Energético	Definición Aseguramiento Energético
Económico	MARKANDYA, A., et. al.[61]	Energy security, energy modelling and uncertainty	Indicador Suministro Energético	Definición Aseguramiento Energético
Económico	NUTTALL, W., et. al.[69]	A new energy security paradigm for the twenty-first century	Estado del Arte	Cambio climático

TIPO ENFOQUE	AUTOR(ES)	TÍTULO	ÁREAS DE APLICACIÓN	ÁREAS ESPECÍFICAS
Económico	YUSTA, J [95].	Amenazas a la seguridad del suministro energético español	Diversificación de fuentes energéticas	Mercado mundial energético, Políticas energéticas en Europa
Geopolítico	BALAT, M [4]	Security of energy supply in Turkey: Challenges and solutions	Diversificación de fuentes energéticas	Políticas energéticas en Europa
Geopolítico	CIEP Clingendael Institute. [8]	EU Energy Supply Security and Geopolitics	Infraestructura Crítica y Recursos Clave	Diagnóstico del mercado de combustibles fósiles, Políticas energéticas en Europa
Geopolítico	Instituto de Estudios de Seguridad de la U.E. [43]	Estrategia Europea de Seguridad	Infraestructura Crítica y Recursos Clave	Políticas y recomendaciones de seguridad
Geopolítico	NAILL, R., et. al. [64]	A SYSTEM DYNAMICS MODEL FOR NATIONAL ENERGY POLICY PLANNING	Geopolítica y pensamiento militar	Diagnóstico del mercado de combustibles fósiles, Políticas energéticas en EE.UU
Geopolítico	QUINTO, J [74].	Seguridad de suministro: un valor en alza para la política energética y en la política de seguridad nacional	Diversificación de fuentes energéticas	Mercado mundial energético
Infraestructura Crítica	BAKER, G [3].	A Vulnerability Assessment Methodology for Critical Infrastructure Facilities	Infraestructura Crítica y Recursos Clave	Políticas y recomendaciones de seguridad
Infraestructura Crítica	BARRY, C [5]	Infrastructure Vulnerability Assessment Model (I-VAM)	Infraestructura Crítica y Recursos Clave	Protección Infraestructura
Infraestructura Crítica	BROWN, M., et. al.[6]	Energy Security	Infraestructura Crítica y Recursos Clave	Políticas y recomendaciones de seguridad, desastres y respuestas ante emergencias
Infraestructura Crítica	Comisión de las Comunidades Europeas. [14]	Libro Verde: Sobre un Programa Europeo para la Protección de Infraestructuras Críticas	Infraestructura Crítica y Recursos Clave	Políticas energéticas en Europa, Protección Infraestructura
Infraestructura Crítica	DIRECTIVA 2008/114/CE. [21]	sobre la identificación y designación de infraestructuras críticas europeas y la evaluación de la necesidad de mejorar	Infraestructura Crítica y Recursos Clave	Políticas energéticas en Europa, Protección Infraestructura

TIPO ENFOQUE	AUTOR(ES)	TÍTULO	ÁREAS DE APLICACIÓN	ÁREAS ESPECÍFICAS
		su protección		
Infraestructura Crítica	DINANNO, T [22].	Alianzas público-privadas para Infraestructura crítica y Recursos Clave (CI/KR)	Infraestructura Crítica y Recursos Clave	Políticas energéticas en EE.UU
Infraestructura Crítica	MOTEFF, J [63].	Risk Management and Critical Infrastructure Protection: Assessing, Integrating, and Managing Threats, Vulnerabilities, and Consequences	Infraestructura Crítica y Recursos Clave	Evaluación Amenazas
Infraestructura Crítica	NESS, L [67].	Securing Utility and Energy Infrastructures	Infraestructura Crítica y Recursos Clave	Vulnerabilidad Infraestructura energética
Infraestructura Crítica	NIPP [68]	National Infrastructure Protection Plan. US Department of Homeland Security	Infraestructura Crítica y Recursos Clave	Protección Infraestructura, Políticas energéticas en EE.UU
Infraestructura Crítica	U.S. DHS [87]	Critical infrastructure and key resources sectors	Infraestructura Crítica y Recursos Clave	Evaluación Amenazas, protección infraestructura
Infraestructura Crítica	U.S. DHS [90]	Directive 7: Critical Infrastructure Identification, Prioritization, and Protection	Infraestructura Crítica y Recursos Clave	Evaluación Amenazas, protección infraestructura
Infraestructura Crítica	U.S. DHS [88]	Government facilities critical infrastructure and key resources sector-specific plan as input to the national infrastructure protection plan	Infraestructura Crítica y Recursos Clave	Evaluación Amenazas, protección infraestructura
Infraestructura Crítica	U.S. DHS [89]	Interim integrated risk management framework	Infraestructura Crítica y Recursos Clave	Evaluación Amenazas, protección infraestructura
Militar	BELLUCK, D., et. al.[6]	ENVIRONMENTAL SECURITY, CRITICAL INFRASTRUCTURE AND RISK ASSESSMENT: DEFINITIONS AND CURRENT TRENDS	Infraestructura Crítica y Recursos Clave	Recomendaciones, Análisis y Políticas, Protección Infraestructura

TIPO ENFOQUE	AUTOR(ES)	TÍTULO	ÁREAS DE APLICACIÓN	ÁREAS ESPECÍFICAS
Militar	SAUNDERS, J [79].	A Dynamic Risk Model for Information Technology Security in a Critical Infrastructure Environment	Geopolítica y pensamiento militar	Evaluación Amenazas, protección infraestructura
Militar	STAPELBERG, R [83].	Infrastructure Systems Interdependencies and Risk Informed Decision Making (RIDM): Impact Scenario Analysis of Infrastructure Risks Induced by Natural, Technological and Intentional Hazards	Geopolítica y pensamiento militar	Evaluación Amenazas, protección infraestructura
Militar	GYLE, T. [30]	Critical infrastructure protection in homeland security	Infraestructura Crítica y Recursos Clave	Evaluación Amenazas, protección infraestructura

La discusión del concepto de seguridad energética abarca los conceptos claves ilustrados anteriormente. Dentro de la revisión del estado del arte de dicha, se destaca el enfoque económico, geopolítico, infraestructura crítica y recursos claves y pensamiento militar y de seguridad nacional.

2.2. ANÁLISIS DE LA LITERATURA

Para los autores CHESTER [13] y NUTTALL, W., et. al. [69], el concepto de “seguridad del suministro energético”, asume la energía como elemento estratégico de desarrollo en cualquier país. El aseguramiento energético tiene dimensiones según su Disponibilidad, Adecuación de Infraestructura y Capacidad energética, Asequibilidad y Sostenibilidad [13]. Un último dimensionamiento tiene que ver con el impacto que las fuentes energéticas tienen sobre el cambio climático. Algunas naciones realizan una amplia promoción en torno al fuerte desarrollo y despliegue de tecnologías energéticas limpias [69].

En concepto de la IEA [38], la liberación de los mercados es un factor fundamental para garantizar la disponibilidad y asequibilidad de fuentes energéticas en un país. Este concepto es ampliamente discutido en la respectiva publicación [38]. Muchas de sus sugerencias se convirtieron en políticas en la mayoría de países de la OCDE que han optado por liberar los mercados eléctricos, petróleo y gas natural. Por otro lado, KRÖGER, [52] y YUSTA, [95], realizan la identificación de algunas amenazas que impactan el comportamiento del mercado energético y su impacto en el normal desempeño del mercado energético.

En la dimensión de Disponibilidad Energética, COSTANTINI, et. al [17] proponen algunos indicadores que miden el riesgo al cual están sometidos los países de la OCDE para garantizar su aseguramiento energético en combustibles fósiles. Los autores LE COQ, C., et. al. [55], KRUYT B., et. al. [54], LÖSCHEL, A., et. al. [57], [58] plantean una definición económica del concepto de aseguramiento energético, y discuten aspectos conceptuales del mismo y, a continuación sugieren la distinción entre indicadores ex-ante y ex-post, aplicados a países de la OCDE, así como indicadores que “midan” la disponibilidad de recursos fósiles en el largo plazo para varios países. MARKANDYA, A., et. al. [61] cuestionan la creación de impuestos y/o subsidios como estrategia en algunos países para asegurar la disponibilidad y asequibilidad de recursos energéticos y demuestran su teoría a partir de algunos

indicadores econométricos.

JANSEN J. et al. [48] proponen una metodología para medir el índice de Suministro y Demanda de recursos energéticos como petróleo y gas natural en los países europeos. Dicha metodología se explica más adelante en el capítulo 6 de este trabajo de máster.

Diversos estudios realizan importantes discusiones acerca de la relación entre la seguridad del abastecimiento energético y la geopolítica. Tanto el *CIEP Clingendael Institute* [8], como el *Instituto de Estudios de Seguridad de la U.E.* [43] coinciden en alertar a todos los gobiernos que la energía debe convertirse en parte integral del comercio exterior. Las políticas de comercio exterior son instrumentos cruciales de política energética para lograr la seguridad futura del abastecimiento. Se hace un especial énfasis en el diagnóstico internacional del mercado de combustibles fósiles, así como la protección de infraestructura energética y recursos claves, para garantizar la disponibilidad energética en la Unión Europea.

Los autores BALAT [4] y QUINTO [74], realizan amplias discusiones geopolíticas acerca de lo que debe ser las políticas de aseguramiento energético, con aplicación a los países de Turquía y España.

Probablemente la mayor fuente de bibliografía y literatura especializada relacionada con el aseguramiento energético, está relacionada con la Identificación, designación, protección de Infraestructura Crítica y los recursos claves asociados. Dentro de esta designación se tiene toda aquella infraestructura que puede generar impacto notable sobre el desempeño social y económico de una nación. Dicha definición incluye toda la infraestructura de servicios públicos (Agua, Energía, Telecomunicaciones), movilidad (Vías, carreteras, puentes, túneles, ferrocarriles, entre otras), e instalaciones de defensa nacional. Autores como BAKER, [3], BARRY, [5], BROWN, et. al. [7], MOTEFF, [63] y NESS [67] proponen sendos tratados que sirven para identificar las acciones encaminadas a proteger infraestructura e instalaciones energéticas tanto en el sector público como privado. Sus recomendaciones están asociadas a la seguridad ciudadana y a la protección contra amenazas no técnicas a nivel de catástrofes naturales, atentados terroristas, ataques informáticos, entre otros.

Por su parte, las instrucciones gubernamentales descritas en el Libro Verde de la Comisión de las Comunidades Europeas [14] y la DIRECTIVA 2008/114/CE [21], a nivel europeo, como en el programa de protección de infraestructura crítica del departamento de seguridad nacional de los EEUU, contenidos en el NIPP [68], y en las directivas U.S. DHS [87], [88], [89], [90] contienen todos los requerimientos y lineamientos con la finalidad de coordinar a todas las entidades estatales en torno al objetivo común de proteger la infraestructura energética y la identificación de recursos claves.

El pensamiento militar tiene una dimensión muy importante en la definición del concepto de aseguramiento energético. Esta concepción usualmente corresponde a información cerrada, normalmente clasificada como secreto de estado. Sin embargo, algunas publicaciones que están en línea con la estrategia militar, permiten evaluar amenazas y formular políticas de protección, antes que ocurra un incidente que afecte la infraestructura energética, o que desestabilice el equilibrio geopolítico, afectando la sostenibilidad energética. Coinciden las publicaciones de BELLUCK, D., et. al. [6], GYLE, [30], SAUNDERS, [79], y STAPELBERG, R [83], que enmarcadas en una línea de pensamiento en torno a la seguridad y defensa nacional, en la determinación de políticas y recomendaciones, evaluación de amenazas, para evitar complicaciones en el desempeño de la infraestructura energética y las fuentes de suministro de países consumidores de energía, en Europa y EE.UU.

2.3. COMENTARIO FINAL

La literatura relacionada con la definición del aseguramiento energético es amplia y abierta al público. En general, la revisión literaria científica e informativa proporciona información que relaciona la definición de “seguridad del abastecimiento energético” en las siguientes

áreas de aplicación:

- ✓ Estado del Arte sobre el Suministro Energético
- ✓ Indicadores sobre el Suministro Energético
- ✓ Diversificación de fuentes energéticas
- ✓ Técnicas para toma de decisiones
- ✓ Infraestructura Crítica y Recursos Clave
- ✓ Geopolítica y pensamiento militar

Es decir, la definición de “seguridad del abastecimiento energético” abarca una gran cantidad de enfoques, de tipo económico, militar, geopolítico y de infraestructura.

Aunque este término aparece constantemente a lo largo de una amplia gama de informes y documentos publicados en la última década tanto por los gobiernos como por organismos supranacionales (como la Comisión Europea), así como en trabajos académicos, raramente se acompaña de un debate o una explicación de los conceptos que subyacen en su significado. Sin embargo, la agrupación aquí demostrada en este trabajo, permite aclarar las dudas que se asocian a dicha definición.

Es posible deducir por qué dicha definición recibe amplia atención por parte de los gobiernos, dado que las infraestructuras críticas asociadas al sistema energético de un país, pueden ser destruidas o sufrir daños o interrupciones debido a acciones terroristas deliberadas, catástrofes naturales, accidentes o actos de piratería informática, actividades delictivas o comportamientos malintencionados.

3. DIAGNÓSTICO EN AMENAZAS AL ASEGURAMIENTO ENERGÉTICO

En línea con lo estudiado en el capítulo anterior, el concepto convencional de seguridad energética tiene una fuerte relación con el agotamiento de los recursos naturales, en especial, lo relacionado con petróleo, gas natural y carbón. A esto se suma la relación con el marco estratégico y militar que vincula la seguridad energética con la seguridad nacional. En línea con las definiciones estudiadas previamente en el capítulo 2, el concepto de aseguramiento energético se ha enmarcado principalmente en torno a la disponibilidad y el acceso a los combustibles fósiles.

3.1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA EN EL TEMA

El diagnóstico sobre la seguridad energética ha llegado a la cima de la agenda internacional de una manera no vista desde el embargo petrolero de la década de 1970. Un ejemplo de ello lo constituye la admisión del estado ruso al grupo del G8 en el encuentro de San Petersburgo en julio de 2006, donde quedó establecida la seguridad energética en el centro de la escena internacional, dándole un protagonismo internacional no visto en los últimos años. [69]

En la última década, el aumento sostenido de los precios mundiales de la energía, así como la creciente demanda de energía en China e India, los conflictos en África y el Oriente Medio, y los desastres naturales, y asuntos como las tragedias ecológicas atribuidas a la explotación de petróleo, contribuyen a que el suministro de este recurso natural, de por sí bastante ajustado en la actualidad, deteriore la capacidad de sostenibilidad y suministro energético [69]. Este pensamiento ha dado origen al diseño de políticas y estrategias nacionales encaminadas a disminuir en el largo plazo la adicción al petróleo, como las contenidas en el SET Plan de la Unión Europea [21], la Ley de Sostenibilidad Energética aprobada por el gobierno de Barack Obama en los EE.UU, o la estrategia China de sostenibilidad. [78]

El petróleo literalmente mueve la economía mundial. Con sólo 1/20 de la población mundial, los EE.UU consumen casi ¼ del petróleo mundial y cuenta con menos del 3% de las reservas mundiales probadas de petróleo. Las repentinas fluctuaciones en la oferta petrolera repercuten en todos los países que dependen de este producto y las interrupciones en el suministro suponen un riesgo adicional. [80]

Los mercados para las empresas que desarrollan tecnologías de la energía están muy influenciados por la evolución de las regulaciones gubernamentales (límite a las emisiones de azufre, comercio de emisiones, etc.). Las tecnologías usualmente se desarrollan con antelación las medidas de reglamentación para garantizar la propiedad intelectual y protección contra los cambios en el mercado. Sin embargo, el desarrollo y despliegue de tecnología en el mercado también puede retrasarse, en la medida que no sean expedidas las regulaciones gubernamentales.

En el contexto del cambio climático global, el concepto de seguridad energética ha sido tratado hasta hace poco, de manera un tanto ingenua y acrítica, eclipsado en la UE para la política del gasoducto con Rusia y la sombra en los EE.UU. por el aumento de los precios del petróleo y las tensas relaciones con algunos países de Oriente Medio. [69]

Las circunstancias están cambiando y están apareciendo informes influyentes sobre el impacto de la quema de combustibles fósiles (a través del cambio climático) sobre la seguridad energética. Un ejemplo de ello es el informe publicado recientemente por el Foro Económico Mundial [93].

Por otro lado, es innegable la relación existente entre seguridad energética y seguridad nacional. Un ejemplo es la sugerencia del reciente grupo de trabajo en el Consejo de

EE.UU. de Relaciones Exteriores presidido por John Deutch y James Schlesinger, cuya sugerencia indica que los EE.UU. debe "integrar las cuestiones de energía con su política exterior" y que los EE.UU. debe realizar la transición a una economía que se base menos en el uso del petróleo [64]. Sugerencias en ese sentido también se emiten a partir de comisiones especializadas en los organismos europeos, como las establecidas por el CIEP [8] y por la IEA [72].

Publicaciones y literatura especializada, donde se diagnostica el actual estado del aseguramiento energético, de acuerdo a la clasificación que se presenta en la Tabla 2, que se muestra a continuación.

Tabla 2: Aproximación Diagnóstico en el concepto de "Seguridad del Suministro Energético"

TIPO DIAGNÓSTICO	AUTOR(ES)	TÍTULO	ÁREAS DE APLICACIÓN	ÁREAS ESPECÍFICAS
Económico	CIEP Clingendael Institute. [8]	EU Energy Supply Security and Geopolitics	Infraestructura Crítica y Recursos Clave	Recomendaciones, Análisis y Políticas
Económico	COSTANTINI, V., et. al. [17]	Security of energy supply: Comparing scenarios from a European perspective	Indicador Suministro Energético	Metodología
Económico	IEA [38]	Security of supply in electricity markets	Diversificación de fuentes energéticas	Recomendaciones, Análisis y Políticas
Económico	IEA [42]	World Energy Outlook Report, 2009	Informativo	Diagnóstico de vulnerabilidades y situación actual
Económico	MARKANDYA, A, et. al. [61]	Energy security, energy modelling and uncertainty	Técnicas Multicriterio	Metodología
Económico	MARTENSON, Chris. [60]	The Crash Course	Informativo	Geopolítica
Económico	ÖLZ, S, et. al. [72]	CONTRIBUTION OF RENEWABLES TO ENERGY SECURITY	Informativo	Geopolítica
Económico	ROSEN, D, et. al. [78]	China Energy: A Guide for the Perplexed	Diversificación de fuentes energéticas	Recomendaciones, Análisis y Políticas
Económico	SCHIFF, Peter. [80]	Crash Proof	Informativo	Geopolítica
Económico	IEA [42]	World Energy Outlook Report, 2009	Informativo	Geopolítica
Económico	YUSTA, José María. [95]	Amenazas a la seguridad del suministro energético español	Diversificación de fuentes energéticas	Metodología
Político	Comisión de las Comunidades Europeas. [14]	Libro Verde: Sobre un Programa Europeo para la Protección de Infraestructuras Críticas	Infraestructura Crítica y Recursos Clave	Recomendaciones, Análisis y Políticas

TIPO DIAGNÓSTICO	AUTOR(ES)	TÍTULO	ÁREAS DE APLICACIÓN	ÁREAS ESPECÍFICAS
Político	DIARIO OFICIAL DE LAS COMUNIDADES EUROPEAS. DIRECTIVA 2008/114/CE. [21]	sobre la identificación y designación de infraestructuras críticas europeas y la evaluación de la necesidad de mejorar su protección	Infraestructura Crítica y Recursos Clave	Recomendaciones, Análisis y Políticas
Político	KIRCHSTEIGER, C, et. al. [51]	Towards a European energy risks monitor to consistently map safety and security risks of different energy infrastructures	Informativo	Geopolítica
Político	NUTTALL, William J. & MANZ, Devon L [69]	A new energy security paradigm for the twenty-first century	Estado del Arte	Recomendaciones, Análisis y Políticas
Político	QUINTO, Javier. [74]	Seguridad de suministro: un valor en alza para la política energética y en la política de seguridad nacional	Diversificación de fuentes energéticas	Geopolítica
Político	VALERO DELGADO, Alicia [91]	Estudio de la evolución exergética del capital mineral de la tierra	Indicador exergético	Metodología
Político	VOROPAI N, et. al. [92]	Energy Security as a Factor of the Common Energy Cooperation in East Asia	Informativo	Geopolítica
Político	World Economic Forum [93]	The New Energy Security Paradigm	Informativo	Geopolítica
Seguridad Nacional	CONSOLINI, Todd. [16]	Regional security assessments: A strategic approach to securing federal facilities	Evaluación de Amenazas	Geopolítica
Seguridad Nacional	BELLUCK, D, et. Al. [6]	ENVIRONMENTAL SECURITY, CRITICAL INFRASTRUCTURE AND RISK ASSESSMENT: DEFINITIONS AND CURRENT TRENDS	Infraestructura Crítica y Recursos Clave	Recomendaciones, Análisis y Políticas
Seguridad Nacional	Instituto de Estudios de Seguridad de la U.E. [43]	Estrategia Europea de Seguridad	Infraestructura Crítica y Recursos Clave	Recomendaciones, Análisis y Políticas
Seguridad Nacional	NIPP. [68]	National Infrastructure Protection Plan. US Department of Homeland Security	Infraestructura Crítica y Recursos Clave	Geopolítica

TIPO DIAGNÓSTICO	AUTOR(ES)	TÍTULO	ÁREAS DE APLICACIÓN	ÁREAS ESPECÍFICAS
Seguridad Nacional	U.S. Department of Homeland Security. [89]	Interim integrated risk management framework	Infraestructura Crítica y Recursos Clave	Políticas

En resumen, el diagnóstico de amenazas a la situación de seguridad energética cubre aspectos políticos, económicos y de seguridad nacional.

3.2. ANÁLISIS DE LA LITERATURA

El diagnóstico económico del aseguramiento energético se analiza alrededor de problemáticas geopolíticas, lo cual tiene inmenso impacto entre la opinión pública. Las discusiones publicadas por MARTENSON, [60] y SCHIFF, [80] han causado gran revuelo dentro de la opinión pública norteamericana. Estos autores explican el abismo al cual se dirige la sociedad norteamericana a consecuencia de la adopción de un sistema económico respaldado en el consumo y uso de la energía. Adicionalmente, en concepto de los autores ÖLZ, S, et. al., en el informe de la IEA sobre energía sostenible [72], se realiza un diagnóstico acerca de la actual situación geopolítica que impacta el modelo de las economías más grandes del planeta, las cuales están soportados en una teoría económica que considera la disponibilidad infinita de recursos energéticos.

Igualmente, las publicaciones de la IEA [38], ROSEN [86] abordan el diagnóstico económico de la seguridad energética, explicando diversos riesgos, asociados a la diversificación de fuentes energéticas, e igualmente se proponen políticas dirigidas a los gobiernos de países de la OCDE y de China, que buscan mitigar los riesgos identificados. Adicionalmente, YUSTA, [95] propone un análisis metodológico de dichos riesgos y una clasificación en amenazas técnicas y no técnicas.

Una de las explicaciones que abordan estos autores tienen que ver con la escalada en los precios del petróleo, la más aceptada es el reflejo de la mayor de de la demanda energética en Asia, la restricción en producción, por las menores inversiones en el suministro de energía a finales de la década de 1990 y principios de 2000 y una mayor concentración de las reservas de petróleo y gas las reservas en unos pocos países políticamente inestables [8]. Otras publicaciones, sin embargo, atribuyen las últimas escaladas en los precios del petróleo directamente al agotamiento de las reservas de este mineral. Los gobiernos en diferentes partes del mundo han respondido a la actual la situación mediante la formulación de políticas para mejorar la seguridad del suministro [66]. En la mayoría de los casos, sin embargo, estos intereses no se formulan en términos cuantificables, por parte de los organismos gubernamentales.

COSTANTINI, V., et. al. [17] realiza un diagnóstico en el que afirma que existe un acuerdo sobre el equilibrio mundial de oferta y demanda en lo que va corrido del siglo XX y afirma que las reservas totales de petróleo se consideran suficientes hasta el 2050. Se realizan estudios en 13 escenarios de largo plazo hasta el 2100. Para el gas la situación es aún mejor: las reservas son suficientes al menos para 2045 y las reservas y los recursos son suficientes para 2100. Dentro de este diagnóstico, se indica que por el lado de la oferta, hay una gran incertidumbre sobre el suministro de petróleo desde Medio Oriente y desde África, mientras que la oferta de gas tiene menos variabilidad, ya que la producción se espera que crezca en más del 50%, con todas las aquellas regiones productoras, pero sobre todo los países de la antigua Unión Soviética, el Oriente Medio y África. Por el lado de la demanda, las previsiones de la demanda de petróleo son divergentes para América del Norte y el bloque asiático, en ambos casos, reflejando los distintos supuestos de política, incluida la aplicación del Protocolo de Kioto. La demanda de gas muestra pequeñas variaciones, y una expansión general en todas las regiones, pero aquí también existe incertidumbre en la

demanda de gas sobre Canadá, México y EE.UU. En concepto de MARKANDYA, A, et. al. [61] mediante un estudio econométrico se puede captar el importante papel que los precios de la energía dentro de un gran bloque consumidor de petróleo, puede desempeñar en la reducción de los impactos de la incertidumbre de la oferta extranjera.

El tema de la Infraestructura Crítica y Recursos Clave es fundamental en el diagnóstico de amenazas de a la seguridad energética. La mitigación de los riesgos asociados a la infraestructura energética se convierten en políticas, a partir de las publicaciones del Libro Verde de Comisión de las Comunidades Europeas [14], la DIRECTIVA 2008/114/CE [21] el Instituto de Estudios de Seguridad de la U.E. [43] y el CIEP Clingendael Institute. [8], quienes retoman la visión europea. Por su parte, el U.S. Department of Homeland Security [89] plantea un diagnóstico sobre el actual estado de seguridad de la infraestructura energética y legisla sobre la coordinación de las entidades gubernamentales estadounidense, que están recopiladas en el NIPP [68].

3.3. COMENTARIO FINAL

El diagnóstico sobre la problemática del aseguramiento energético no es tan amplio, y en general, aunque existe disponibilidad de literatura abierta, es posible inferir que gran parte de la documentación es de tipo cerrada (administrada por entes gubernamentales y de seguridad nacional).

La revisión literaria relacionada con el diagnóstico de la “seguridad del abastecimiento energético” pudo ser agrupada en las siguientes áreas de aplicación:

- ✓ Infraestructura Crítica y Recursos Clave
- ✓ Indicadores sobre Suministro Energético y Exergía
- ✓ Diversificación de fuentes energéticas
- ✓ Técnicas Multicriterio

En general, la interrupción del suministro de energía ha sido identificada por muchos como la principal amenaza que enfrenta la seguridad energética global. Este ejemplo es representativo del sentido para un diagnóstico sobre el tema de seguridad energética, en una perspectiva que abarca disponibilidad del recurso energético, la economía nacional, la seguridad nacional y la política militar.

De hecho, las políticas energéticas mundiales se están enfocando en la garantía del acceso a la energía por parte de las grandes economías, teniendo en cuenta la altísima demanda de recursos cada vez más escasos (como es el petróleo). De ahí el énfasis que se encuentra en la literatura, para estudiar los escenarios de suministro con fuentes energéticas alternativas.

4. CLASIFICACIÓN DE AMENAZAS AL ASEGURAMIENTO ENERGÉTICO

Las cadenas de suministro energético presentan características muy diferentes, y estas cadenas interactúan entre sí en caso de crisis [74]. Estos problemas tienen habitualmente carácter técnico, pero también existen amenazas no técnicas que pueden afectar a la seguridad del suministro energético del país [95].

4.1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA EN EL TEMA

El enfoque clásico de la seguridad energética ante sucesos accidentales o desastres naturales tiene un punto de inflexión precisamente tras el 11 de septiembre de 2001, cuando los políticos y la industria se han visto obligados a considerar la amenaza de ataques intencionados a las infraestructuras o la desestabilización de los aprovisionamientos internacionales de combustibles en un grado superior al evaluado hasta ese momento [25].

La literatura especializada realiza la clasificación de las amenazas al suministro energético en identificación de diversas clases. Esencialmente, esta clasificación de amenazas viene dada por escenarios alrededor de las Fuentes de Energía, la Economía, el medio Ambiente, la Política, y la Sociedad. El escenario más inmediato viene caracterizado por el contexto actual de la energía. El crecimiento económico mundial, empujado por la entrada en escena de los países en vías de desarrollo, seguirá dependiendo del consumo de combustibles fósiles, supeditando cualquier interés medioambiental a un segundo plano [29]. Los intereses económicos continuarán primando por encima de cualquier otro.

BELLUCK, et. al. [6], realizan una identificación alrededor de aspectos como la seguridad ambiental (Protección contra la degradación del medio ambiente con el fin de preservar o proteger la salud humana, los materiales y los recursos naturales en escalas que van de lo global a lo local).

VALERO [91] propone otro tipo de enfoque que enlaza científicamente la falta de concienciación social sobre el posible agotamiento de estas fuentes y sus repercusiones en el medio ambiente, junto con una escasa regulación del sector público, lo cual hace prever un largo camino hasta la sostenibilidad.

En este punto también es importante anotar la clasificación que hacen tanto la Comisión Europea, a través de la directiva 114 de 2008 [21] y el departamento de seguridad de EEUU a través del NIPP [68] y la respectiva directiva 7 del departamento de seguridad nacional [90], en la cual se efectúan algunas pautas para clasificar la infraestructura crítica y los recursos claves, de conformidad con su impacto en la economía y en la seguridad nacional de los estados.

La siguiente Tabla 3 presenta una recopilación de la literatura que relaciona la clasificación de amenazas al aseguramiento energético.

Tabla 3: Publicaciones que clasifican las amenazas al sistema de seguridad del Suministro Energético”

DIAGNÓSTICO DE AMENAZAS	AUTOR(ES)	TÍTULO	CLASIFICACIÓN	ENFOQUE
Amenazas no técnicas	Comisión de las Comunidades Europeas. [14]	Libro Verde: Sobre un Programa Europeo para la Protección de Infraestructuras Críticas	Infraestructura Crítica y Recursos Clave	Seguridad nacional. Amenazas globales y largo plazo
Amenazas no técnicas	BELLUCK, D, et. al. [6]	Environmental security, critical infrastructure and	Infraestructura Crítica y Recursos	Identificación de Amenazas

DIAGNÓSTICO DE AMENAZAS	AUTOR(ES)	TÍTULO	CLASIFICACIÓN	ENFOQUE
		risk assessment: definitions and current trends	Clave	ambientales, amenazas locales y corto plazo
Amenazas no técnicas	CONSOLINI, Todd [16]	Regional security assessments: A strategic approach to securing federal facilities	Infraestructura Crítica y Recursos Clave	Seguridad nacional, Amenazas globales
Amenazas no técnicas	DIARIO OFICIAL DE LAS COMUNIDADES EUROPEAS. DIRECTIVA 2008/114/CE [21]	Sobre la identificación y designación de infraestructuras críticas europeas y la evaluación de la necesidad de mejorar su protección	Infraestructura Crítica y Recursos Clave	Seguridad nacional Amenazas globales a corto y largo plazo
Amenazas no técnicas	FUTURE TRENDS FORUM [29]	Energía: El desafío de la Demanda	Sostenibilidad Energética	Eficiencia Energética. Amenazas a largo plazo
Amenazas no técnicas	NESS, Larry [67]	Securing Utility and Energy Infraestructures	Infraestructura Crítica y Recursos Clave	Seguridad nacional y seguridad empresarial. Amenazas locales
Amenazas no técnicas	NIPP. [68]	National Infrastructure Protection Plan. US Department of Homeland Security	Infraestructura Crítica y Recursos Clave	Seguridad nacional. Amenazas locales a corto y largo plazo
Amenazas no técnicas	U.S. Department of Homeland Security. [90]	Directive 7: Critical Infrastructure Identification, Prioritization, and Protection	Infraestructura Crítica y Recursos Clave	Seguridad nacional, nivel global, corto y largo plazo
Amenazas técnicas	QUINTO, Javier [74]	Seguridad de suministro: un valor en alza para la política energética y en la política de seguridad nacional	Sistema energético español	Sistema energético (Electricidad y combustibles fósiles)
Amenazas técnicas	VALERO, Alicia [91]	Estudio de la evolución exergética del capital mineral de la tierra	Sistema exergético	Evaluación de recursos, indicadores. Amenazas globales, largo plazo
Amenazas técnicas y Amenazas No	YUSTA, José María. [95]	Amenazas a la seguridad del suministro energético español	Sistema energético español	Identificación de Amenazas, a nivel local,

DIAGNÓSTICO DE AMENAZAS	AUTOR(ES)	TÍTULO	CLASIFICACIÓN	ENFOQUE
Técnicas				global, corto y largo plazo
Amenazas técnicas y Amenazas No Técnicas	XM [94]	Mapa de Riesgos XM	Sistema energético colombiano	Identificación de Amenazas, a nivel local y corto plazo
Amenazas técnicas y Amenazas No Técnicas	ISAGEN [45]	Mapa de Riesgos ISAGEN	Sistema energético colombiano	Identificación de Amenazas a nivel local y corto plazo

La clasificación de las amenazas es del tipo Local, Global, de Corto Plazo, o de Largo Plazo.

4.2. ANÁLISIS DE LA LITERATURA

La manera más clara de estudiar estas amenazas es mediante una clasificación como *Amenazas Técnicas o No Técnicas*. Las primeras involucran riesgos inherentes al funcionamiento de los sistemas de suministro, transmisión, distribución y comercialización de energía. Situándonos en España, cuyo caso es muy similar al de otros países de la UE o Japón o Corea, se trata de dar respuesta hoy a algunas cuestiones como si en un entorno energético mundial como el actual debe sobre ponderarse o no la seguridad de suministro como objetivo de la política energética. QUINTO [74] realiza un análisis acerca del origen de recursos energéticos que son comprados por España como fuente primaria de energía. Algunas recomendaciones para cubrir los riesgos del suministro en el sistema español son:

1. Diversificación de las fuentes primarias importadas, por tipos de combustible, por países de origen y por rutas de abastecimiento.
2. Diversificación de fuentes de generación eléctrica, buscando tecnologías más eficientes en términos de coste y de impacto ambiental.
3. Promoción del ahorro, la eficiencia y las fuentes autóctonas y renovables de energía, sabiendo que existen límites técnicos y económicos.
4. Aumento en la escala geográfica del mercado, para incrementar el nivel competitivo, siempre y cuando tales mercados sean competitivos, específicamente la integración geográfica de mercados de electricidad y de gas.
5. Incremento en el almacenamiento y uso eficiente de las reservas “estratégicas” de energía.
6. Una política exterior de España más vinculada a los intereses energéticos nacionales.
7. Una regulación que promueva holgura de inversiones energéticas y una operación conjunta de la seguridad en el abastecimiento de las energías primarias.
8. Una política tecnológica-energética.
9. Promoción de una nueva relación Estado-agentes energéticos que facilite estas y otras premisas y regulaciones con objeto de asegurar el suministro.

VALERO [91] realiza un análisis global y de largo plazo, sobre las propiedades termodinámicas de la tierra y su evolución exergética, lo que permite clasificar algunos conceptos sobre las amenazas de tipo técnico en el potencial energético de los recursos naturales no renovables. Empezando desde la propiedad exergía, se construye una serie de indicadores que deben medir el grado de escasez de los minerales en la tierra. También se

propone la aplicación del modelo de HUBBERT [34] para la evaluación del pico de producción de minerales no energéticos. VALERO [91] identifica las amenazas técnicas al abastecimiento energético, dado que predice que a la fecha (2010), ya se ha alcanzado máximo de producción para minerales como oro, plata, plomo y petróleo. El Zinc alcanzará el pico en el 2010, cobre en el 2021, gas natural en el 2025, hierro en el 2026, níquel en el 2040 y carbón en el 2048. En la Figura 71 se puede apreciar el pico de producción según las actuales reservas de los principales minerales energéticos (Petróleo, Carbón, Gas Natural).

Por otro lado, algunas publicaciones plantean metodologías para protegerse de las amenazas técnicas y no técnicas identificadas en los sistemas energéticos, entre las que se destacan los mapas de riesgo implementados por empresas energéticas en países como Colombia (ISA, ISAGEN, XM), que han experimentado la vulnerabilidad del sistema eléctrico, por causas de desastres naturales y por ataques terroristas [44], [45], [94]. La Figura 4 y la Figura 5 presentan la clasificación de dichas amenazas, las cuales pueden considerarse de tipo local y de corto plazo, frente a las cuales se desarrollan los respectivos planes de acción.

Las amenazas no técnicas están normalmente asociadas a la protección del sistema de infraestructura energética y el aseguramiento de los recursos claves, los cuales se tratan desde el enfoque de seguridad nacional, según la directiva 114/2008 de la CE [21] y el programa NIPP [68] americano. En todos los casos se busca el compromiso de todas las agencias gubernamentales y los estados asociados para el objetivo común de identificar y proteger la infraestructura energética. La responsabilidad principal y última de proteger las infraestructuras corresponde a los Estados y a los propietarios u operadores de tales infraestructuras.

Un aspecto de clasificación de amenazas no técnicas involucra la sostenibilidad energética de un país. La Fundación Bankinter [29] realiza una clasificación importante de este tipo de amenazas, mediante un análisis global, alertando sobre el actual modelo energético que comienza a no ser sostenible. Nos enfrentamos a una situación que no puede perdurar en el tiempo: en primer lugar, por la dependencia casi exclusiva de fuentes energéticas finitas y, en segundo lugar, por los efectos dañinos que producen en el medio ambiente.

La seguridad del suministro energético produce una creciente preocupación ante el horizonte de oferta y demanda que plantean los expertos. Si los gobiernos continúan con las políticas vigentes, las necesidades energéticas del mundo serán un 60% más altas en el año 2030 [29]. Los combustibles fósiles continuarán dominando el panorama energético, provocando la mayor parte del incremento en el uso energético, y las aportaciones de la energía nuclear y las fuentes energéticas renovables seguirán siendo limitadas. Ante tal escenario, todo hace pensar que el suministro energético podría no estar garantizado.

No obstante, muchos países ya han comenzado a otorgar gran importancia en sus agendas políticas al aseguramiento energético como consecuencia de esta situación de incertidumbre caracterizada por los siguientes factores: [29]

- Precio del petróleo elevado y volátil que repercute directamente en el crecimiento económico de los países.
- Creciente demanda energética de fuentes no renovables intensificada por el auge económico de nuevos competidores con inmensas poblaciones (China, India, Brasil, etc.).
- Aumento de la dependencia de importaciones energéticas para el abastecimiento de numerosos países.
- Inestabilidad política de grandes productores de combustibles fósiles, desastres naturales y otras amenazas.

Algunas de las medidas que se pueden abordar son las siguientes: [29]

- Asegurar el comercio internacional de energía, entendiendo que ningún país puede alcanzar la autosuficiencia energética.
- Buscar la máxima diversificación de las fuentes de suministro y de la infraestructura requerida.
- Reducir la volatilidad y el riesgo existentes adaptando la dirección de la Agencia Internacional de Energía.
- Animar desde los gobiernos a la sociedad y al sector privado a ser más eficientes energéticamente y a que innoven y desarrollen nuevas tecnologías.

4.3. COMENTARIO FINAL

La literatura puede agruparse según se realiza un mayor análisis al identificar una gama más amplia de amenazas en riesgos de tipo técnicos y no técnicos, así como de las infraestructuras que pueden ser objeto de amenazas. También se realiza una clasificación de amenazas a corto plazo, largo plazo, globales, locales, las cuales son discutidas dentro de las amenazas técnicas y no técnicas.

La clasificación de amenazas no técnicas abarcan todos aquellos riesgos de tipo geopolítico, estratégico, geográfico, y militar que impactan el suministro energético a un país. Precisamente este enfoque consiste en determinar si la clasificación de un factor de riesgo, es del tipo técnico y/o no técnico, y constituye la guía para aplicar una futura metodología de identificación y evaluación en un sistema de administración de riesgos.

5. EVALUACIÓN Y VALORACIÓN DE AMENAZAS AL ASEGURAMIENTO ENERGÉTICO

El término de “seguridad energética” abarca múltiples que se asocian a diferentes amenazas o riesgos, entre las cuales se distinguen: [10]

- ✓ La seguridad energética se refiere a una gestión de riesgos.
- ✓ La seguridad energética corresponde a una mezcla energética, relacionada con la abundancia de los recursos locales, y/o dependencia de las importaciones.
- ✓ El término de “seguridad energética” es un concepto, no una política, con intención estratégica.
- ✓ Las políticas se implementan para mejorar la seguridad energética.
- ✓ La seguridad energética puede tener una dimensión temporal.
- ✓ La seguridad energética será diferente entre los distintos mercados de la energía.
- ✓ La seguridad energética será diferente entre las partes interesadas mercado de la energía.

5.1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA EN EL TEMA

En primer lugar, una característica inherente de la seguridad energética se refiere a la gestión del riesgo respecto a la interrupción del suministro o a la energía no disponible. Estos aspectos incluyen el riesgo de no satisfacer la demanda, el riesgo de precios impagables de la energía y el riesgo de dependencia de fuentes no sostenibles de energía. Estos riesgos pueden ser causados por inestabilidades del mercado de energía, fallas técnicas o amenazas de seguridad física [10]

Un segundo punto se refiere a la “mezcla” de recursos energéticos, la abundancia de los recursos locales y la dependencia de las importaciones, lo cual queda consignado en el Libro Verde de 2006, sobre Estrategia Europea para una energía sostenible, competitiva y segura [14]. El documento hace especial énfasis más fuerte sobre la seguridad física de la oferta (infraestructura de red, almacenamiento, diversificación de suministros). El objetivo de la seguridad de suministro, ahora separada de la sostenibilidad energética, está dirigido a “frenar la creciente dependencia de la UE de la energía importada” [14] y prevee que aumente a alrededor del 70% de las necesidades energéticas en los próximos 20 a 30 años. Esta dependencia se va a “abordar” por una serie de medidas políticas como la reducción de la demanda, diversificación de la combinación energética y las fuentes de suministro, estímulo de la inversión en la capacidad instalada, la preparación para emergencias, y acceso a la energía para las empresas y para los ciudadanos. La clara prioridad de la seguridad energética es reducir al mínimo la vulnerabilidad de los países de la UE en lo que se refiere a importación, escasez de suministro y la incertidumbre en la oferta frente a pocos proveedores de gas [10].

En tercer lugar, la seguridad el término “energía” refleja claramente un concepto (una idea abstracta) con algún tipo de intención estratégica [10]. La seguridad del suministro se convierte en una estrategia de gestión del riesgo costo-efectiva de los gobiernos, las empresas y los consumidores [58].

En cuarto lugar, el concepto de seguridad energética tiene una dimensión temporal. Los riesgos o amenazas a la oferta física varían en horizontes de corto, mediano y largo plazo. Los riesgos a corto plazo incluyen las condiciones meteorológicas extremas, accidentes, ataques terroristas, o fallas técnicas. El principal tema de preocupación es la fiabilidad y la continuidad de los mecanismos tecnológicos y comerciales disponibles que convierten las fuentes de energía primaria para su utilización final por los consumidores. La preocupación

por los riesgos a largo plazo se refiere a la adecuación de la oferta para satisfacer la demanda, así como la adecuación de infraestructura para ofrecer el suministro a los mercados que, a su vez, dependen de los niveles de inversión y contratación, el desarrollo de la tecnología y la disponibilidad de fuentes de energía primaria [10]. Por lo tanto el significado atribuido a la seguridad energética será distinto a través diferentes horizontes de tiempo debido a que la probabilidad y las consecuencias de los diferentes riesgos o amenazas a la oferta varían con el tiempo. [10]

Un quinto aspecto se refiere a las diferencias entre los mercados energéticos. Existen diferencias significativas entre el petróleo, el gas natural, la energía nuclear y los mercados de electricidad de energía, así como la rigidez de las infraestructuras de transporte, las dificultades de almacenamiento, y la naturaleza regional de los mercados [10]. En consecuencia, para aplicar el concepto de seguridad energética al mercado de gas se entenderá en un sentido diferente que si se aplica al mercado del petróleo o al mercado de la electricidad [10].

La siguiente Tabla 4, presenta la literatura especializada que hace referencia al concepto de evaluación y valoración de amenazas en el marco del “aseguramiento energético”

Tabla 4: Literatura sobre evaluación y valoración de amenazas a la “Seguridad del Suministro Energético”

TEMA	AUTOR(ES)	TÍTULO
Definición Aseguramiento Energético	CHESTER, L. [10]	Conceptualizing energy security and making explicit its polysemic nature
Definición Aseguramiento Energético	MARKANDYA, Anil & PEMBERTON, Malcolm [61]	Energy security, energy industry and uncertainty
Definición Aseguramiento Energético	ISA [44]	Política para la gestión Integral de Riesgos del grupo ISA
Evaluación Recursos Energéticos	POHEKAR, S & RAMACHANDRAN, M. [73]	Application of multi-criteria decision making to sustainable energy planning—A review
Evaluación Recursos Energéticos	Comisión de las Comunidades Europeas. [14]	Libro Verde: Sobre un Programa Europeo para la Protección de Infraestructuras Críticas
Indicador exergía	VALERO DELGADO, Alicia [91]	Estudio de la evolución exergética del capital mineral de la tierra
Indicador Suministro Energético	CLEVELAND, Cutler J.& COSTANZA, Robert [9]	Energy return on investment (EROI).
Indicador Suministro Energético	KRUYT, B, et. Al. [54]	Indicators for energy security
Indicador Suministro Energético	TAYLOR, C, et. Al. [85]	Risk Analysis and Probabilistic Survivability Assessment (RAPSA): An Assessment Approach for Power Substation Hardening
Indicador Suministro Energético	LE COQ, Ch, PALTSEVA, E. [55]	Measuring the security of external energy supply in the European Union
Indicador Suministro Energético	LÖSCHEL, A. et. Al. [57]	Indicators of energy security in industrialized countries

TEMA	AUTOR(ES)	TÍTULO
Indicador Suministro Energético	COSTANTINI, V. et. al. [17]	Security of energy supply: Comparing scenarios from a European perspective
Gestión de Riesgos Corporativos de empresas energéticas	ISA, ISAGEN, XM [44], [45], [94]	Mapa de Riesgos Empresariales de empresas colombianas ISA, ISAGEN, XM
Gestión de Riesgos Corporativos de empresas energéticas	Estándar Australiano AS/NZS 4360:1999.	Estándar Australiano para la administración de riesgos
Gestión de Riesgos Corporativos de empresas energéticas	ICONTEC [37]	Norma Técnica Colombiana NTC 5254 para la Gestión de riesgos

5.2. ANÁLISIS DE LA LITERATURA

Vale la pena destacar el trabajo de recopilación de las definiciones previamente argumentadas al inicio de este capítulo, presentado en la publicación de CHESTER [10]. A partir de dichas definiciones se esbozan algunos indicadores de alcance económico, que pueden aplicarse a la problemática del aseguramiento en el suministro energético.

El trabajo de Valero [91] presenta algunos indicadores referidos a la evolución exergética del capital mineral de la tierra, mediante los cuales se cuantifican las reservas de los minerales energéticos como carbón, gas natural y petróleo en la tierra, con lo cual es posible predecir el agotamiento de las principales reservas de dichos minerales en los próximos 50 años. De ahí la necesidad para que los estados garanticen la ejecución de avances tecnológicos que les permita abandonar la alta dependencia del petróleo y asegurar su independencia energética. Una discusión más amplia de este trabajo puede consultarse en la página 124 (Anexo 2).

Otro indicador importante, utilizado ampliamente en los trabajos sobre aseguramiento energético, es referido al EROI (*Energy return on investment*), el cual expresa la cantidad de energía obtenida al invertir una unidad de energía. Dicho concepto es ampliamente discutido en [9] y en [24]. Sin embargo, en el Anexo 2, en la página 121 se hace una mayor discusión del mencionado indicador. Una conclusión importante acerca del EROI en el marco del aseguramiento energético de un estado, es el hecho que cada vez se necesita mayor inversión de recursos energéticos para obtener una unidad neta de energía útil para los procesos sociales (Transporte, electricidad, climatización, industria, etc). Como consecuencia, la energía es cada vez más cara y de difícil obtención. El libro verde de la C.E. [14], que sirvió de base para la emisión de la directiva 114/2008 [21], hace especial énfasis en la necesidad de diversificar las fuentes de energía primaria (Proveniente de combustibles fósiles) dada la necesidad de invertir más energía para obtener una unidad energética.

5.2.1. Indicadores de Seguridad Energética

Dentro del concepto de definición del aseguramiento energético presentado se distinguen las definiciones de algunos indicadores en las publicaciones de KRUYT, et. al. [54], los cuales son presentados en torno a 4 características del concepto de Seguridad del Suministro. Estas categorías no deben interpretarse como aisladas, sino que están sujetas a interrelaciones complejas [54]

- ✓ Disponibilidad (Elementos relacionados con la disponibilidad de las reservas minerales de los recursos energéticos).
- ✓ Accesibilidad (Relación con elementos geopolíticos).

- ✓ Asequibilidad (Relación con elementos económicos).
- ✓ Aceptabilidad (Relación con elementos ambientales y sociales).

Una visión general de los indicadores se encuentran en la literatura distinguen entre indicadores desagregados o simples, e indicadores agregados.

5.2.2. Indicadores de Estimación de Recursos y Reservas

La disposición de las reservas de recursos puede ser utilizado como un indicador directo de seguridad del suministro. Por desgracia, gran número de incertidumbres rodean los importes de los recursos de hidrocarburos y su potencial de extracción. Hay pocos estudios que proporcionan estimaciones de los recursos fósiles. VALERO [91] presenta una discusión muy útil al respecto, sobre la actual situación de las reservas mundiales de combustibles fósiles y su posibilidad de extracción, bajo la teoría del potencial exergético de la tierra. Para el efecto, se efectúan unidades energéticas para la contabilidad de recursos en toneladas de petróleo equivalente (tep).

Adicionalmente, los autores COSTANTINI, et. al. [17] presentan el uso de indicadores con los cuales se realiza la extracción de escenarios para países de la OCDE, en el cual la demanda de petróleo y gas puede ser compensada con los recursos y reservas.

5.2.3. Indicadores de tasas de producción sobre reservas

Las relaciones de producción usualmente son medidas a partir del EROI (Energy return on investment), el cual expresa la cantidad de energía obtenida al invertir una unidad de energía, y cuyo indicador es discutido en [9] y en [24].

El indicador puede ser un poco simple en el caso de interpretar la rápida evolución de la demanda las estimaciones inciertas en las reservas.

5.2.4. Indicadores de diversidad

Los índices de diversidad proporcionan un medio para cuantificar la diversidad en el suministro energético de manera formal.

Una de las estrategias para protegerse contra los riesgos del suministro, consiste en el impulso que los estados otorgan a la diversidad en los combustibles energéticos, la energía así como en su procedencia geográfica. Adicionalmente, la diversidad entre proveedores constituye un medio de cobertura contra el poder de mercado. CHESTER et. al [10] sostiene que un índice de diversidad debe considerar tres elementos clave: Variedad (el número de categorías), Equilibrio (la extensión la mayoría de categorías) y Disparidad (el grado en que las categorías son diferentes entre sí). Sin embargo, no existe tal índice, dada la dificultad para definir disparidad. Por lo tanto, en ausencia de una medida adecuada de la disparidad los índices que formalmente miden la diversidad usualmente se centran en la variedad y en el equilibrio.

5.2.5. Indicadores de Importaciones

En el concepto de seguridad energética, las mediciones de las importaciones de una nación, constituye uno de los indicadores más importantes [10], por la posibilidad de expresar estas mediciones en términos físicos o monetarios. A efectos de seguridad del suministro, parece más práctico ver las importaciones netas. En el caso de un país o una región que actúa como un centro de transporte, o simplemente en el contexto de los productos objeto de libre comercio, sustrayendo la energía exportada (petróleo / gas / electricidad) este indicador proporciona una visión más realista de las dependencias en una nación.

La metodología sugerida por LE COQ & PALTSEVA en [55], presentan el riesgo de los países de la Unión Europea frente a las importaciones energéticas en recursos como

5.2.6. Indicadores de Situación Política

La situación política en los países proveedores es de suma importancia para la seguridad del suministro de energía, porque los gobiernos controlan el suministro real de energía real o las condiciones en que las demás partes desarrollen esta actividad [54]. Uno de los indicadores más notorios corresponde al índice de desarrollo humano del PNUD [39], que consiste en un indicador social estadístico compuesto por tres parámetros:

- ✓ Vida larga y saludable (medida según la esperanza de vida al nacer).
- ✓ Educación (medida por la tasa de alfabetización de adultos y la tasa bruta combinada de matriculación en educación primaria, secundaria y superior, así como los años de duración de la educación obligatoria).
- ✓ Nivel de vida digno (medido por el PIB per cápita PPA en dólares).

5.2.7. Indicadores de Precios de la Energía

En un mercado que funcione bien, las funciones de precios actúan como un mecanismo de equilibrio entre oferta y demanda. Los precios por lo tanto son una indicación de la oferta en relación con la demanda, que también se consideran como una medida del impacto económico. Adicionalmente, también reflejan la escasez y por lo tanto el agotamiento de los recursos energéticos. El precio del petróleo juega un papel especial. Al ser portador dominante de energía en la mayor parte del mundo, el precio del petróleo es visto como un indicador crucial de seguridad del suministro energético [91].

Una dificultad, en el uso de los precios del petróleo, sin embargo, es que estos precios están influenciados también por otros factores (especulación, comunicación estratégica, la escasez a corto plazo). Para el uso en los escenarios, hay que señalar que los precios del petróleo son extremadamente difíciles de modelar con precisión.

En el trabajo expuesto por Löschel, et. al. [57] se sugiere una dimensión adicional a lo largo de los indicadores de la seguridad energética que se pueden clasificar como *expost* los cuales se basan principalmente en la evolución de precios y *exante* que sirve para ilustrar problemas potenciales de un país en capacidad de obtener los volúmenes de energía a precios que no superen significativamente los niveles anteriores de evolución de los precios a mediano plazo [57]. Tomando la base de países de la OCDE, se ilustra el desarrollo de dichos indicadores en el tiempo.

5.2.8. Teoría de portafolio con varianza media

Corresponde a una teoría que se deriva de la economía Financiera. Puede ser aplicada a un portafolio de generación de energía eléctrica, como se discute en MUÑOZ et. al. [64], no sólo teniendo en cuenta la unidad generadora de costes, sino también la variación en los costos de combustible, y las correlaciones entre los costes de diferentes fuentes de energía primaria. STIRLING [84] expone una aplicación en la cual, en lugar de obtenerse una combinación energética óptima, el análisis de la cartera proporciona una frontera eficiente, un límite en el dominio de costo-riesgo [54]. Como tal, la teoría de portafolio con varianza media es más un método de optimización que un indicador como lo son los nombrados anteriormente.

En su análisis, STIRLING [84] relaciona algunas condiciones de incertidumbre en la consideración de la diversidad. Se amplía la concepción tradicional de la diversidad y afirma que su método propuesto de análisis multicriterio se adapta a una gama más amplia de las perspectivas socio-políticas. Cuando se aplica a la seguridad energética del método pretende articular los enfoques con el fin de proporcionar una información más sólida a los

responsables políticos.

Debido a que los combustibles son sustitutos entre sí, o dado que los precios están acoplados (como ocurre con el gas en algunas partes de Europa, donde se acopla su precio al del petróleo), las crisis de precios en un mercado puede tener efectos indirectos sobre otros. Contrariamente a las formas tradicionales de medir la diversidad, esta teoría sí permite abordar este tipo de cuestionamientos. [54]

5.2.9. Contribución de fuentes energéticas sin emisiones

JACOBSSON et. al [46] presentan el esfuerzo que debe realizarse para el cambio de una economía altamente intensiva en la emisión de gases de efecto invernadero. Esto se hace teniendo en cuenta la cuota de la combinación entre energía renovable y nuclear en el suministro total de energía primaria [54], [72].

5.2.10. Liquidez del mercado

Este término se refiere a la capacidad de los mercados para hacer frente a fluctuaciones de la oferta y la demanda [57]. La IEA incluye una medida de la liquidez del mercado en su documento de información sobre seguridad energética y está relacionado con la elasticidad de precios [38], [72].

5.2.11. Indicadores sobre gestión de la demanda

Este tipo de indicadores tienen mayor relación con el impacto de la escasez de energía. De esta manera se muestra la dependencia económica respecto de los recursos energéticos, y en consecuencia, la sensibilidad a los cambios de precios.

Dentro de este tipo de indicadores, se destacan el uso per cápita de barriles equivalentes de petróleo, como lo presenta VALERO [91]. Por otro lado, otro ejemplo se constituye con la disponibilidad de la biomasa tradicional frente a las crecientes necesidades de alimentos [10].

Estos indicadores, sin embargo, hasta ahora han sido poco utilizados en el contexto de los indicadores de seguridad del suministro energético [54]. Algunos indicadores se centran en el uso de la energía en un sector (por ejemplo, la proporción de petróleo usado en el sector del transporte, ya que el sector del transporte es muy inelástico y a la fecha, tiene pocas opciones de sustitución).

La siguiente Tabla 5 permite identificar el resumen conceptual de los indicadores más utilizados en la definición de la seguridad del suministro energético.

Tabla 5: Resumen de indicadores más útiles en el concepto de seguridad del suministro energético”

Indicador	Información Requerida	Utilidad en formulación de políticas
Indicadores de Estimación de Recursos y Reservas	Cantidad y probabilidad de disponibilidad de combustibles fósiles	Cualitativo
Indicadores de tasas de producción sobre reservas	Estimativos de recursos y producción	Cualitativo
Indicadores de diversidad	Cuota de participación de proveedores	No
	Cuota de participación de productores	No
Indicadores de Importaciones	Cuotas de participación de países proveedores de energía	Sí
Indicadores de Situación Política	Índice de desarrollo humano (Depende del paradigma sobre el riesgo político)	Cualitativo
Indicadores de Precios de la Energía	Precio del petróleo, del gas y/o del carbón	Sí

Indicador	Información Requerida	Utilidad en formulación de políticas
Teoría de portafolio con varianza media	Cuotas de participación en la generación según tecnología y tipo de combustible	No
Contribución de fuentes energéticas sin emisiones	Cuotas de participación del tipo de combustible en Tonelada equivalente de petróleo	Sí
Liquidez del mercado	Combustible disponible en las necesidades de demanda, según la cantidad de energía producida o importada	Sí
Indicadores sobre gestión de la demanda	Intensidad energética, Producto Interno Bruto, Uso per-cápita de petróleo, Uso de Energía por sectores económicos	Limitado

5.3. VALORACIÓN DE AMENAZAS

Las técnicas multicriterio para la Toma de Decisiones están ganando cada vez más popularidad en la gestión de la energía sostenible. Se destacan los métodos basados en promedios ponderados para las decisiones de la planificación energética (en los cuales se establecen prioridades, y se realizan combinaciones), entre las cuales se destacan las metodologías AHP, Prométhée y Electre.

Tradicionalmente, las técnicas de toma de decisiones se orientaban a procesos de optimización con maximización de beneficios y reducción al mínimo de los costes. Actualmente los métodos de toma de decisiones proporcionan una mejor comprensión de las características inherentes del problema de decisión, mediante la promoción de un papel más activo de los participantes en la toma de decisiones, facilitando el compromiso y las decisiones colectivas, a la vez que se ofrece una buena plataforma para la comprensión de la percepción de los modelos en un escenario realista.

POHEKAR & RAMACHANDRAN [73] presentan una revisión de las aplicaciones de algunos trabajos de la literatura especializada en la planificación energética y la protección frente a amenazas en el suministro energético, donde se aplican técnicas de toma de decisiones multiobjetivo, como AHP, Electre, Prometee, Programación por compromisos.

También existen aproximaciones en la evaluación de amenazas al suministro energético, desde el punto de vista de los modelos econométricos tradicional, como es el trabajo presentado por MARKANDYA & PEMBERTON en [61], en el cual se asocia la incertidumbre con la disponibilidad energética.

JANSEN et al [48] proponen un indicador importante llamado *índice de suministro y demanda* que mide la seguridad de suministro de una región definida en el mediano y largo plazo, y que tiene por objeto integrar consideraciones de la oferta y factores del lado de la demanda. Este índice se normaliza en el rango de 0 (muy baja seguridad) a 100 (de seguridad extremadamente alta). Cubre aspectos como la demanda final de energía, conversión de la energía y el transporte y el suministro de fuentes de energía primaria y, por tanto, en principio, el sistema energético. El *índice de suministro y demanda* utiliza cuatro tipos de entradas, dos de tipo objetivas y otras dos de naturaleza más subjetivas.

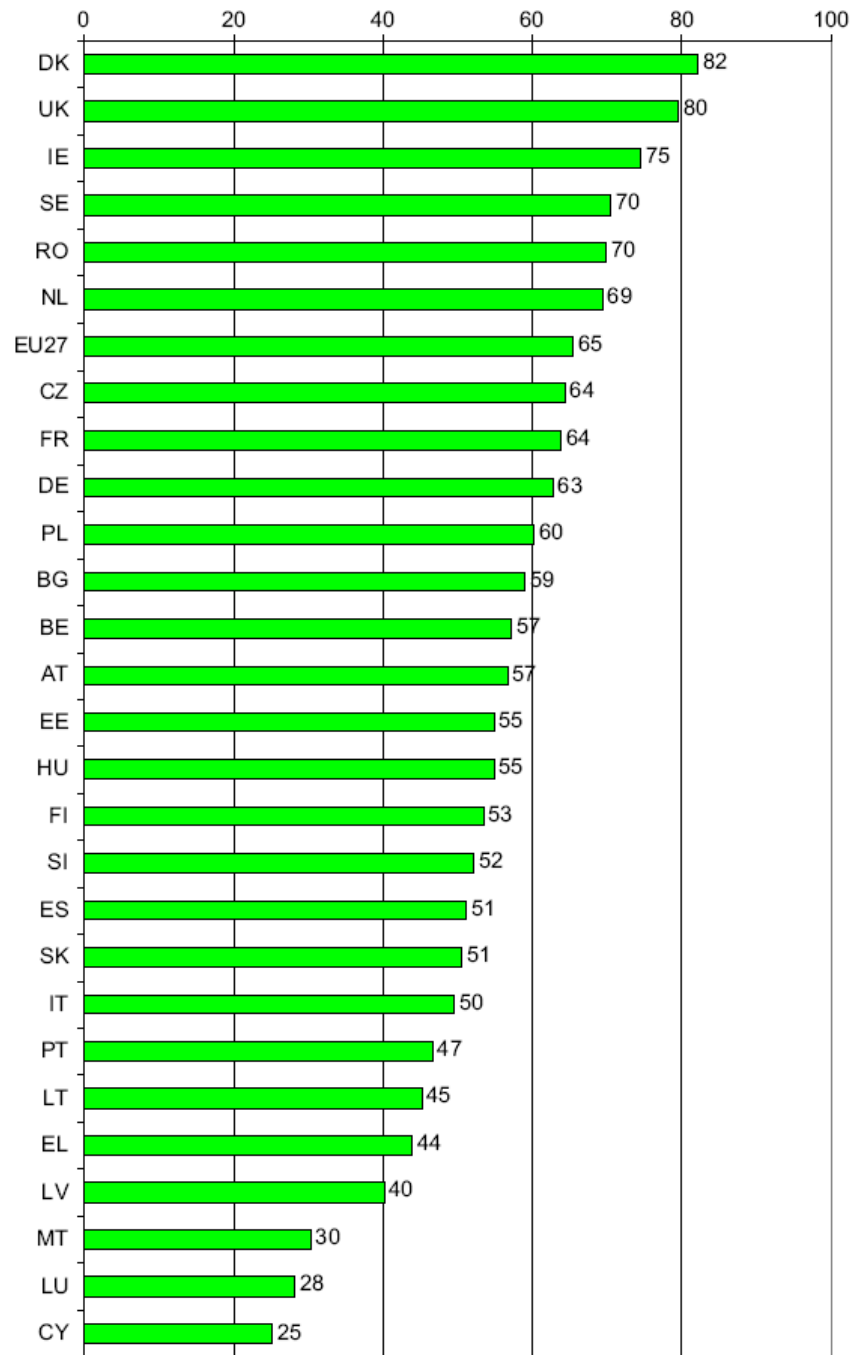


Figura 3. Índice de Suministro y Demanda en países de Europa. Fuente [48]

Las entradas objetivas corresponden al suministro de energía primaria y las categorías de demanda (para el suministro: petróleo, gas, carbón, nuclear, energías renovables y para la demanda: uso industrial, uso residencial, uso terciario y el uso del transporte) y los valores que caracterizan la eficiencia, idoneidad y fiabilidad en la conversión y transporte en función del vectores energéticos secundarios (electricidad, gas, calefacción, y combustibles para el transporte). Más adelante en la Figura 3 se muestra el modelo conceptual de los elementos considerados en el cálculo del índice de suministro y demanda [48]. El *índice de suministro y demanda* combina esa información con un peso predeterminado ciertos factores y reglas de puntuación.

Los valores del índice para el año 2005 se muestran en la Figura 3. El rango varía desde 25 (Chipre), hasta 82 (Dinamarca). Las principales diferencias en las puntuaciones entre los estados miembros de la Unión Europea corresponden a diferencias entre el suministro de

las fuentes de energía primaria. 19 estados miembros con alta dependencia en la importación de petróleo y gas, tiene una puntuación relativamente baja. Tales estados miembros son: Chipre, Luxemburgo, Malta, Letonia, Grecia, Lituania y Portugal. Por otra parte, los Estados miembros que son exportadores netos de gas y / o petróleo tienen una puntuación relativamente alta, es decir, un *índice de suministro y demanda* de 60 o superior, por ejemplo, el Reino Unido (80).

Los Estados miembros cuyas fuentes primarias de energía provienen de las importaciones dentro del bloque europeo (Por ejemplo, petróleo del mar del norte), o que implementan tecnologías de producción de energía con fuentes renovables y/o con una producción combinada de calor y electricidad también consiguen un *índice de suministro y demanda* relativamente alto.

Dinamarca (82), Irlanda (75), y en menor medida, Suecia (70). Como la mayoría de los estados miembros más grandes (Alemania, Francia, Reino Unido) presentan puntuaciones relativamente altas, la puntuación para el conjunto de la UE-27 la región es también relativamente alto (65).

Más adelante, en la Figura 6 se notifican las diferentes consideraciones que se tienen en cuenta para cada país en la valoración del índice de suministro y demanda de energía.

5.4. GESTIÓN DE RIESGOS

Frecuentemente se encuentra en la literatura importantes alusiones a la gestión de riesgos empresariales, o *Enterprise Risk Management* (ERM), que ha tenido un importante auge en los últimos años. Esta gestión de riesgos, tiene una importantísima relevancia en las empresas del sector energético. Para el efecto, se involucran el establecimiento del contexto y la identificación, análisis, evaluación, tratamiento, comunicación y la monitorización en curso de los riesgos.

Una referencia importante lo constituye el Estándar Australiano para la Gestión de Riesgos, conocido como el modelo AS/NZS 4360:1999 [26]. Variantes de dicha normalización, se han establecido en países como Colombia, cuyas empresas energéticas, han optado por la estandarización de la gestión de riesgos corporativos bajo la norma NTC 5254 [37]. La administración de riesgos es reconocida como una parte integral de las buenas prácticas gerenciales. Es un proceso iterativo que consta de pasos, los cuales, cuando son ejecutados en secuencia, posibilitan una mejora continua en el proceso de toma de decisiones.

La administración de riesgos es el término aplicado a un método lógico y sistemático de establecer el contexto, identificar, analizar, evaluar, tratar, monitorear y comunicar los riesgos asociados con una actividad, función o proceso de una forma que permita a las organizaciones minimizar pérdidas y maximizar oportunidades. Esto implica tanto identificar oportunidades como evitar o mitigar pérdidas. [26]

Utilizando el esquema de clasificación de riesgos planteado por ICONTEC [37] es posible clasificar los riesgos existentes en empresas energéticas en cinco grandes grupos:

- ✓ Riesgos de entorno
- ✓ Riesgos estratégicos
- ✓ Riesgos financieros
- ✓ Riesgos operacionales
- ✓ Riesgos de asignación de recursos

La gestión de riesgos, involucran procedimientos para la identificación y valoración de las amenazas, en las cuales, las empresas del sector energético declaran sus criterios y definen el marco de actuación para la gestión integral de los riesgos que generan vulnerabilidad en los recursos empresariales, requeridos en todos los procesos que son críticos para la

continuidad y competitividad en la prestación de los servicios del suministro de energía. Un ejemplo de esta valoración corresponde a las empresas eléctricas ISA, ISAGEN y XM [44], [45], [94], en Colombia, que mediante sus políticas de gestión de riesgos, valoran las diferentes amenazas al servicio de suministro de energía, para posteriormente tomar acciones preventivas y correctivas.

La Gestión Integral de Riesgos constituye una práctica inherente a la actividad empresarial, razón por la cual no obedece a prescripciones jurídicas o normativas, sino a la intencionalidad estratégica de la Organización para preservar la integridad de los recursos empresariales, incrementar la ventaja competitiva y garantizar la continuidad del negocio frente a los diferentes riesgos a los cuales se encuentra expuesta. [44]

El ciclo de la Gestión Integral de Riesgos comprende las siguientes nociones.

- ✓ **Identificación:** Proceso para determinar los posibles eventos que afecten los recursos o desvíen el logro de los objetivos del Grupo Empresarial.
- ✓ **Evaluación:** Medición del riesgo frente a su probabilidad de ocurrencia y la severidad de sus consecuencias, de acuerdo con las escalas preestablecidas para cada recurso. Permite identificar las prioridades para su gestión.
- ✓ **Manejo:** Aplicación de medidas con el fin de reducir la probabilidad de ocurrencia y/o la severidad de las consecuencias del riesgo.
- ✓ **Monitorización:** Comprobar, supervisar, observar críticamente y registrar el progreso de una actividad, acción y/o sistema en forma integral y periódica, para identificar cambios y retroalimentar oportunidades de mejoramiento para la Gestión Integral de Riesgos.
- ✓ **Comunicación y divulgación:** Poner en común información, ideas y habilidades orientadas hacia la apropiación y la concientización de la Gestión Integral de Riesgos en todas las etapas del ciclo.

El siguiente esquema muestra los principales riesgos asociados los cuales se agrupan por categorías, las cuales representan las diferentes “fuentes” de riesgos a las que está expuesto el sistema energético.

Dichas “fuentes” de riesgo pueden estar dentro o fuera de las empresas del sector energético tal como se especifica en la Figura 4 y en la Figura 5.



Figura 4. Modelo de fuentes de riesgo a las empresas del sector energético. Fuente XM [94]

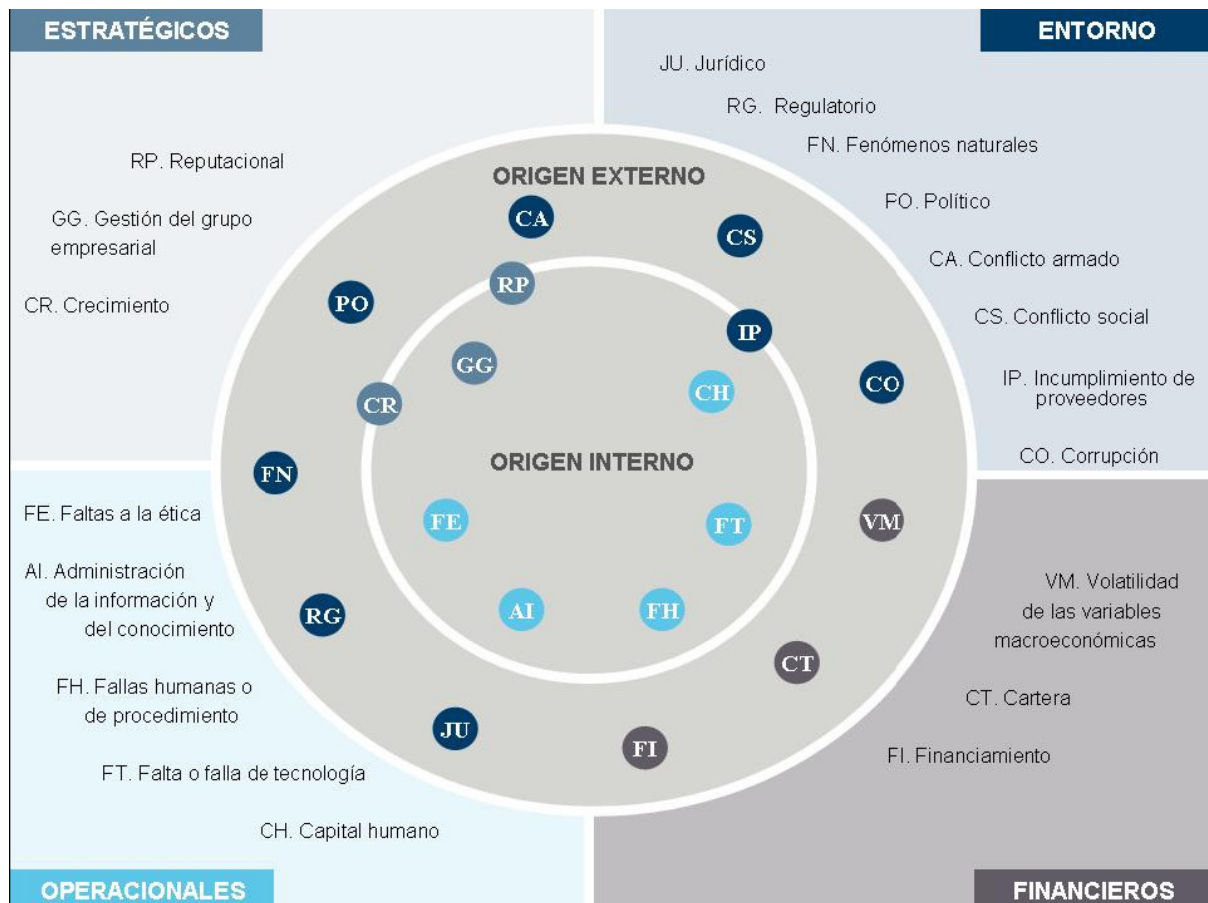


Figura 5. Modelo de riesgos al sistema energético en Colombia. Fuente ISA [44]

La metodología de Administración del Riesgo ajustada a las empresas del sector energético, fundamentada en la aplicación del Estándar Australiano de Administración del Riesgo AS/NZS 4360:1999 facilita la realización de un análisis cuantitativo, con el fin de valorar y precisar más la calificación de los riesgos a términos económicos; con objeto de

facilitar la toma de decisiones en cuanto al establecimiento de acciones de control efectivas.

Para medir el impacto de las acciones de mitigación de los riesgos se recomienda a las empresas del sector energético, utilizar la relación costo - beneficio; este método permite priorizar las diferentes acciones de control que se puedan diseñar para resolver una situación riesgosa en particular.

5.5. COMENTARIO FINAL

La literatura relacionada con la evaluación de amenazas al sistema de abastecimiento energético cubre una amplia gama de temas, que pueden ser agrupados en los siguientes grandes grupos:

- ✓ Definición Aseguramiento Energético
- ✓ Evaluación Recursos Energéticos
- ✓ Indicadores sobre Suministro Energético y Exergía
- ✓ Gestión de Riesgos Corporativos de empresas energéticas

Ha sido posible estudiar las diferentes técnicas que se emplean para valorar el sistema de seguridad energética en un país, entre los que se destacan los diferentes indicadores económicos y de exergía de combustibles fósiles, que indican la probabilidad y el impacto que se causa en la economía de un país, por efectos de las amenazas que afectan a dicho sistema.

Adicionalmente, se ilustra la metodología de administración de riesgos cuyo estándar australiano sirve de referencia a nivel mundial, y que es de amplia aceptación en las empresas del sector energético. Precisamente esta metodología es la que se propone aplicar en este trabajo, dada la estructuración de la misma, y la posibilidad que sea combinada con otras técnicas de cuantificación (como las técnicas de toma de decisiones o las técnicas de simulación).

6. ASPECTOS SOBRE PRIORIZACIÓN Y ACCIONES EN EL ASEGURAMIENTO DEL SUMINISTRO ENERGÉTICO

Los sistemas de infraestructura pueden ser vistos como una red estructurada de mecanismos interdependientes que prestan servicios a los activos físicos. Estas relaciones de interdependencia entre los sistemas de infraestructura incrementan drásticamente su complejidad [83].

6.1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA EN EL TEMA

Las investigaciones sobre las interdependencias de infraestructura consideran riesgos en seguridad derivados de peligros naturales, tecnológicos e intencionales. Para evaluar los resultados y el aprendizaje en torno a la gestión de riesgos se definen algunas cuestiones [83]:

- ¿Qué métodos analíticos pueden capturar, clarificar y predecir los comportamientos complejos de los sistemas de infraestructura?
- ¿Qué indicadores describen adecuadamente la complejidad de sistemas?
- ¿Cómo pueden tenerse en cuenta el riesgo y la incertidumbre, deben incorporarse a la gestión de sistemas de infraestructura?
- ¿Cuáles son los riesgos para la seguridad inducida por desastres naturales, tecnológicos, así como los peligros intencionales?
- ¿Cuál es el mejor enfoque para la gestión de desastres en vista de las interdependencias de múltiples sistemas de infraestructuras?
- ¿Quiénes son los principales encargados de adoptar decisiones y los interesados, y cuáles son sus metas y objetivos?
- ¿Cuáles son las medidas de respuesta más adecuada y las estrategias de adaptación?

La evaluación de riesgos implica integrar la amenaza, la vulnerabilidad y la información sobre las consecuencias en el evento de fallo en el sistema de suministro energético. La gestión del riesgo implica decidir qué medidas de protección se debe tomar con base en una estrategia acordada de reducción de riesgos. A juicio del servicio de investigación del Congreso de los EE.UU, en su mayor parte estas metodologías constan de los siguientes elementos [63]:

- Identificar activos y determinar las que son más críticos.
- Identificar, caracterizar y evaluar las amenazas.
- Evaluar la vulnerabilidad de los elementos críticos ante amenazas específicas.
- Determinar el riesgo (es decir, las consecuencias previstas de tipos específicos de ataques a bienes específicos).
- Identificar maneras de reducir estos riesgos.
- Priorizar las medidas para reducción del riesgo, basándose en una estrategia.

En respuesta a las estrategias e interrogantes formulados anteriormente, el gobierno de los EEUU involucra a todos los Departamentos, Agencias y Oficinas Federales y también al sector privado en la elaboración del NIPP [68]. La aportación más importante de este plan es su metodología de análisis y gestión de riesgos, que define los procesos para relacionar consecuencias, vulnerabilidad e información sobre amenazas para producir valoraciones de los riesgos de los distintos sectores e infraestructuras. Además, el plan interrelaciona los

riesgos de los sectores entre sí, aspecto crítico en la evaluación de amenazas a la seguridad de las infraestructuras energéticas que, como se ha identificado en este artículo, se encuentran estrechamente vinculadas entre sí (por ejemplo, la dependencia entre los sistemas de electricidad y gas). [22]

La Comisión Europea ha acometido en los últimos diez años, con éxito muy relativo, numerosas iniciativas para definir y construir una política energética europea, en la cual se implementen acciones destinadas a la identificación y protección de la infraestructura crítica. Dichas iniciativas incluyen algunos esfuerzos destinados a la creación de un mercado único de la energía, a garantizar la seguridad del suministro energético conjunto de la Unión, y a la promoción de las energías renovables y la eficiencia en el uso final de la energía [95].

La Tabla 6 presenta un compendio sobre la literatura relacionada con el estado del arte, en los aspectos de priorización y acciones en torno al aseguramiento energético, según el enfoque que aborda cada autor.

Tabla 6: Aspectos de Priorización y acciones sobre el aseguramiento energético

ENFOQUE	AUTOR	TÍTULO	TEMA
Técnicas de Evaluación y Cuantificación	YUSTA, J. [95]	Amenazas a la seguridad del suministro energético español	Clasificación de vulnerabilidades en aseguramiento energético
Técnicas de Evaluación y Cuantificación	TAYLOR, C. et. al. [85]	Risk Analysis and Probabilistic Survivability Assessment (RAPSA)	Caso de estudio contra ciberataques y modelo de suministro energético
Técnicas de Evaluación y Cuantificación	POHEKAR, S. & RAMACHANDRAN M. [73]	Application of multi-criteria decision making to sustainable energy planning—A review	Modelos de Toma de Decisiones aplicados a la Evaluación de suministro energético
Técnicas de Evaluación y Cuantificación	MARKANDYA, A. & PEMBERTON M. [61]	Energy security, energy industry and uncertainty	Modelo econométrico aplicado a la evaluación de suministro energético
Técnicas de Evaluación y Cuantificación	LÖSCHEL, A. et. al [57]	Indicators of energy security in industrialized countries	Modelo econométrico aplicado a la evaluación de suministro energético
Técnicas de Evaluación y Cuantificación	JANSEN, J. & SEEBREGTS, A. [48]	Long-term energy services security: What is it and how can it be measured and valued?	Caso de estudio sobre indicadores de suministro energético
Técnicas de Evaluación y Cuantificación	STIRLING, A. [84]	Multicriteria diversity analysis: A novel heuristic framework for appraising energy portfolios	Modelo econométrico aplicado a la evaluación de suministro energético
Técnicas de Evaluación y Cuantificación	COSTANTINI, V. et. al. [17]	Security of energy supply: Comparing scenarios from a European perspective	Caso de estudio sobre indicadores de suministro energético
Geopolítica	MOTEFF, J. [63]	Risk Management and Critical Infrastructure Protection: Assessing, Integrating, and Managing Threats,	Acciones en la Vulnerabilidad Infraestructura energética

ENFOQUE	AUTOR	TÍTULO	TEMA
		Vulnerabilities, and Consequences	
Generación de políticas y recomendaciones	DIRECTIVA 2008/114/CE [21]	sobre la identificación y designación de infraestructuras críticas europeas y la evaluación de la necesidad de mejorar su protección	Acciones en la Vulnerabilidad Infraestructura energética
Generación de políticas y recomendaciones	US DHS [90]	Directive 7: Critical Infrastructure Identification, Prioritization, and Protection	Acciones en la Vulnerabilidad Infraestructura energética
Generación de políticas y recomendaciones	NIPP. [68]	National Infrastructure Protection Plan. US Department of Homeland Security	Acciones en la Vulnerabilidad Infraestructura energética
Generación de políticas y recomendaciones	NAILL, R. & BELANGER, S. [65]	A SYSTEM DYNAMICS MODEL FOR NATIONAL ENERGY POLICY PLANNING	Caso de estudio y modelo de suministro energético
Generación de políticas y recomendaciones	SAUNDERS, J [79]	A Dynamic Risk Model for Information Technology Security in a Critical Infrastructure Environment	Caso de estudio y modelo de suministro energético
Generación de políticas y recomendaciones	STAPELBERG, R. [83]	Infrastructure Systems Interdependencies and Risk Informed Decision Making (RIDM): Impact Scenario Analysis of Infrastructure Risks Induced by Natural, Technological and Intentional Hazards	Caso de estudio y modelo de suministro energético

6.2. ANÁLISIS DE LA LITERATURA

En el estudio de la priorización y acciones sobre seguridad energética, resulta interesante la aportación del procedimiento de Asignación de Probabilidad de Riesgo, propuesto por TAYLOR et. al. [85], con aplicaciones inmediatas a la evaluación de riesgos en los sistemas SCADA (pero aplicable en otras amenazas), que se desarrolla en 3 etapas, y que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 7: Procedimiento para asignación de probabilidad del riesgo

Etapa	Cuestionamiento	Acción
Identificación del riesgo	¿Qué puede resultar mal?	Identificar la fuente del riesgo
Cuantificación del riesgo	¿Cuál es la probabilidad que falle algo? ¿Cuáles son las consecuencias?	Asignar probabilidades subjetivamente y objetivamente. Modelar las relaciones causales y sus impactos

Etapa	Cuestionamiento	Acción
Evaluación y aceptación del riesgo	¿Qué se puede hacer? ¿Cuáles son las opciones?	Sugerir políticas Análisis comparativo costo/beneficio en la mitigación del riesgo.

Este sencillo procedimiento se ha utilizado frecuentemente en sistemas de seguridad relacionados con energía nuclear, ferrocarriles y transporte, en donde las consecuencias de un accidente pueden ser catastróficas.

Un trabajo interesante corresponde a la teoría expuesta por JANSEN & SEEBREGTS [48], en la cual se presenta un indicador de aseguramiento energético en el largo plazo y se hace una evaluación del mismo, aplicado a cada uno de los países que conforman la Unión Europea cuya cuantificación se obtiene a partir de la valoración de suministro y demanda energética, como se muestra en la Figura 6.

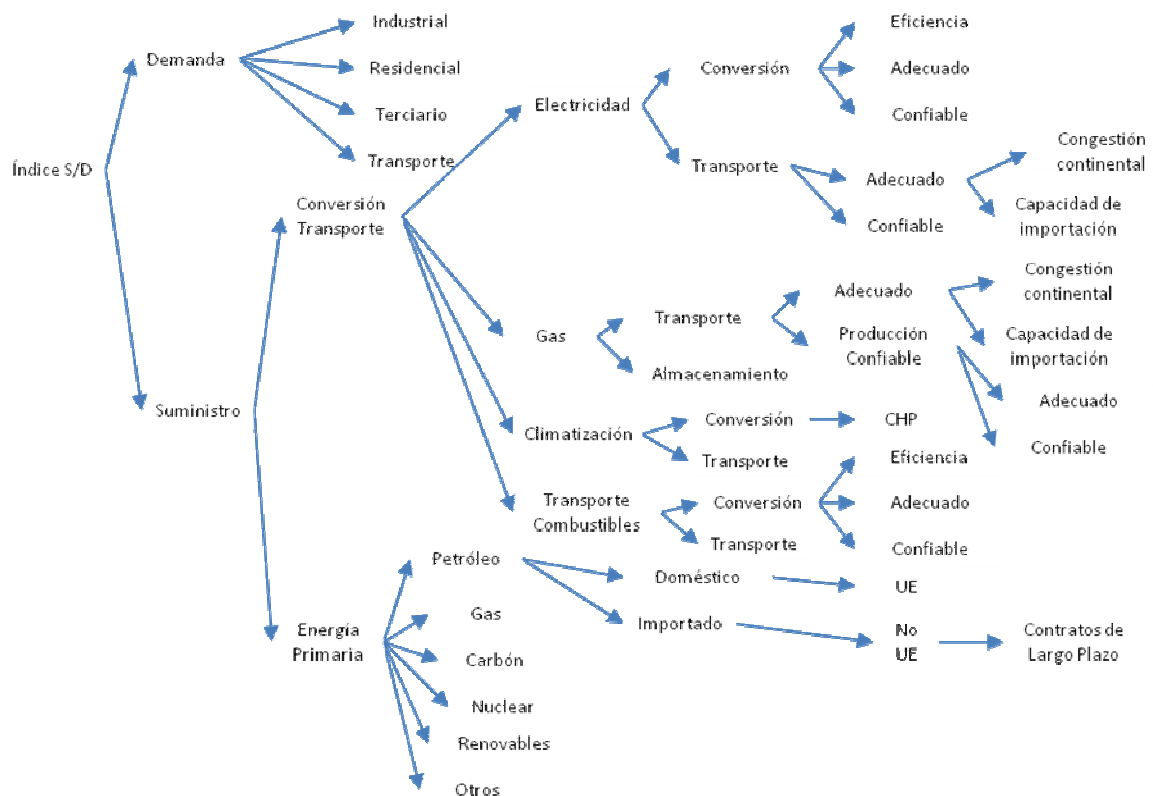


Figura 6. Evaluación del indicador de Suministro y Demanda para la seguridad energética de largo plazo. Fuente [48]

Los resultados de considerar las variables indicadas en la Figura 6, entregan los índices previamente indicados en la Figura 3.

Aunque en opinión de YUSTA [95] no se indican específicamente acciones correctivas sobre la identificación de amenazas al suministro energético, sí se notifican alarmas para prevenir riesgos sobre dicho particular. Una aplicación de esta metodología se realiza sobre el sistema energético español.

Sin embargo, TAYLOR, C. et. al. [85] presentan una propuesta de acciones correctivas que tienen en cuenta la vulnerabilidad de los sistemas SCADA, mediante los cuales se realiza la supervisión y control de la infraestructura energética. En dicha publicación se plantea la obtención de un índice que permita tomar decisiones para actuar contra un ataque informático a los sistemas SCADA.

Dentro de la definición de Seguridad Energética, POHEKAR & RAMACHANDRAN [73] presentan un enfoque de optimización multiobjetivo para la asignación de recursos

energéticos, planificación energética y aplicaciones de la energía eléctrica. De esta manera, se optimiza la relación costo-beneficio para llegar a la asignación de recursos en zonas rurales, involucrando aspectos como los costes de inversión, la duración de los proyectos y la incertidumbre. La seguridad energética y los beneficios sociales son objetivos importantes en la planificación energética con estos métodos de decisión multicriterio, como las metodologías AHP, ANP. Este enfoque es mucho más práctico que la orientación puramente econométrica que MARKANDYA, A. & PEMBERTON M. [61] abordan en su trabajo de evaluación de seguridad energética, en el cual se razona sobre la conveniencia o no, de subsidiar la energía, como política estatal.

Otro tipo de metodología para la evaluación y adopción de políticas de seguridad energética, son expuestas por NAILL, R. & BELANGER, S. [65], SAUNDERS, J [79] y STAPELBERG, R. [83], quienes recurren a la Dinámica de Sistemas para formular un modelo complejo que refleje algunas variables conceptuales del concepto de seguridad energética. Dicha metodología involucra la elaboración de un diagrama de causalidades que permiten diagnosticar la situación actual y encontrar relaciones entre sí. No es necesario utilizar indicadores, sino más bien, describir mediante modelos la situación de una infraestructura y verificar su respuesta ante perturbaciones debidas a riesgos identificados previamente. Infortunadamente la presentación de estos modelos no es explícita en las mencionadas publicaciones, las cuales pueden subsanarse mediante la apertura de una nueva línea de trabajo y de investigación, que involucre modelos más claros, más descriptivos y con la deducción de políticas que beneficien a los países interesados en mejorar su seguridad energética.

Por otro lado, LÖSCHEL et. al [57] realizan una evaluación de la seguridad energética de algunos países, mediante el uso de indicadores ex-ante y post-ante, propuestos directamente en su publicación. A mayor valor de los indicadores ex-ante y post-ante, se interpreta como una menor seguridad energética en un país.

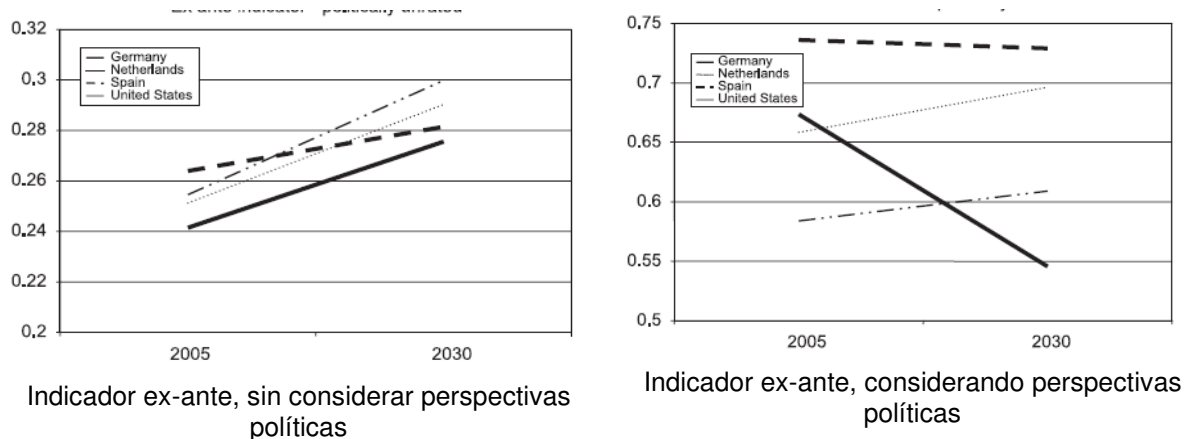


Figura 7. Ejemplo de aplicación de indicadores ex-ante y post-ante Fuente [57]

En la Figura 7 se ilustra la evaluación propuesta en [57] sobre la aplicación de un indicador ex-ante en cuatro países hasta el año 2030 (Alemania, España, Países Bajos y Estados Unidos). En este caso, se tiene en cuenta el riesgo político, lo cual indica una disminución de la seguridad energética a priori. Se observa que en el caso de España mejora relativamente. Si se consideran perspectivas políticas y geopolíticas, la situación evoluciona favorablemente para Alemania, y en los otros tres países, se mantiene estable.

LÖSCHEL et. al [57] presentan una evaluación del mix energético de recursos naturales en los respectivos países (Alemania, España, Países Bajos y Estados Unidos). Recuérdese que un mayor valor de los indicadores ex-ante y post-ante, significa una menor seguridad energética del país en evaluación. Dicha evaluación se puede apreciar en la Tabla 8

Tabla 8: Indicador ex-ante diferentes fuentes energéticas. Fuente [57]

		Petróleo	Carbón	Gas Natural	Nuclear
Seguridad energética sin perspectivas políticas	2004	0,36	0,19	0,20	0,16
	2030	0,48	0,23	0,15	0,13
Seguridad energética con perspectivas políticas	2004	0,86	0,31	0,43	1,56
	2030	1,11	0,37	0,15	1,71

Se puede inferir que en el largo plazo, hacia el año 2030, el agotamiento de las reservas probadas de petróleo, la situación geopolítica y la mayor resistencia a la construcción de nuevas centrales nucleares, tendrán consecuencias en la seguridad energética de los países evaluados (Alemania, España, Países Bajos y Estados Unidos).

Por su parte, STIRLING, [84] realiza un análisis financiero y va más allá al describir un novedoso marco general para el análisis de la diversidad energética, involucrando dentro de este portafolio, definiciones como la diversidad: la cobertura, la promoción de la competencia; el acomodamiento de los intereses, el fomento de la innovación, la sensibilidad, lo cual es aplicable a una amplia gama de diferentes contextos de política energética (mezcla de energía primaria, las carteras de suministro de electricidad o la prestación de servicios de energía).

Los autores COSTANTINI, et al. [17] proponen una metodología de evaluación de la situación energética de un bloque de países consumidores de la OCDE en Europa. Se identifica un riesgo debido a la necesidad de realizar grandes inversiones en gasoductos de gran distancia, y no está claro si la situación geopolítica que hará factible en este marco de tiempo, evidenciando la realidad que Europa es cada vez más dependiente del gas natural y mantiene estable su consumo de petróleo. Al respecto, se proponen algunas políticas, como consecuencia de esta evaluación, entre las que se cuentan:

- Exigencia de medidas tendientes a aumentar la eficiencia energética, especialmente en el sector del transporte, junto con las inversiones tecnológicas en la oferta, como estrategia para disminuir la dependencia de las importaciones del petróleo.
- Promoción de la estabilidad política y del desarrollo en el Medio Oriente y en la antigua Unión Soviética, como mecanismo de cooperación en el desarrollo de los recursos energéticos, inversión en infraestructura y seguridad de las rutas de tránsito
- Medidas de cooperación como la Carta de la Energía, con la antigua Unión Soviética a través de entidades como el INOGATE.
- Participación de los países de Asia (en todo caso un actor clave en el mercado energético a medio plazo) a fin de cooperar en la construcción de infraestructuras, y la reducción del riesgo de los conflictos que también contribuyen a la seguridad energética europea.
- Flexibilidad del mercado de gas natural, con países africanos y de oriente medio.
- Por último, un factor crítico es la capacidad de transporte hacia Europa, dado que es muy probable que la demanda esperada sea superior a la infraestructura proyectada.

Asimismo, el informe al congreso de los EEUU presentado por MOTEFF, J. [63], se propone de manera genérica, además de la identificación de riesgos que afectan la infraestructura energética, la asignación de partidas presupuestarias para desarrollar planes de contingencia y mitigación de riesgos, especialmente, los relacionados con catástrofes naturales y daños generados mediante atentados. Todo esto, en línea con el NIPP [68] y la implementación de la Directiva 7 del Departamento de Seguridad Nacional [90], enfatizando en la coordinación de las entidades gubernamentales con el propósito de velar por la seguridad de la infraestructura energética crítica y los recursos claves. Estos conceptos,

además de los establecidos en la DIRECTIVA 2008/114/CE [21], se explican más adelante en el Anexo 10 de este trabajo.

6.3. COMENTARIO FINAL

La priorización de acciones para disminuir la probabilidad y el impacto de las amenazas al sistema energético, se realiza en torno a dos grandes áreas, cuya literatura se agrupa en Técnicas de Evaluación y Cuantificación, así como la generación de Recomendaciones y Políticas.

De esta manera, desde el punto de vista de los programas del NIPP (EEUU), el PEPIC (UE), y del estándar australiano de administración de riesgos, se realiza el tratamiento, la gestión, la monitorización, seguimiento y control de amenazas al sistema de seguridad energética en un país.

La priorización de acciones, deriva en la aplicación de políticas y recomendaciones, cuyo impacto debe ser posteriormente evaluado. Una técnica de simulación como la dinámica de sistemas, se puede ajustar perfectamente a este requerimiento, toda vez que se permite responder a la pregunta “¿Qué pasaría si...?”, en momentos previos a la aplicación de una recomendación para un sistema de aseguramiento energético.

7. METODOLOGÍA DE GESTIÓN INTEGRAL DEL RIESGO

Tomando la premisa de las amenazas técnicas y no técnicas, identificadas en el ANEXO 1: IDENTIFICACIÓN DE AMENAZAS TÉCNICAS A LA SEGURIDAD DEL SUMINISTRO ENERGÉTICO y en el ANEXO 2: IDENTIFICACIÓN DE AMENAZAS NO TÉCNICAS A LA SEGURIDAD DEL SUMINISTRO ENERGÉTICO de este trabajo, se puede verificar que un país o una región se encuentran expuestos a un universo de riesgos, debido al sinnúmero de actividades que se realizan en el territorio nacional, y que a su vez, cuentan con una alta componente de incertidumbre.

Para estudiar este cúmulo de incertidumbres es necesario tener claridad sobre el entorno en que se encuentra el mundo de los países productores y consumidores. Una gran parte de este análisis se encuentra en el ANEXO 7: DIAGNÓSTICO GEOPOLÍTICO SOBRE EL SUMINISTRO ENERGÉTICO, en el ANEXO 8: LA ECONOMÍA DE LA ENERGÍA, y en el ANEXO 9: LA GEOPOLÍTICA Y SU RELACIÓN CON LA SEGURIDAD DEL SUMINISTRO ENERGÉTICO de este trabajo.

Utilizando el esquema de clasificación de riesgos planteado por ICONTEC [37], y que es asumido por empresas del sector energético, como son ISA [44], ISAGEN [45] ó XM [94], y tomando la identificación de amenazas técnicas y no técnicas estudiados en los capítulos 10 y 11 se realiza una medición semicuantitativa, en la cual se valora la probabilidad de ocurrencia y el impacto de cada riesgo de acuerdo con una escala descriptiva.

- ✓ **Amenazas de tipo técnico.** Las cuales incluyen los riesgos financieros y los riesgos operacionales. Para el caso europeo y específicamente en España, la identificación y explicación de los riesgos identificados se encuentran en el ANEXO 1: IDENTIFICACIÓN DE AMENAZAS TÉCNICAS A LA SEGURIDAD DEL SUMINISTRO ENERGÉTICO de este trabajo.
- ✓ **Amenazas de tipo no-técnico.** Las cuales incluyen los riesgos de entorno, los riesgos estratégicos y los riesgos de asignación de recursos. Para el caso europeo y específicamente en España, la identificación y explicación de los riesgos identificados se encuentran en el ANEXO 2: IDENTIFICACIÓN DE AMENAZAS NO TÉCNICAS A LA SEGURIDAD DEL SUMINISTRO ENERGÉTICO de este trabajo.

Para realizar el análisis semicuantitativo se asignan valores a las escalas cualitativas definidas de la matriz de valoración de riesgos, con el fin de realizar un ordenamiento de prioridades más detallado que se hubiese logrado con el análisis cualitativo. En esta etapa se realiza la identificación de los riesgos de acuerdo con su probabilidad de ocurrencia y con el impacto que pudieran obtener sobre el cumplimiento de los objetivos de aseguramiento energético en una región o país.

Como puede verse, el producto de la probabilidad de ocurrencia por la magnitud del impacto para cada uno de los riesgos identificados permite establecer la matriz de riesgos, donde se encuentran ilustradas las calificaciones que pueden obtener los riesgos por cada clasificación, como se presenta en la Figura 8.

PROBABILIDAD	Casi Cierto	10	30	50	70	100
	Probable	7	21	35	49	70
	Moderado	5	15	25	35	50
	Improbable	3	9	15	21	30
	Remoto	1	3	5	7	10
		Bajo	Moderado	Intermedio	Alto	Crítico
		IMPACTO				

Figura 8: Matriz de Riesgos para la calificación de las amenazas al suministro energético

Según la anterior matriz de riesgos, la calificación para la probabilidad y para el impacto del aseguramiento energético en un país como España, se puede establecer en cinco niveles de acuerdo con la **probabilidad de ocurrencia**:

- ✓ *Remoto*: ocasionalmente puede presentarse una vez cada diez o más años
- ✓ *Improbable*: ocasionalmente puede presentarse una vez entre siete y diez años
- ✓ *Moderado*: puede presentarse una vez entre uno y tres años
- ✓ *Probable*: puede presentarse una vez entre tres y siete años
- ✓ *Casi cierto*: es probable que ocurra entre una o varias veces por año

En cuanto a la **magnitud del impacto**, en un país como España, la amenaza al aseguramiento energético recibe la siguiente calificación:

- ✓ *Bajo*: el impacto no afecta de manera significativa y puede ser asumido por el giro normal de las operaciones del sistema energético nacional, ya que no afecta la prestación del servicio, viabilidad empresarial o la relación con los consumidores de energía. Las pérdidas financieras para el país son pequeñas, menores de 1 M€.
- ✓ *Moderado*: el impacto afecta de manera significativa pero puede ser asumido por el giro normal de las operaciones del sistema energético nacional, ya que no afecta la prestación del servicio, viabilidad empresarial o la relación con los consumidores de energía. Las pérdidas financieras son medias, entre 1 M€ y 10 M€.
- ✓ *Intermedio*: se puede ver afectada la eficiencia del sistema energético nacional, lo cual disminuye la calidad del servicio, y esto genera insatisfacción en los consumidores de energía e impactos en las economías locales. Las pérdidas financieras son altas, entre 10 M€ y 25 M€.
- ✓ *Alto*: el impacto afecta de manera importante y se generan pérdidas económicas y deterioro social importantes, entre 25 M€ y 100 M€.
- ✓ *Crítico*: Se afectan los estándares de los indicadores, se genera incumplimiento regulatorio, y se pone en riesgo la normal prestación del servicio en el sistema energético nacional. Se impacta la economía regional y se afecta la relación con los consumidores de energía. Las pérdidas financieras son enormes, mayores a 100 M€.

En la matriz de riesgos puros de la Figura 8, se tiene en cuenta la siguiente clasificación de

amenazas al suministro energético:

- ✓ *Riesgos Críticos:* Bajo ninguna circunstancia se deberá mantener un riesgo con esa capacidad potencial de afectar el logro de los objetivos del proyecto. Estos riesgos requieren una atención de alta prioridad para buscar disminuir en forma inmediata su calificación.
- ✓ *Riesgos Importantes:* Se requiere desarrollar acciones prioritarias a corto plazo para su gestión debido al alto impacto que tendrían sobre el logro de los objetivos del proyecto.
- ✓ *Riesgos Tolerables:* Aunque deben desarrollarse actividades para la gestión sobre el riesgo, tienen una prioridad de segundo nivel, pudiendo ejecutarse a mediano plazo.
- ✓ *Riesgos Aceptables:* El riesgo no tiene una gravedad significativa, por lo que no amerita la inversión de recursos y no requiere acciones adicionales a las ya aplicadas. Se deben conservar las acciones implementadas para mantener el nivel.

Al igual que lo planteado en los planes gubernamentales para protección de infraestructura y recursos críticos, como los presentados en el ANEXO 10: PLANES DE PROTECCIÓN DE INFRAESTRUCTURAS, las metodologías de administración integral del riesgo, buscan disminuir el impacto de las amenazas, para que se conviertan en riesgos o amenazas aceptables y/o tolerables. Para el efecto, se requiere la adopción de políticas y el constante monitorización, seguimiento, evaluación, priorización y ejecución de planes que permitan alcanzar dicho objetivo.

7.1. VALORACIÓN DE AMENAZAS DE TIPO TÉCNICO

A pesar de la subjetividad de la calificación inicial que se haya logrado dar a los riesgos, es de gran utilidad a la hora de seleccionar los riesgos más críticos cuando existen muchos de ellos.

Para aquellos riesgos que en el análisis semicuantitativo resultaron críticos, se deben identificar acciones de control y mitigación, para ser llevados a un nivel tolerable para un país como España.

Adicionalmente, conviene contar con un modelo que permita realizar una análisis cuantitativo, en la medida en que la naturaleza del riesgo y la información disponible lo permitan, lo cual facilitará valorar la efectividad de las acciones de control, así como su seguimiento, además de que será posible medir el comportamiento económico, lo cual es de gran utilidad para priorizar los riesgos.

La identificación y explicación de las amenazas indicadas en la Tabla 9, se relacionan en el ANEXO 1: IDENTIFICACIÓN DE AMENAZAS TÉCNICAS A LA SEGURIDAD DEL SUMINISTRO ENERGÉTICO, de este trabajo.

Tabla 9: Aplicación de la matriz de riesgos puros en la valoración de amenazas técnicas

	AMENAZAS DE TIPO TÉCNICO	PROBABILIDAD DE OCURRENCIA	MAGNITUD DE IMPACTO	TOTALIZACIÓN DEL RIESGO
1	DISMINUCIÓN EN EL MARGEN RESERVA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA	Moderado (5)	Alto (7)	35 (Importante)
2	DISMINUCIÓN EN EL MARGEN RESERVA DE LA OFERTA DE GAS	Probable (7)	Alto (7)	49 (Importante)
3	DÉFICIT DE INFRAESTRUCTURAS DE TRANSPORTE Y DISTRIBUCIÓN DE GAS Y PETRÓLEO	Moderado (5)	Intermedio (5)	25 (Tolerable)

AMENAZAS DE TIPO TÉCNICO		PROBABILIDAD DE OCURRENCIA	MAGNITUD DE IMPACTO	TOTALIZACIÓN DEL RIESGO
4	DÉFICIT DE INFRAESTRUCTURAS DE TRANSPORTE DE ELECTRICIDAD	Improbable (3)	Alto (7)	21 (Tolerable)
5	VULNERABILIDAD DE LOS SISTEMAS ELÉCTRICO Y GASISTA	Moderado (5)	Crítico (10)	50 (Importante)
6	CRÍTICA DEPENDENCIA GAS NATURAL-ELECTRICIDAD	Probable (7)	Crítico (10)	70 (Crítico)
7	DIFICULTADES EN EL CONTROL DE DESPACHO DE ELECTRICIDAD CON ENERGÍAS RENOVABLES	Probable (7)	Moderado (3)	21 (Tolerable)
8	ATAQUES INFORMÁTICOS EN CENTROS DE CONTROL DE LOS SISTEMAS DE GAS, PETRÓLEO Y ELECTRICIDAD	Improbable (3)	Crítico (10)	30 (Importante)
9	DESAJUSTES DE OFERTA Y DEMANDA DE PRODUCTOS PETROLÍFEROS	Casi Cierto (10)	Moderado (3)	30 (Importante)

En esta categoría se encuentran 9 riesgos técnicos, de los cuales 1 es un riesgo crítico y 4 fueron valorados como importantes. Dichas amenazas se encuentran por encima de la línea de tolerancia al riesgo. Adicionalmente, 3 riesgos son considerados como tolerables.

La administración del riesgo busca reducir la volatilidad y la incertidumbre asociada a una amenaza, y con ello disminuir el grado de exposición del país a situaciones adversas.

De acuerdo con la valoración realizada en estas amenazas técnicas, se obtuvo que los riesgos más críticos para esta categoría corresponden a la crítica dependencia entre el gas natural y la electricidad, explicable por el alto porcentaje de capacidad instalada dependiente de la generación en ciclo combinado, así como la alta dependencia de las importaciones de gas en España, dado que en la península ibérica no existen yacimientos de gas.

Por otro lado, de los riesgos anteriormente identificados y valorados categorizados como riesgos puros importantes son los siguientes: disminución en el margen reserva de generación de energía eléctrica; disminución en el margen reserva de la oferta de gas, vulnerabilidad de los sistemas eléctrico y gasista; ataques informáticos en centros de control de los sistemas de gas, petróleo y electricidad; desajustes de oferta y demanda de productos petrolíferos.

Todos estos riesgos ubicados por encima del nivel de tolerancia que son considerados como riesgos críticos e importantes, en los cuales se deben enfocar las políticas y los recursos estatales, con el fin de realizar seguimiento y tratamiento estricto, para minimizar el impacto de los mismos en el aseguramiento energético, en caso de su ocurrencia.

7.2. VALORACIÓN DE AMENAZAS DE TIPO NO TÉCNICO

En esta categoría se encuentran 17 riesgos no técnicos, de los cuales 8 amenazas se encuentran por encima de la línea de tolerancia al riesgo. De estos 8 riesgos, 7 fueron valorados como importantes y 1 como crítico.

La identificación y explicación de las amenazas indicadas en la Tabla 10, se relacionan en el ANEXO 2: IDENTIFICACIÓN DE AMENAZAS NO TÉCNICAS A LA SEGURIDAD DEL SUMINISTRO ENERGÉTICO, de este trabajo.

Tabla 10: Aplicación de la matriz de riesgos puros en la valoración de amenazas no técnicas

AMENAZAS DE TIPO NO TÉCNICO		PROBABILIDAD DE OCURRENCIA	MAGNITUD DE IMPACTO	TOTALIZACIÓN DEL RIESGO
1	CRECIMIENTO DE LA DEMANDA DE LAS FUTURAS POTENCIAS MUNDIALES	Casi Cierto (10)	Intermedio (5)	50 (Importante)
2	INESTABILIDAD POLÍTICA DE LOS PAÍSES PRODUCTORES DE GAS Y PETRÓLEO Y AGOTAMIENTO DE LOS RECURSOS	Probable (7)	Moderado (3)	21 (Tolerable)
3	POSIBLE CREACIÓN DE UNA OPEP DEL GAS	Remoto (1)	Bajo (1)	1 (Aceptable)
4	RESERVAS ESTRATÉGICAS DE GAS Y PETRÓLEO	Moderado (5)	Alto (7)	35 (Importante)
5	INSUFICIENCIA DE INVERSIONES PARA NUEVOS YACIMIENTOS E INFRAESTRUCTURAS	Probable (7)	Alto (7)	49 (Importante)
6	DEFICIENTE DIVERSIFICACIÓN DE LOS RECURSOS ENERGÉTICOS	Remoto (1)	Moderado (3)	3 (Aceptable)
7	AMENAZAS A LAS INFRAESTRUCTURAS E INSTALACIONES DE PETRÓLEO, GAS Y ELECTRICIDAD	Improbable (3)	Intermedio (5)	15 (Tolerable)
8	AMENAZAS EN LAS RUTAS MARÍTIMAS DE APROVISIONAMIENTO	Moderado (5)	Moderado (3)	15 (Tolerable)
9	CONFLICTOS POLÍTICOS ENTRE PAÍSES SUMINISTRADORES, CONSUMIDORES Y DE TRÁNSITO	Probable (7)	Alto (7)	49 (Importante)
10	REGULACIÓN ECONÓMICA INEFICIENTE DE LOS NUEVOS MERCADOS ENERGÉTICOS	Improbable (3)	Intermedio (5)	15 (Tolerable)
11	FALTA DE COORDINACIÓN DE POLÍTICAS ENERGÉTICAS NACIONALES Y DE LA UNIÓN EUROPEA	Remoto (1)	Bajo (1)	1 (Aceptable)
12	SEGURIDAD FÍSICA DE LAS INFRAESTRUCTURAS	Moderado (5)	Alto (7)	35 (Importante)
13	EMISIONES CONTAMINANTES, IMPACTO AMBIENTAL Y CAMBIO CLIMÁTICO	Casi Cierto (10)	Moderado (3)	30 (Importante)
14	CONFLICTOS ARMADOS POR LA EXPLOTACIÓN DE RECURSOS ENERGÉTICOS	Remoto (1)	Intermedio (5)	5 (Tolerable)
15	CATÁSTROFES NATURALES	Probable (7)	Crítico (10)	70 (Crítico)
16	RIESGOS DE LA GENERACIÓN ELÉCTRICA NUCLEAR	Probable (7)	Alto (7)	49 (Importante)

AMENAZAS DE TIPO NO TÉCNICO		PROBABILIDAD DE OCURRENCIA	MAGNITUD DE IMPACTO	TOTALIZACIÓN DEL RIESGO
17	INCOMPRESIÓN Y OPOSICIÓN DE LA POBLACIÓN FRENTE A LA IMPLANTACIÓN DE NUEVAS INFRAESTRUCTURAS Y TECNOLOGÍAS NECESARIAS PARA ASEGURAR EL SUMINISTRO ENERGÉTICO	Improbable (3)	Bajo (1)	3 (Aceptable)

Adicionalmente, en esta clasificación de amenazas al sistema energético español, se encontraron 4 riesgos aceptables (posible creación de una OPEP del gas; deficiente diversificación de los recursos energéticos; falta de coordinación de políticas energéticas nacionales y de la unión europea; incompreensión y oposición de la población frente a la implantación de nuevas infraestructuras y tecnologías necesarias para asegurar el suministro energético) y 5 riesgos tolerables (conflictos armados por la explotación de recursos energéticos; regulación económica ineficiente de los nuevos mercados energéticos; amenazas a las infraestructuras e instalaciones de petróleo, gas y electricidad; amenazas en las rutas marítimas de aprovisionamiento; inestabilidad política de los países productores de gas y petróleo y agotamiento de los recursos).

Como se indicó anteriormente, si al valorar un riesgo la calificación que se obtiene es aceptable, se considera que no representa peligro, y debe ser monitoreado; si por el contrario, no lo es, se deben tomar acciones para llevarlo a un nivel en que no exista inquietud. Es allí donde se compara el nivel de riesgo contra el nivel de criticidad para cada uno de los riesgos identificados y de acuerdo con esto se priorizan para ser tratados.

Igualmente, los riesgos más críticos y los riesgos importantes son aquellos en los que los gobiernos deben enfocar sus esfuerzos para buscando minimizar su impacto en el aseguramiento energético. Los riesgos de importancia media y baja deben considerados dentro de las políticas estatales, pero su grado de importancia en el largo plazo, y su mayor esfuerzo debe estar enfocado hacia los riesgos más críticos e importantes.

7.3. MODELO DE FUENTES DE AMENAZAS AL ASEGURAMIENTO ENERGÉTICO

Las fuentes de amenazas tienen numerosos componentes, cualquier de los cuales pueden dar lugar a un riesgo. Algunos componentes estarán bajo control de la organización, mientras que otros estarán fuera por lo que es importante a la hora de identificar los riesgos, considerar tanto los componentes que están bajo control del país, como aquellos que no lo están.

En consecuencia, una vez realizada la valoración de amenazas enfocadas en la Unión Europea, y más específicamente en España, se ilustra a en la

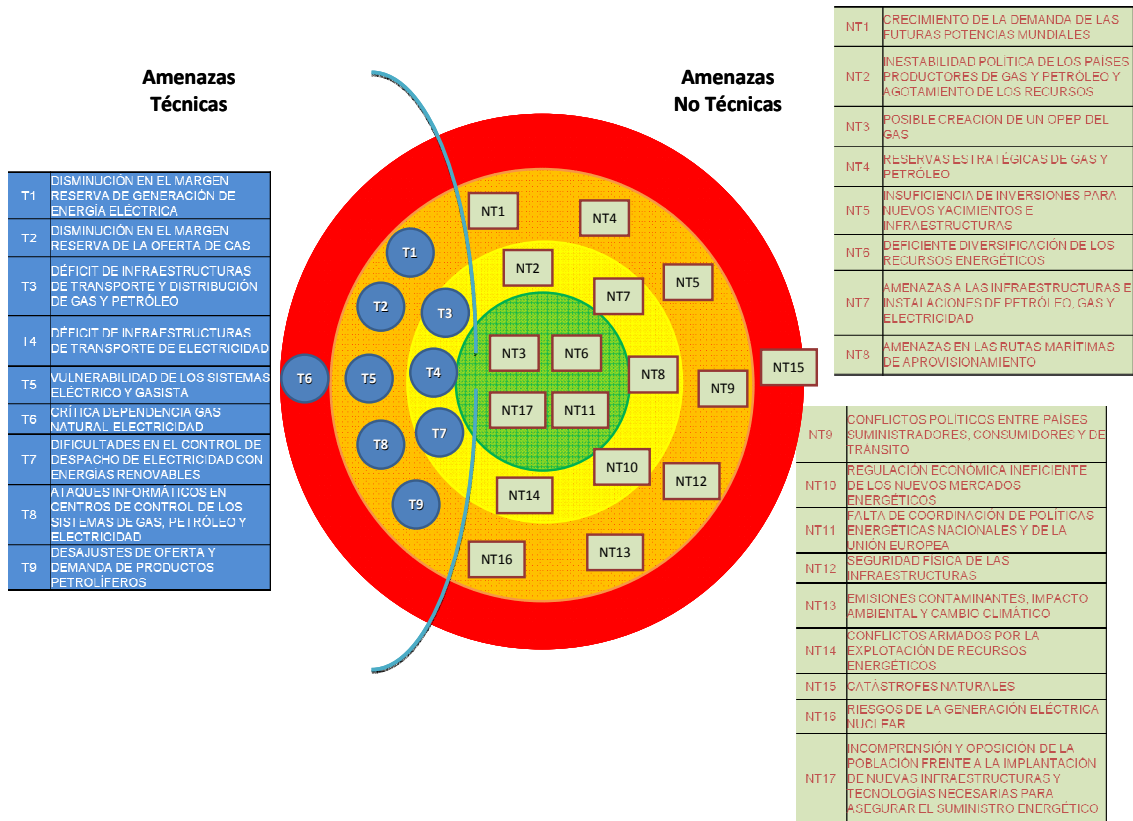


Figura 9, donde se puede verificar el respectivo modelo de fuentes de riesgo.

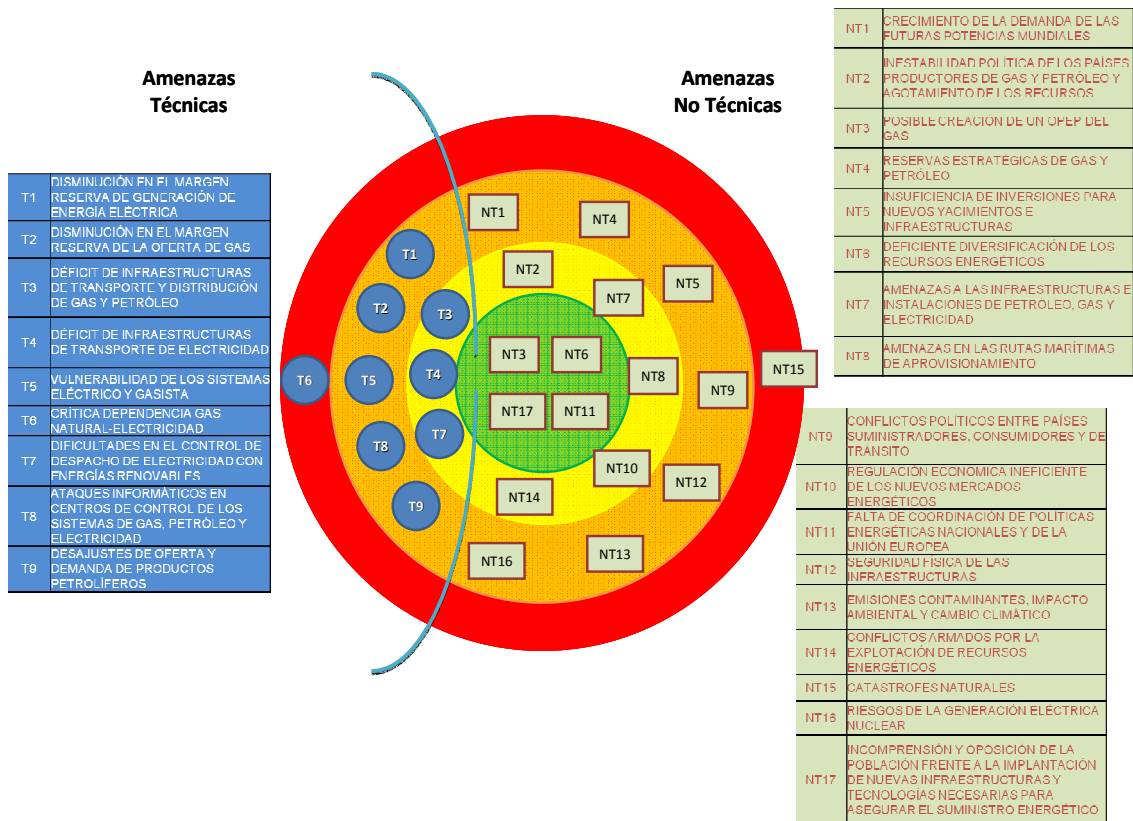


Figura 9: Modelo de las fuentes de riesgos puros al aseguramiento energético en España

Las acciones, políticas, asignación de recursos y metodologías que realicen las entidades gubernamentales, el sector público, y las empresas del sector privado, deben permitir que el mejoramiento continuo desplace los riesgos residuales, para que a futuro, los riesgos fuera de la zona de tolerancia, se conviertan en amenazas tolerables y aceptables.

La razón de ser de los programas del NIPP, PEPIC, Directiva 114/2008, entre otros (como los explicados en el ANEXO 10: PLANES DE PROTECCIÓN DE INFRAESTRUCTURAS), precisamente buscan disminuir la probabilidad que se materialice un riesgo, y disminuir su impacto.

8. CONCLUSIONES

Los objetivos en los cuales se apoyó la formulación y desarrollo del trabajo, y que fueron planteados en la introducción, se cumplen satisfactoriamente, reseñándose las siguientes conclusiones contenidas en las páginas interiores de este de este trabajo.

La realización de este trabajo, ha permitido mostrar una estrecha relación entre la seguridad global de la infraestructura energética y los otros sectores de infraestructuras críticas de la economía y la sociedad de un país. Para el efecto, nos centramos en la identificación de amenazas desde el punto de vista predominantemente energético, analizando el estado del arte sobre el concepto de “Aseguramiento energético”, tomando publicaciones especializadas, en las que se incluyen libros y revistas, con una vigencia de los últimos 10 años.

La revisión del estado del arte en esta área demuestra que la seguridad energética y las políticas para promover esta seguridad continúan siendo un tema destacado en los debates políticos y científicos. Tanto en países industrializados como en países en desarrollo, estos temas son de alta prioridad en la agenda política. En efecto, los precios volátiles de la energía y la geopolítica del suministro de energía han hecho que grandes potencias mundiales, como los Estados Unidos, la Unión Europea y las economías emergentes, sean hoy más vulnerables que en cualquier momento en décadas pasadas. Entre otros temas, ahora también se reconoce la necesidad de involucrar a los organismos nacionales de inteligencia, para prestar más atención a esta temática de interés nacional.

Dentro de la revisión bibliográfica, se puede deducir que históricamente la planificación y la toma de decisiones de las naciones en torno a su seguridad energética es una problemática que suele revisarse con frecuencia por lustros y decenios, en vez que por años. El entorno internacional ha cambiado y los precios del petróleo y gas no van a ser fáciles de pronosticar. A esto se une otro factor fundamental, el aumento de emisiones de gases con efecto invernadero que provienen de la producción y uso energético. Encontrar el equilibrio entre seguridad de suministro, impacto ambiental y precios es la clave de la política energética futura que entronca con otros objetivos como la solidez de empresas nacionales o la coherencia con otras políticas.

En cumplimiento de los objetivos propuestos, se realizó una aproximación metodológica para efectuar un proceso de identificación, análisis y evaluación los riesgos del suministro energético en un país. Esta información se complementa con los Anexos 1 y 2, en los cuales se revisa la situación de los países europeos, se identifican sus vulnerabilidades y las acciones propuestas para el aseguramiento del suministro energético.

La revisión y actualización del estado del arte en el aseguramiento energético, se ha acompañado de una revisión en el panorama de los países europeos, con mayor énfasis en el caso español. Los capítulos que conforman este trabajo, así como los respectivos anexos, se han complementado con información referida a las metodologías de apoyo a la toma de decisiones y simulación de sistemas, que pueden ser empleadas en futuras investigaciones relacionadas con aplicaciones en distintos ámbitos para la priorización de decisiones.

Ha sido posible verificar el estado del arte dentro del concepto de “seguridad en el abastecimiento energético”, en áreas como: Definición, Diagnóstico, Clasificación de Amenazas, Evaluación de Amenazas y Priorización de Acciones.

Esta exhaustiva revisión del estado del arte en las mencionadas áreas, ha permitido verificar el énfasis que se realiza en la literatura, especialmente, en lo que tiene que ver con líneas de pensamiento militar, diagnóstico geopolítico, recomendaciones, análisis, generación de políticas, estrategias metodológicas (que incluyen indicadores y modelos de toma de decisiones), y planes gubernamentales.

Igualmente, en los anexos de este trabajo, se ha realizado la comparación de algunas técnicas de apoyo a la toma de decisiones para su aplicación en un caso de estudio de identificación y evaluación de amenazas a los sistemas de suministro energético de un país.

Para la identificación de amenazas al sistema energético, se ha optado por la clasificación en amenazas de tipo técnico y de tipo no técnico. La cuantificación más precisa de los riesgos se ha realizado mediante la metodología de Administración de Riesgos, lo cual ha permitido modelar tanto la probabilidad como la severidad de los riesgos y la obtención del modelo de fuentes de riesgo para el aseguramiento energético en un país.

Es evidente que un país debe adoptar un Sistema de Administración de Riesgos que le permita identificar, medir, gestionar y controlar eficazmente todos los riesgos asociados a las actividades relacionadas con el aseguramiento energético. Dicho sistema está compuesto por el conjunto de políticas, procedimientos, metodologías de medición y mecanismos de seguimiento y control nacionales, en línea con las políticas requeridas en programas como el NIPP (Estados Unidos) y el PEPIC (Unión Europea), los cuales deben permitir a una nación la adopción de decisiones oportunas para la adecuada mitigación del riesgo que afecte directamente su economía y su sociedad.

La realización de este trabajo se ha enfocado en la determinación de un modelo de fuentes de riesgos puros, sobre la base de una valoración cualitativa de las amenazas identificadas. Sin embargo, bajo un sistema de administración de riesgos, es imprescindible determinar acciones y políticas para disminuir la probabilidad que se materialice una amenaza, así como disminuir su impacto en caso que ésta se genere.

Una futura investigación, alineada con este trabajo, deberá enfocarse en una valoración cuantitativa, que involucre metodologías como la Dinámica de Sistemas (Simulación), o un sistema de apoyo a la toma de decisiones, en la que se evidencie las consecuencias del tratamiento, gestión, monitorización, seguimiento y control de amenazas al aseguramiento energético.

Al involucrar metodologías de valoración cuantitativa, se espera entender el comportamiento del sistema, relacionar la causalidad y analizar el comportamiento en situaciones extremas (análisis de Escenarios). De esta manera, se pueden valorar las políticas y recomendaciones que un Estado puede tomar con la finalidad de mitigar la probabilidad y el impacto de una amenaza a su sistema de suministro energético. Una continuación de este trabajo, se enfocará en una investigación que permita desarrollar dichas valoraciones.

Teniendo en cuenta el soporte teórico-práctico que entrega este trabajo, se deja abierta la posibilidad de incursionar en nuevas aplicaciones, desarrollos e investigaciones, en el campo de la toma de decisiones, la simulación de sistemas, y la gestión de riesgos, sobre la base de los conceptos y conocimientos generados a partir del trabajo.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] APOSTOLAKIS, George E. & LEMON, Douglas. **A Screening Methodology for the Identification and Ranking of Infrastructure Vulnerabilities Due to Terrorism.** En: Risk Analysis, Vol. 25, No. 2, pp. 361-376, April 2005. (Accedido Junio 2010: http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=877115##)
- [2] AUGUTIS, J., KRIKŠTOLAITIS, R., MATUZIEN, V., & PEIULYT, S. **Assessment of Lithuanian power supply security depending on nuclear energy.** En: Safety and Security Engineering III (Accedido Junio 2010: http://library.witpress.com/pages/listPapers.asp?q_bid=466)
- [3] BAKER, George H. **A Vulnerability Assessment Methodology for Critical Infrastructure Facilities.** (Accedido Junio 2010: http://works.bepress.com/george_h_baker/2/)
- [4] BALAT, Mustafa. **Security of energy supply in Turkey: Challenges and solutions.** En: Energy Conversion and Management 51 (2010) 1998–2011
- [5] BARRY, Charles Ezell. **Infrastructure Vulnerability Assessment Model (I-VAM).** (Accedido Junio 2010: <http://create.usc.edu/assets/pdf/51834.pdf>)
- [6] BELLUCK, D.A., HULL, R.N., BENJAMIN, S.L., ALCORN, J. & LINKOV, I. **Environmental Security, Critical Infrastructure And Risk Assessment: Definitions And Current Trends.** (Accedido Junio 2010: <http://www.springerlink.com>)
- [7] BROWN, Matthew H, REWEY, Christie & GAGLIANO, Troy. **“Energy Security”** En: National Conference of State Legislatures - Departamento de Energía EE.UU. 2002
- [8] CIEP Clingendael Institute. **“EU Energy Supply Security and Geopolitics”,** En: http://www.clingendael.nl/publications/2004/200401000_ciep_study.pdf. / Clingendael International Energy Programme (Accedido en Mayo 2010).
- [9] CLEVELAND, Cutler J.& COSTANZA, Robert. 2008. **"Energy return on investment (EROI)."** En: Encyclopedia of Earth. [http://www.eoearth.org/article/Energy_return_on_investment_\(EROI\)](http://www.eoearth.org/article/Energy_return_on_investment_(EROI))
- [10] CNE. **Sexto Informe Marco sobre la Demanda de Energía Eléctrica y Gas Natural, y su Cobertura.** Madrid, 2009. 326 p. Comisión Nacional de la Energía
- [11] CNE **Duodécimo Informe Marco sobre la Demanda de Energía Eléctrica y Gas Natural, y su Cobertura.** Madrid, 2010. 158 p. Comisión Nacional de la Energía.
- [12] CNPIC. **Centro Nacional de Protección de Infraestructuras Críticas en España.** (Accedido en Agosto de 2010: <http://www.cnpic-es.es/cnpic/>)
- [13] CHESTER, Lynne. **Conceptualizing energy security and making explicit its polysemic nature.** En: Energy Policy 38 (2010) 887–895
- [14] Comisión de las Comunidades Europeas. **“Libro Verde: Sobre un Programa Europeo para la Protección de Infraestructuras Críticas”.** Bruselas, Noviembre 2005. 28p.
- [15] Comisión de las Comunidades Europeas. **“Libro Verde: Estrategia europea para una energía sostenible, competitiva y segura”.** Bruselas, Marzo, 2006. 22p.
- [16] CONSOLINI, Todd. **“Regional security assessments: A strategic approach to securing federal facilities”.** Master Thesis. Naval Postgraduate School. Monterey, USA. 103p, 2009
- [17] CONSEJO MUNDIAL DE LA ENERGÍA. **Energy Resources 2009** (Accedido Agosto 2010 <http://www.worldenergy.org/>)

- [18] CORREA, Gabriel. **“Aproximaciones metodológicas para la toma de decisiones, apoyadas en modelos difusos”**. Tesis de Maestría en Ingeniería de Sistemas. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. 2004. 238p.
- [19] COSTANTINI, Valeria, GRACCEVAA, Francesco, MARKANDYAA, Anil & VICINI, Giorgio **Security of energy supply: Comparing scenarios from a European perspective**. En: Energy Policy 35 (2007) 210–226
- [20] DEFENSE TECHNICAL INFORMATION CENTER. (Accedido Junio 2010: <http://www.dtic.mil/dtic/>)
- [21] DIARIO OFICIAL DE LAS COMUNIDADES EUROPEAS. DIRECTIVA 2008/114/CE. **“sobre la identificación y designación de infraestructuras críticas europeas y la evaluación de la necesidad de mejorar su protección”**, N° L 345 de 23/12/2008 p. 24., 2008.
- [22] DiNanno, Thomas. **“Alianzas público-privadas para Infraestructura crítica y Recursos Clave (CI/KR)”**. En: International Assessment and Strategy Center. Accedido en: www.scm.oas.org , Marzo 2010.
- [23] ENAGAS. **Plan de cobertura invernal 2008-2009**. Madrid, 2008. 22 p. ENAGAS S.A.
- [24] EROEI: **Energy returned on energy invested**, 2010. En: <http://en.wikipedia.org/wiki/EROEI> . (Accedido en Mayo 2010).
- [25] ERWANN, Michel-Kerjan. **New Challenges in Critical Infrastructures: A US Perspective**. En: Risk Management and Decision Process Center, Mayo 2003. (Accedido Junio 2010: <http://www3.interscience.wiley.com/journal/118848041/abstract?CRETRY=1&SRETRY=0>)
- [26] Estándar Australiano de Administración del Riesgo **AS/NZS 4360:1999**. 36 p. (Accedido agosto 2010: www.netconsul.com/riesgos/ar.pdf)
- [27] EUROPA: **“Síntesis de la legislación de la UE: Lucha contra el terrorismo”**. (Accedido agosto 2010: http://europa.eu/legislation_summaries/justice_freedom_security/fight_against_terrorism/l33260_es.htm)
- [28] EUROSTAT: **Comisión Europea de Estadística**. (Accedido Agosto 2010: <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/>)
- [29] FUTURE TRENDS FORUM. **“Energía: El desafío de la Demanda”**. Fundación de la Innovación Bankinter & Fundación Accenture, En: www.ftforum.org 16p. 2006. (Accedido en Mayo 2010)
- [30] GYLE, Theodore. **Critical infrastructure protection in homeland security.**: John Wiley and Sons. 2006 (Accedido Junio 2010: <http://eu.wiley.com/WileyCDA/WileyTitle/productCd-0471786284.html>)
- [31] HAMILTON, Caroline. **Risk Management and Security**. En: Information Security Journal: A Global Perspective, Volume 8, Issue 2 June 1999 , pages 69 - 78 (Accedido Junio 2010: <http://www.informaworld.com/smpp/content~content=a768426563&db=all>)
- [32] HO, William. **“Integrated analytic hierarchy process and its applications – A literature review”**. En: European Journal of Operational Research. N° 186. 2008. pp 211 – 228. (www.elsevier.com/locate/ejor)
- [33] HUBBERT, M. K. **“Nuclear energy and the fossil fuels”**. Technical Report Publicaton No. 95, Shell development Company. Exploration and Production Research Division, 1956.
- [34] HUBBERT, M. K. **“Energy resources: a report to the Committee on Natural**

- Resources of the National Academy of Sciences**". Technical Report PB-222401, National Academy of Sciences - National Research Council, Washington, D.C. (USA), 1962.
- [35] HULL, Ruth N., BELLUCK, David A. & LIPCHIN, Clive. **A framework for multi-criteria decisionmaking with special reference to critical infrastructure: policy and risk management working group summary and recommendations**. (Accedido Junio 2010: <http://www.springerlink.com>)
- [36] IBRAHIMA, H, ILINCAA, A. & PERRON , J. **Energy storage systems: Characteristics and comparisons**. En: Renewable and Sustainable Energy Reviews 12 (2008). pp. 1221–1250.
- [37] ICONTEC: Instituto Colombiano de Normas Técnicas. **Norma Técnica Colombiana para 5254 la Gestión de Riesgos**. En: NTC 5254. Junio 2004. 44p.
- [38] IEA **"Security of supply in electricity markets"**. En: www.iea.org. 177p. 2002. (Accedido en Mayo 2010).
- [39] IEA,. **"Energy Security and Climate Change Policy Interactions, an assesment framework"** .En: IEA Information paper, Diciembre 2004
- [40] IEA. **"Perspectivas sobre tecnología energética"**. En: IEA – Apoyo al plan de acción del G8. Escenarios y estrategias hasta el 2050. 2006. 14p. (Accedido agosto 2010 http://www.iea.org/textbase/npsum/ETP_spanish_web.pdf)
- [41] IEA. **"World Energy Outlook Report 2008"**. En: www.worldenergyoutlook.org 578p. 2008. (Documentación electrónica, accedida en Agosto 2010).
- [42] IEA. **"World Energy Outlook Report 2009"**. En: www.worldenergyoutlook.org 22p. 2009. (Documentación electrónica, accedida en Agosto 2010).
- [43] Instituto de Estudios de Seguridad de la U.E. **"Estrategia Europea de Seguridad"**. En: www.iss-eu.org 29p, Diciembre 2003. (Accedido en Mayo 2010).
- [44] ISA Colombia. **Política para la gestión integral de riesgos grupo empresarial ISA**. (Accedido Junio 2010: <http://www1.isa.com.co/irj/go/km/docs/documents/ContenidoInternetISA/ISA>)
- [45] ISAGEN Colombia. **Mapa de Riesgos ISAGEN**. (Accedido Junio 2010: www.isagen.com.co)
- [46] JACOBSSON, Staffan, BERGEK, Anna, FINON, Dominique, LAUBER, Volkmar, MITCHELL Catherine. **EU renewable energy support policy: Faith or facts?**. En: Energy Policy 37 (2009) 2143–2146
- [47] JAEN POSADA, JUAN SEBASTIAN & SMITH QUINTERO, RICARDO A. **"Creación de un Sistema Soporte para la Toma de Decisiones Multiobjetivo con manejo de Riesgo e Incertidumbre, y dos aplicaciones Administrativas en la Empresa ISA"** Tesis de Ingeniería. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. 157p. 2002.
- [48] JANSEN, Jaap & SEEBREGTS, Ad. **Long-term energy services security: What is it and how can it be measured and valued?**. En: Energy Policy 38 (2010) 1654–1664
- [49] JARAMILLO, Gloria Patricia. **"Desarrollo de un sistema soporte a la decisión para la toma de recursos naturales con satisfacción de múltiples objetivos y múltiples decisores"**. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia (España). Planificación de los recursos Hídricos. 1999. 268 p
- [50] JEBARAJ, S. & INIYAN, S. **Review of Energy Models**. En: Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 10, Issue 4, August 2006, Pages 281-311
- [51] KIRCHSTEIGER, Christian, VETERE ARELLANO, Ana Lisa & COLLI, Alessandra. **Towards a European energy risks monitor to consistently map safety and**

- security risks of different energy infrastructures.** En: Safety Science 45 (2007) 905–919
- [52] KRÖGER, Wolfgang. **Issues of Secure Energy Supply.** En: Latsis Symposium 2006 Research Frontiers in Energy Science and Technology Energy and Reliability. October 12, 2006 (Accedido Junio 2010: http://www.lsa.ethz.ch/docs/061012_Latsis_WK.pdf)
- [53] KRUMDIECK, Susan & HAMM, Andreas. **Strategic analysis methodology for energy systems with remote island case study.** En: Energy Policy 37 (2009) 3301–3313
- [54] KRUYT Bert, VANVUUREN D.P., et. al. “**Indicators for energy security**”. En: Energy Policy. N° 37, pp 2186 – 2181. Marzo 2009.
- [55] LE COQ, Chloé & PALTSEVA, Elena. **Measuring the security of external energy supply in the European Union.** En: Energy Policy N° 37, 2009. pp. 4474–4481 (Accedido Junio 2010: www.elsevier.com/locate/enpol)
- [56] LÓPEZ VALENCIA, Beatriz. “**Implementación de un esquema de opciones de compra de energía para reemplazar el cargo por capacidad**”. Tesis Maestría en Ingeniería de Sistemas. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. 2006. 126p
- [57] LÖSCHEL, Andreas, MOSLENER, Ulf & RÜBBELKE, Dirk T.G. **Indicators of energy security in industrialised countries.** En: Energy Policy 38 (2010) 1665–1671
- [58] LÖSCHEL, Andreas, MOSLENER, Ulf & RÜBBELKE, Dirk T.G. **Energy security—concepts and indicators.** En: Energy Policy 38 (2010) 1607–1608
- [59] MAPPING WORLD. “**A new way to look at the world**”. En: <http://show.mappingworlds.com> (Accedido en Agosto 2010).
- [60] MARTENSON, Chris. “**The Crash Course**”. 2009. En: <http://www.chrismartenson.com/>, (Accedido en Mayo, 2010).
- [61] MARKANDYA, Anil & PEMBERTON, Malcolm. **Energy security, energy modelling and uncertainty.** En: Energy Policy 38 (2010) 1609–1613
- [62] MITYC. **Planificación de los sectores de electricidad y gas 2008-2016.** En: Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. (2008) (Accedido en Abril de 2010: <http://www.mityc.es/energia/planificacion>)
- [63] MOTEFF, John. **Risk Management and Critical Infrastructure Protection: Assessing, Integrating, and Managing Threats, Vulnerabilities, and Consequences.** En: US Library of Congress, Congressional Research Service
- [64] MUÑOZ, J.I, SÁNCHEZ DE LA NIETA, A, CONTRERAS, J, BERNAL, J L. **Optimal investment portfolio in renewable energy: The Spanish case.** En: Energy Policy 37 (2009) 5273–5284.
- [65] NAILL, Roger F. & BELANGER, Sharon D. **A System Dynamics Model For National Energy Policy Planning.** En: Applied Energy Services, Inc. (Accedido Junio 2010: <http://www.systemdynamics.org/conferences/1989/proceed/parallel%20sessions%20pdf/naill423.pdf>)
- [66] NAVARRETE, Jorge Eduardo. “**Seguridad energética, ¿para quién?**”. En: <http://www.jornada.unam.mx/2008/05/29/index.php> , Mayo 2008.
- [67] NESS, Larry. “**Securing Utility and Energy Infrastructures**”. Wiley Interscience. USA. 340p. 2006.
- [68] NIPP. “**National Infrastructure Protection Plan. US Department of Homeland Security**”. En: www.dhs.gov/nipp 175 p, 2009.
- [69] NUTTALL, William J. & MANZ, Devon L **A new energy security paradigm for the**

- twenty-first century**. En: Technological Forecasting & Social Change 75 (2008) 1247–1259
- [70] O'BRIEN, John E. "**Essential Elements for Preparedness Planning**". Master Thesis. Naval Postgraduate School. Monterey, USA. 73p, Marzo 2006
- [71] OGJ. "**World Proved Reserves of Oil and Natural Gas**". En: Oil & Gas Journal. Vol. 106. N°48. PennWell Corporation. 2008.
- [72] ÖLZ, Samantha, SIMS, Ralph & KIRCHNER, Nicolai. **Contribution Of Renewables To Energy Security**. En: IEA INFORMATION PAPER (Accedido Junio 2010: http://www.iea.org/papers/2007/so_contribution.pdf)
- [73] POHEKAR, S.D. & RAMACHANDRAN, M. **Application of multi-criteria decision making to sustainable energy planning—A review**. En: Renewable and Sustainable Energy Reviews 8 (2004) 365–381
- [74] QUINTO, Javier. "**Seguridad de suministro: un valor en alza para la política energética y en la política de seguridad nacional**". En: UNISCI Discussion Papers. Universidad Complutense de Madrid, N° 13. pp 185 – 199. Enero 2007.
- [75] REE. **El sistema eléctrico español**. Avance del informe 2009. Madrid, 2009. 28 p. Red Eléctrica de España S.A.
- [76] REE **Mapas de la red eléctrica de transporte**. Red Eléctrica de España S.A. 2009. (Accedido Mayo 2010: http://www.ree.es/transporte/mapa_red_transporte.asp)
- [77] REE **Producción Eólica en España**. Red Eléctrica de España S.A. 2010. (Accedido Mayo 2010: http://www.ree.es/operacion/curvas_eolica.asp)
- [78] ROSEN, Daniel H. & HOUSER, Trevor. **China Energy A Guide for the Perplexed**. En: Peterson Institute for International Economics, May 2007 (Accedido Junio 2010: <http://www.petersoninstitute.org/publications/papers/rosen0507.pdf>)
- [79] SAUNDERS, John. **A Dynamic Risk Model for Information Technology Security in a Critical Infrastructure Environment**. En: (Accedido Junio 2010: <http://www.johnsaunders.com/papers/riskcip/RiskConference.htm>)
- [80] SCHIFF, Peter. "**Crash Proof**". 2007. En: <http://schifforsenate.com/>, (Accedido en Mayo, 2010).
- [81] SMITH-PERERA, Aida. "**Diseño, desarrollo y validación de una nueva metodología de priorización multicriterio de problemas de la red eléctrica de distribución basada en AHP y ANP**". Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia. Noviembre 2009. 333p.
- [82] SMITH-PERERA, Aida, et. al. "**Project Priorisation For Portfolio Selection Based On The Analytic Network Process**". En: Renewable Sustainable Energy Reviews (2010) – Article in press.
- [83] STAPELBERG, Rudolph. **Infrastructure Systems Interdependencies and Risk Informed Decision Making (RIDM): Impact Scenario Analysis of Infrastructure Risks Induced by Natural, Technological and Intentional Hazards**. (Accedido Junio 2010: [http://www.iiisci.org/journal/CV\\$/sci/pdfs/R105SQ.pdf](http://www.iiisci.org/journal/CV$/sci/pdfs/R105SQ.pdf))
- [84] STIRLING, Andy. **Multicriteria diversity analysis: A novel heuristic framework for appraising energy portfolios**. En: Energy Policy 38 (2010) 1622–1634
- [85] TAYLOR, Carol, KRINGS, Axel & ALVES-FOSS, Jim. **Risk Analysis and Probabilistic Survivability Assessment (RAPSA): An Assessment Approach for Power Substation Hardening**.
- [86] TSAMBOULAS, Dimitrios & MORAITI, Panayota. **Identification of potential target locations and attractiveness assessment due to terrorism in the freight**

- transport**. En: Springer Science, August 2008.
- [87] U.S. Department of Homeland Security. (2009). “**Critical infrastructure and key resources sectors**”. (Accedido en Mayo 19, 2009, http://www.dhs.gov/xprevprot/programs/gc_1189168948944.shtm)
- [88] U.S. Department of Homeland Security. (2007). “**Government facilities critical infrastructure and key resources sector-specific plan as input to the national infrastructure protection plan**”. Washington, D.C..
- [89] U.S. Department of Homeland Security. (2009). “**Interim integrated risk management framework**”. Washington, D.C.
- [90] U.S. Department of Homeland Security. (2003) “**Directive 7: Critical Infrastructure Identification, Prioritization, and Protection**”. Washington, DC. En: http://www.dhs.gov/xabout/laws/gc_1214597989952.shtm . (Accedido en Mayo, 2010)
- [91] VALERO DELGADO, Alicia. “**Estudio de la evolución exergética del capital mineral de la tierra**”. Tesis Doctoral. Universidad de Zaragoza. 260p, 2008.
- [92] VOROPAI N.I., PYATKOVA N.I., et. al. “**Energy Security as a Factor of the Common Energy Cooperation in East Asia**”. En: IEEE Power Engineering Society General Meeting, Junio, 2005, Vol 2. pp 1518 - 1522.
- [93] World Economic Forum **The New Energy Security Paradigm**. En: The Energy Vision Update, 2006
- [94] XM Colombia. **Mapa de Riesgos XM**. (Accedido Junio 2010: <http://www.xm.com.co/Pages/MapadeRiesgos.aspx>)
- [95] YUSTA, José María. “**Amenazas a la seguridad del suministro energético español**”. En: Inteligencia y seguridad. Revista de análisis y prospectiva. N° 6. Noviembre 2009.

10. ANEXO 1: IDENTIFICACIÓN DE AMENAZAS TÉCNICAS A LA SEGURIDAD DEL SUMINISTRO ENERGÉTICO

De conformidad con la literatura revisada en los apartados del capítulo 4 y 5, es posible realizar un caso de estudio, aplicado al sistema energético español. Se toma la base del trabajo expuesto por YUSTA [95], donde se realiza la identificación de amenazas técnicas y no técnicas al sistema energético de la península ibérica.

A. DISMINUCIÓN EN EL MARGEN RESERVA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

A nivel mundial, la energía utilizada como motor de la economía, proviene de una mezcla proporcionada especialmente a partir de los combustibles fósiles. En términos de Toneladas Equivalentes de Petróleo (TEP), esta mezcla energética global se compone así:

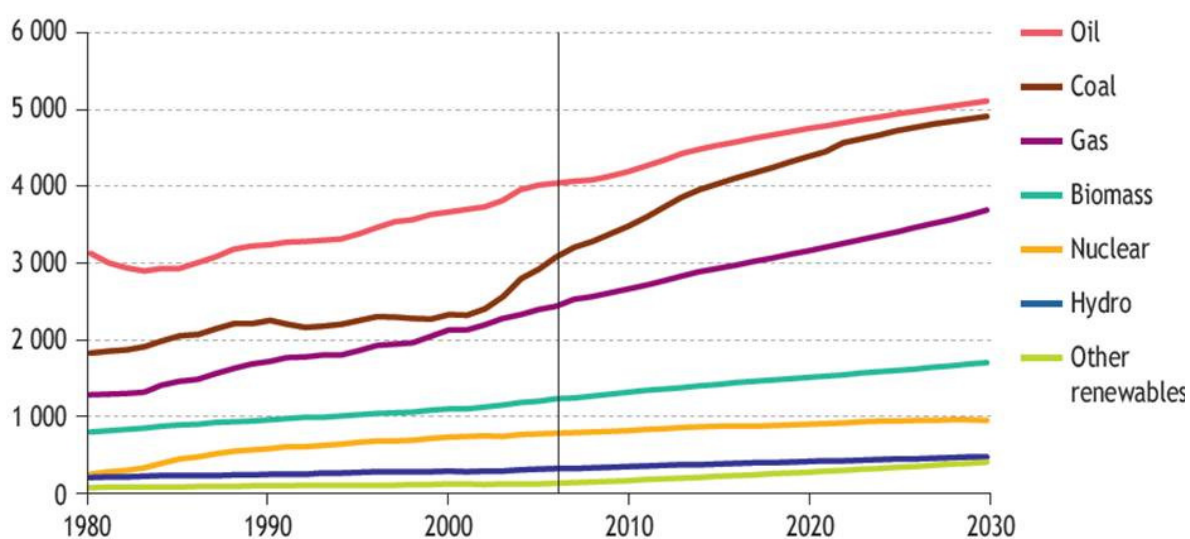


Figura 10. Mezcla de fuentes energéticas a nivel mundial (Millones de TEP). Fuente: IEA [42]

La generación española está conformada por una mezcla de tecnologías, que bajo escenarios de las condiciones de demanda normal y normal funcionamiento, mantiene una cobertura adecuada, y asegura que la capacidad de generación es suficiente para cubrir la demanda con un margen de reserva suficiente. Sin embargo, la confluencia simultánea de factores externos, como las olas de calor o las olas de frío, fenómenos naturales o escalas programadas en plantas de energía puede causar una reducción en su lugar margen de reserva en el riesgo de cortes nacionales.

La infraestructura de generación española a finales de 2009, consistió en una potencia instalada de 98.502 MW y una generación de energía equivalente neto de 278.975 GWh, que se distribuye de acuerdo a los porcentajes que aparecen en REE [75]

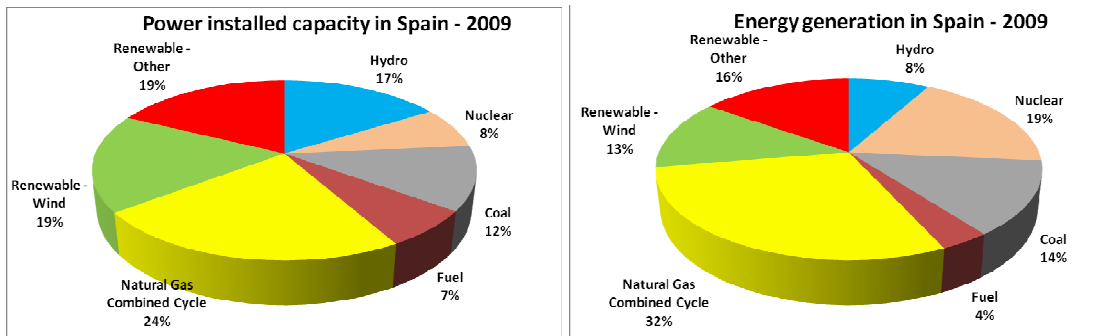


Figura 11. Capacidad instalada y energía generada en España en 2009. Fuente: [75]

La capacidad de satisfacer la demanda de energía está cuantificada por el índice de cobertura. El rango de cobertura mínima recomendada es de 10 por ciento (tasa de 1,1). La tendencia de este índice hacia abajo sobre los últimos diez años es preocupante, pero de acuerdo con la Comisión Nacional de Energía, el sistema eléctrico no tendrá problemas para cumplir con la demanda proyectada hasta el año 2012, como se indica en el Informe Marco sobre la Demanda de Energía Eléctrica y Gas Natural y cobertura, Emitido por el CNE regulador de energía [10].

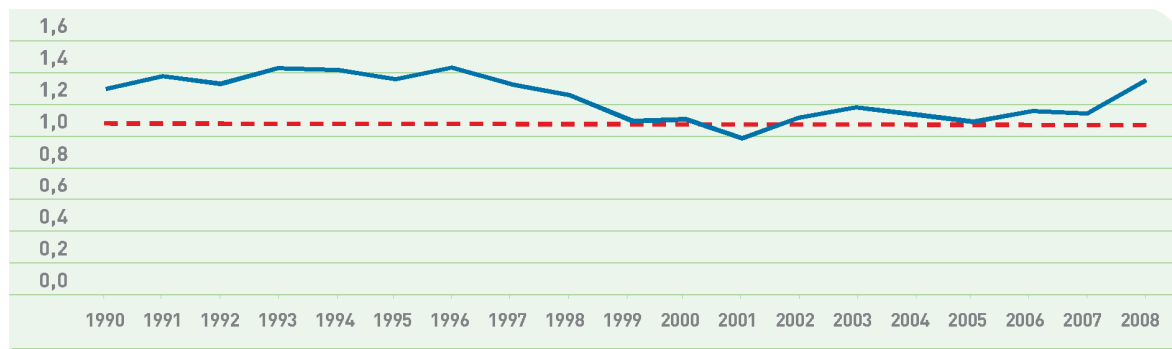


Figura 12. Índice de cobertura del sistema eléctrico. Fuente: [76]

No obstante, si las restricciones se incorporan a la red eléctrica de transporte de alta tensión, en el escenario del peor de los casos a disposición de energía, puede haber posibilidades de las tasas de cobertura inferiores al 10% en extrema picos de invierno la demanda.

B. DISMINUCIÓN EN EL MARGEN RESERVA DE LA OFERTA DE GAS

En los últimos diez años ha habido un aumento de diez veces en el consumo de gas natural en España. Este significativo aumento se explica en la demanda de los consumidores de gas en las industrias, sectores comerciales y residenciales, así como la demanda de energía de ciclo combinado que utilizan gas natural para la producción de electricidad.

Simultáneamente con el rápido aumento de la demanda de gas, ha sido necesaria la construcción de nuevas infraestructuras de transporte, regasificación y almacenamiento de infraestructura de gas natural. Las situaciones más críticas para el sistema de transporte de gas se producen en invierno.

Los criterios para la demanda a salvo del gas cubierta se clasifican en tres grupos: la cobertura de la demanda máxima diaria, participación mínima de reservas de seguridad, y de contingencias en el suministro de gas desde el extranjero. Para hacer frente a estas contingencias, el Gobierno español ha establecido la obligación legal de mantener un nivel mínimo de seguridad de 20 días, y aprueba cada año un plan especial cubrir la demanda de invierno que se lleva a cabo por la empresa responsable del transporte nacional de gas.

España cuenta actualmente con sólo dos almacenamientos subterráneos de gas natural (Gaviota y Serrablo), por lo que es una necesidad urgente de nuevas instalaciones de almacenamiento para satisfacer la demanda de posibles contingencias en el sistema de suministro de gas externa de gas español. La Comisión Nacional de Energía [10] lleva a cabo simulaciones periódicas para analizar la vulnerabilidad del sistema, por ejemplo en el fracaso de la mayor capacidad de entrada, en la planta de regasificación de Barcelona.

El CNE también analiza los escenarios de vulnerabilidad en caso de suspensión temporal de alimentación externa (70 % del gas natural importado por barco a España que se dota con terminales de regasificación en alta mar de diferentes partes del mundo, el resto es transportado a través de gasoductos ya existentes), como se muestra en Tabla 11

Tabla 11: Número estimado de cargas de GNL adicionales para cubrir una interrupción temporal del suministro en el mayor proveedor de GNL a España. Fuente [10]

Proveedor de Gas	Fallo de energía neta (GWh)			
	2010	2011	2012	2013
Algeria	246.955 (43%)	264.847 (45%)	274.221 (45%)	282.045 (45%)
Maghreb (Gasoducto Marruecos - España)	93.434 (16%)	100.449 (17%)	108.480 (17%)	115.431 (17%)
Medgaz (Gasoducto Argelia - España)	82.734 (14%)	91.955 (16%)	92.455 (15%)	92.455 (15%)
Nigeria	102.941 (18%)	95.089 (16%)	96.195 (16%)	97.340 (16%)

El fallo de la energía neta se refiere a la cantidad de gas con que se debe contar ante una suspensión hipotética de la oferta del proveedor de gas natural.

Sin embargo, a pesar de todos los esfuerzos, existe la probabilidad de que se produzca una interrupción del suministro, de consecuencias incalculables, si en momentos de demanda extrema de gas se produjera alguna indisponibilidad de infraestructuras críticas o interrupción temporal de suministro de gas de algún país proveedor.

C. DÉFICIT DE INFRAESTRUCTURAS DE TRANSPORTE Y DISTRIBUCIÓN DE GAS Y PETRÓLEO

Existen zonas en España con alta demanda alejado de las tomas de gas al sistema. La infraestructura existente de gas natural en España se compone de seis plantas de regasificación de gas natural, más de 9000 kilómetros ductos de transporte, más de 44000 kilómetros tuberías de distribución, dos campos de almacenamiento subterráneo, estaciones de once compresor, tres campos de gas natural de depósitos, tuberías y cinco internacionales conexiones (uno en Marruecos, dos en Portugal, dos en Francia y uno en Argelia), además de varias plantas de GNL por satélite y otras instalaciones auxiliares.

España se enfrenta ahora al reto de ampliar su red de transporte de gas, y desde el punto de vista de la seguridad del suministro, es recomendable aumentar la malla de la red para minimizar los riesgos de posibles fallas en los insumos del sistema, incluyendo mayor capacidad de interconexión directa de la tubería con Francia y el Magreb. La conexión de la zona centro con Levante, el fortalecimiento del eje central y el tránsito de gas del nuevo gasoducto Argelia- Almería son algunos de los déficit de infraestructura que necesitan ser enfocada con el fin de evitar graves problemas en el futuro en la red de transporte de gas español.

Además, el fuerte crecimiento de la demanda de gas requiere el desarrollo equivalente de capacidad de almacenamiento, máxime si se tienen en cuenta los requisitos de almacenamiento estratégico. La falta de inversión en almacenamientos subterráneos en el momento actual, dado los largos periodos que requiere el desarrollo de este tipo de infraestructuras, puede llevar a situaciones de cobertura muy ajustadas a partir de 2010.

Por otro lado, serán necesarias también importantes inversiones en los próximos años para el refuerzo de infraestructuras de transporte y almacenamiento de petróleo, que gestiona la Compañía Logística de Hidrocarburos (CLH). La red española de oleoductos presenta una estructura muy poco mallada, situación que no resolverá la construcción prevista de nuevos 700 km de oleoductos entre 2007 y 2011.

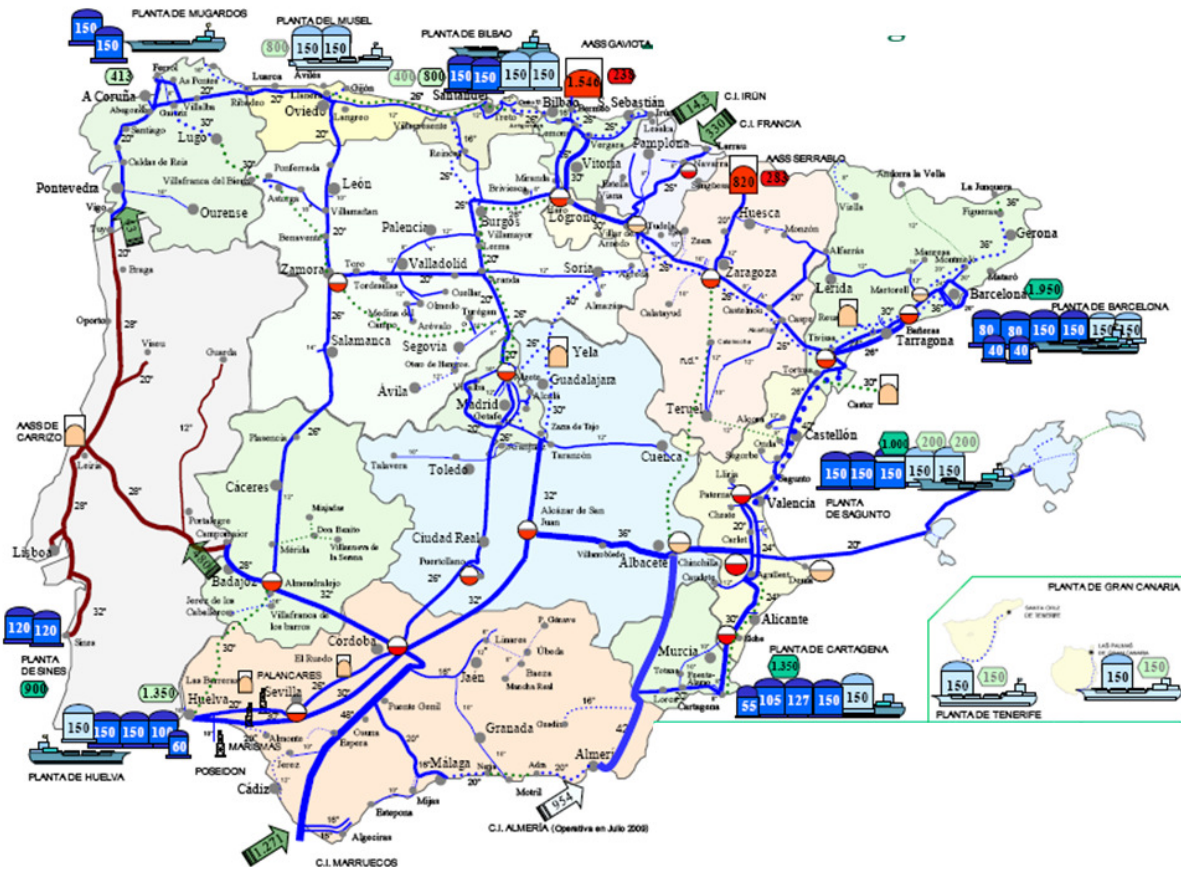


Figura 13. Red española de transporte de gas y terminales marítimas con plantas de regasificación. Fuente:[11]

Sin embargo, una mirada más continental, a nivel continente europeo muestra que, dadas la localización de las fuentes potenciales de gas suministrado a Europa, desde Rusia, el mar Caspio, Norte de África, Oriente Medio y el Mar del Norte, evidencia la ventaja de tener un sistema mallado de gasoductos.

El transporte de Gas Licuado, a través de rutas marítimas es considerablemente más costoso, aunque requiera inversiones iniciales mínimas.

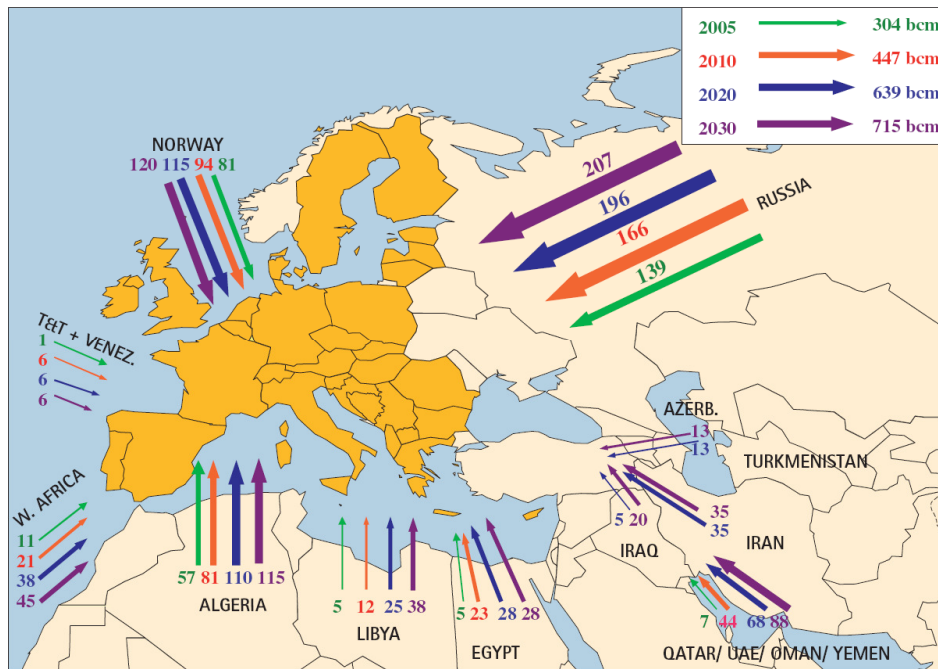


Figura 14. Transporte de gas natural desde países productores hasta países consumidores de la UE.

Obsérvese que el continente europeo tiene una buena situación geográfica, que permite asegurar el suministro gasista desde una variedad de fuentes externas.

D. DÉFICIT DE INFRAESTRUCTURAS DE TRANSPORTE DE ELECTRICIDAD

La red de transporte de alta tensión es uno de los elementos fundamentales en el funcionamiento del sistema eléctrico, ya que permite llevar la energía eléctrica desde las zonas de producción hasta las áreas de consumo. En la Figura 15 se muestra el mapa de infraestructuras para el transporte de energía eléctrica en España [76]

Aunque se han realizado mejoras de la infraestructura eléctrica de las diferentes zonas geográficas para poder afrontar el incremento de generación prevista procedente de los centrales eléctricas de gas (ciclos combinados) y los parques eólicos, sin embargo persisten la debilidad estructural de la red en algunas zonas, por ejemplo en Cataluña y en Andalucía, y las restricciones de evacuación de la energía generada en algunos nudos del sistema. Estas restricciones reducen la potencia disponible para la cobertura de la demanda y, en consecuencia, los márgenes de cobertura y la seguridad del suministro.

Las actuaciones necesarias en la red de transporte de energía eléctrica en el horizonte 2008-2016, según la planificación del gobierno español [62], son:

- Mallado de la Red de Transporte.
- Conexiones internacionales: nuevas líneas de conexión con Francia.
- Alimentación del Tren de Alta Velocidad: actuaciones asociadas a los requisitos de alimentación eléctrica a las nuevas líneas de alta velocidad previstas.
- Actuaciones asociadas a la evacuación de electricidad producida por las centrales eléctricas.
- Refuerzo de líneas y nuevas subestaciones para la evacuación de la electricidad generada por instalaciones eólicas, solares, etc.
- Apoyo a la distribución y demanda de grandes consumidores.

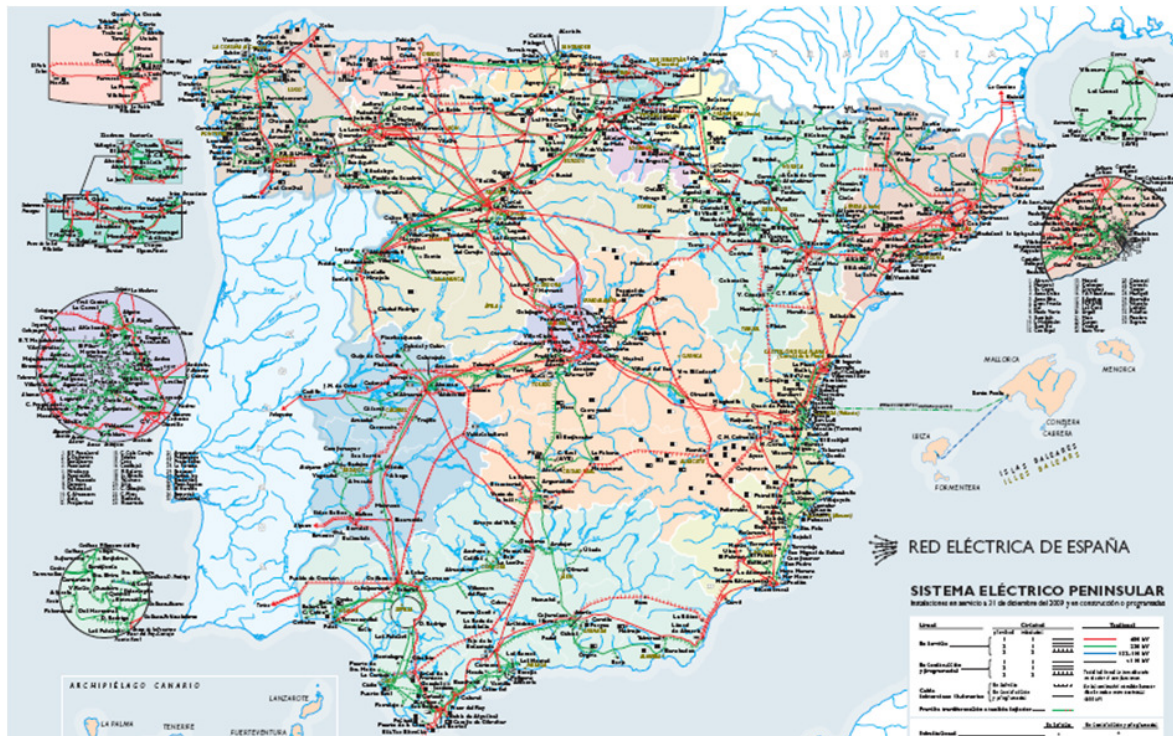


Figura 15. Red española de transporte de electricidad. Fuente: [76]

E. VULNERABILIDAD DE LOS SISTEMAS ELÉCTRICO Y GASISTA

El apagón de la electricidad y de gas puede deberse a la mala conservación y la inversión en instalaciones, malas políticas de energía, ataque terrorista o errores humanos en la operación.

Algunos autores y estudios, con un modelo matemático evalúan la vulnerabilidad de un sistema de energía típica, y concluye que puede llegar a un colapso total del sistema desde la pérdida del 2% de los nodos que conforman el sistema eléctrico [67].

Para corroborar esta teoría no hace falta más que observar los sucesos ocurridos en los últimos años, como por ejemplo el apagón de Nueva York del 15 de agosto de 2003, iniciado por el fallo de tres líneas eléctricas cerca de Cleveland (Ohio), la desconexión de una línea eléctrica provocó una sobrecarga en otra línea, la cual se sobrecalentó y también quedó desconectada. Estos errores se fueron propagando y las centrales eléctricas se desconectaron automáticamente de la red de suministro para así protegerse de posibles daños dando lugar a un fallo total del sistema eléctrico. Casos semejantes son el apagón iniciado en Alemania (Noviembre 4 de 2006) al desconectar una línea de alta tensión para permitir el paso a un buque, que dejó desabastecidos a cientos de miles de usuarios de Bélgica, Países Bajos, Italia y España, cinco millones de franceses y varios millones de alemanes, o el iniciado en Suiza (Septiembre 27 de 2003) por la caída de un árbol sobre una línea de alta tensión que provocó en Italia el mayor apagón de su historia, afectando a todo su territorio a excepción de la isla de Cerdeña.

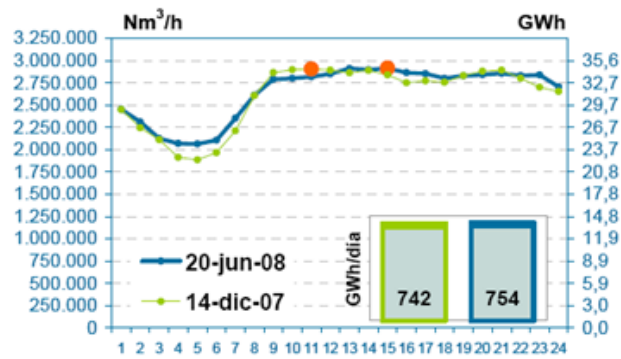


Figura 16. Ejemplo de perfil de horario de entrega de gas en el sistema español

Adicionalmente, la falta de coordinación entre los operadores de las redes de transporte de electricidad y de gas, puede ocasionar un evidente colapso del sistema. El déficit en el suministro del combustible primario (Gas Natural) en horas de alto consumo, puede derivar en fallos del sistema completo.

Finalmente, aunque el sistema gasista europeo está relativamente mallado, aún ha demostrado debilidades ante la actuación de proveedores fuertes, que están sometidos a las coyunturas políticas y geopolíticas. Ejemplo de ello, constituyeron las fallas de suministro en el invierno de 2008, lo cual repercutió en una corta crisis energética en toda Europa.

Gasoductos

- ▶ Gasoductos operativos
- ▶ Gasoductos planificados
- Yacimientos de gas
- Centrales de gas cerradas entre 2003 y 2005
- Terminales regasificación operativas
- Terminales regasificación construcción
- Terminales regasificación planificados

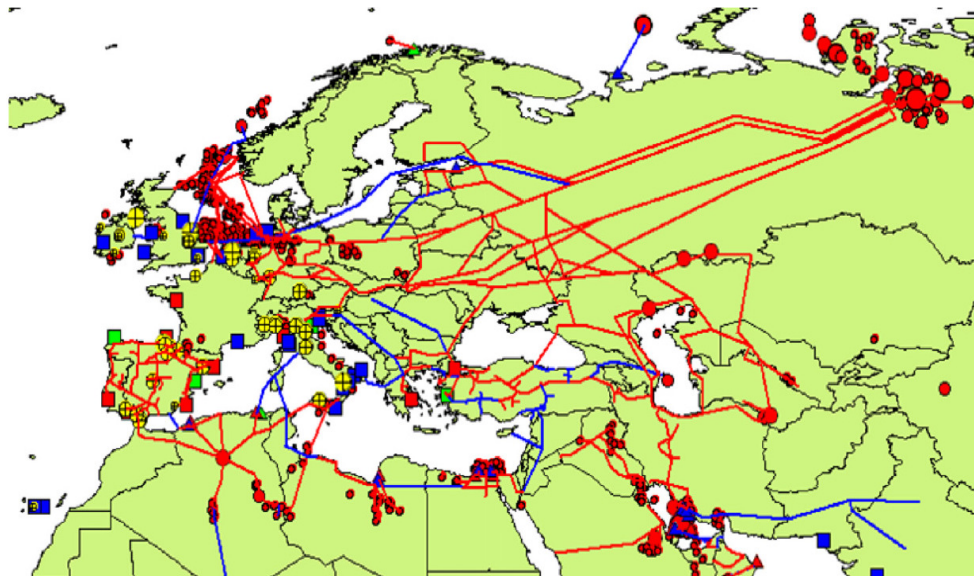


Figura 17. Red gasista europea

F. CRÍTICA DEPENDENCIA GAS NATURAL-ELECTRICIDAD

Existe un creciente grado de interdependencia entre el gas y los sistemas eléctricos, lo que hace urgente la coordinación de estos sistemas. La interacción de ambos sistemas se lleva a cabo debido al uso de gas natural para la generación de energía con diferentes tipos de tecnología, como es el caso de las plantas de cogeneración de combustible mixto de gas y ciclos combinados.

A nivel europeo, la planificación de nuevas centrales de generación eléctrica, está fundamentada hacia el uso del gas natural, por tratarse de tecnologías más eficientes y

menos contaminantes que las centrales térmicas a carbón, lo cual se puede corroborar en la siguiente figura

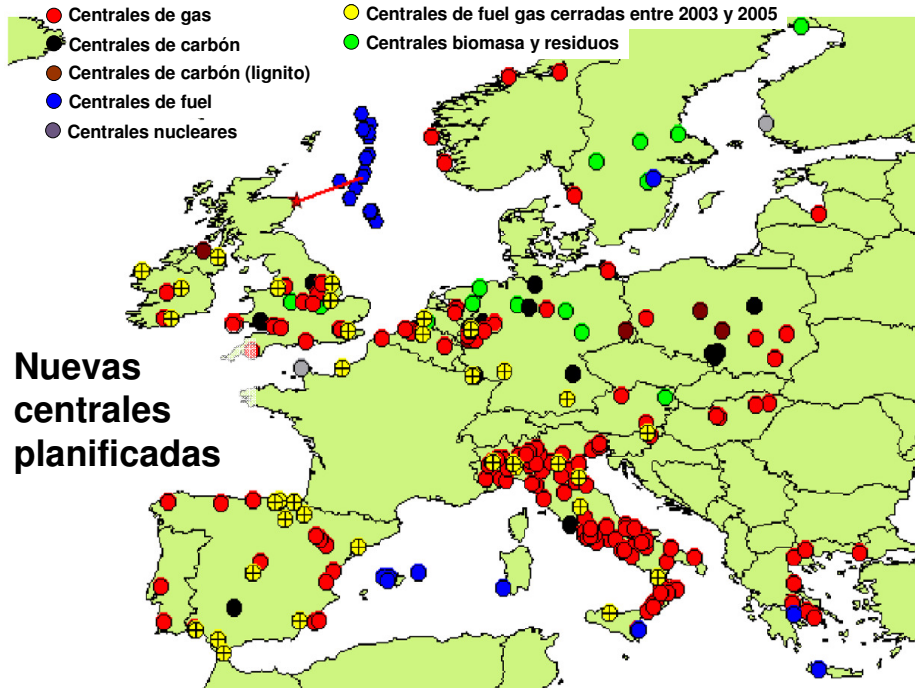


Figura 18. Planificación de nuevas centrales eléctricas en Europa

Para el caso español en 2009 la energía procedente de centrales de ciclo combinado de cogeneración de gas natural cubrió más del 40% de la electricidad que el país necesita, lo cual desempeña un papel crítico en el sistema energético español actual [11]. La Figura 19 presenta la evolución de las fuentes de energía, y la capacidad instalada en el sistema energético español. Puede evidenciarse la cada vez mayor dependencia de la generación basada en las centrales de ciclo combinado que utilizan gas natural, en lo que va del siglo XXI.

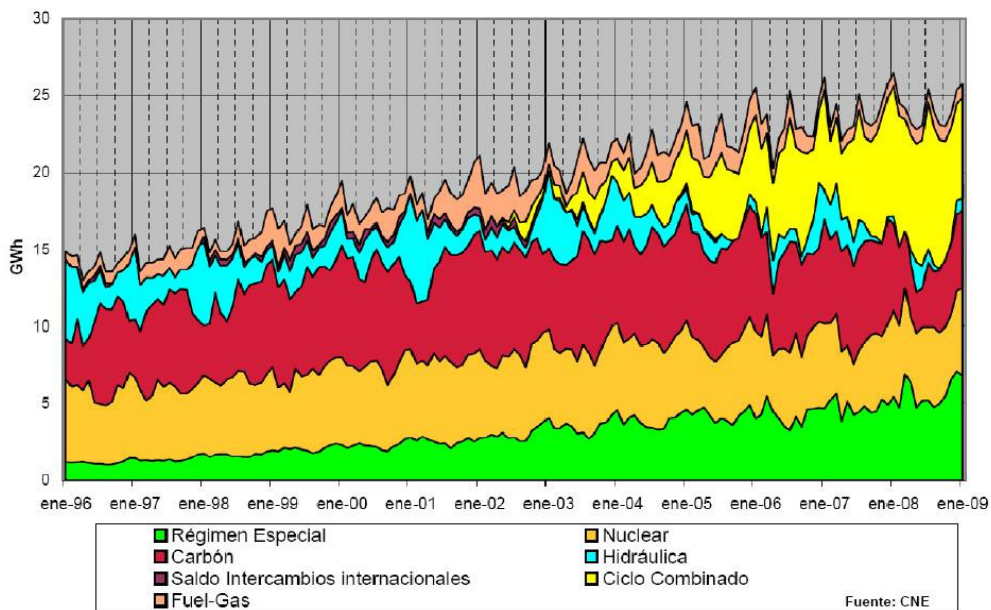


Figura 19. Fuentes de generación de electricidad en España (GWh)

En consecuencia, la seguridad del suministro eléctrico se verá afectado por la disponibilidad de infraestructuras de gas para alimentar centrales de ciclo combinado y las

tecnologías de cogeneración que soporta la mayoría de la futura ampliación de la capacidad de generación de electricidad.

La peculiaridad del sistema gasista español, en comparación con otros países europeos es la alta dependencia de las importaciones y la importancia de las plantas de regasificación de alta en el suministro.

Por lo tanto, un fallo en el suministro de gas puede resultar fundamental para el suministro de energía, por lo que urge una mayor coordinación de los dos operadores de redes de transporte (REE y ENAGAS).

G. DIFICULTADES EN EL CONTROL DE DESPACHO DE ELECTRICIDAD CON ENERGÍAS RENOVABLES

El uso de las energías renovables, especialmente energía eólica para la producción de electricidad en todo el mundo está teniendo un desarrollo espectacular. En España, la energía eólica cubre ya el 14% de la demanda de electricidad anual según informes de REE [77], y en ocasiones ha llegado a producir más del 50% de la demanda eléctrica, según se informó el 8 de Noviembre de 2009 [77]

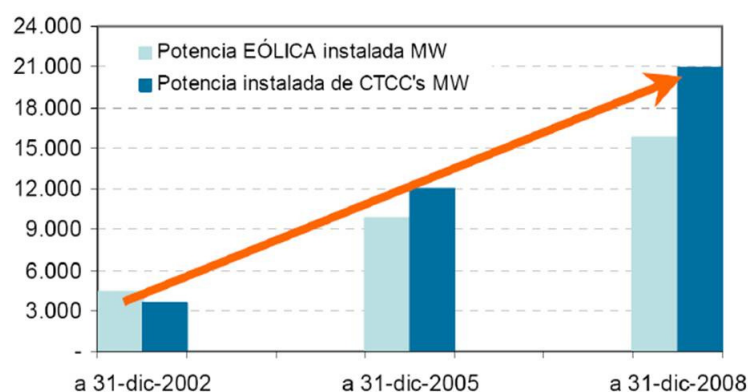


Figura 20: Relación de capacidad instalada entre potencia eólica y ciclo combinado en España. Fuente: ENAGAS.

Este importante desarrollo de la energía eólica en España es un importante reto para la gestión de energía del sistema español. Es importante señalar que los aerogeneradores no producen electricidad cuando el viento no sopla, por lo general en situaciones de demanda de potencia de alta, a temperaturas extremas de calor o frío.

El problema principal es que los parques eólicos no garantizan el suministro continuo de energía al sistema. Además, al ser una energía que no se puede programar con antelación, es necesario mantener una alimentación de reserva (por ejemplo, térmicas, de gas o carbón) que mitiga la variabilidad del viento. Por otra parte, los parques eólicos se enfrentan a problemas de calidad de suministro de la energía generada y la respuesta óptima a las perturbaciones en la red.

Estos problemas técnicos para la integración de la energía eólica en las redes eléctricas ya han llevado al punto crítico para el sistema eléctrico, por ejemplo, desconexión de la generación eólica cuando más se necesitaba, por ejemplo, en el apagón europeo del 4 de noviembre de 2006, o el exceso de producción que la oferta no fue capaz de absorber el 2 de noviembre de 2008.

H. ATAQUES INFORMÁTICOS EN CENTROS DE CONTROL DE LOS SISTEMAS DE GAS, PETRÓLEO Y ELECTRICIDAD

Los sistemas de gestión de la energía (EMS), sistemas de supervisión control y adquisición

de datos (SCADA), sistemas de control de transmisión y distribución de energía (DCS), controladores lógicos programables (PLCs) que controlan la producción energética, están interconectados mediante redes, y también son accesibles de forma remota. Esta accesibilidad hace que estos sistemas de control, gestión y vigilancia sean vulnerables a virus o ataques informáticos (ciberterrorismo).

Ataques bien ejecutados a pequeña escala contra los sistemas de control energético pueden provocar problemas en el sistema, aunque seguramente su impacto será de ámbito local. Pero si los ataques son simultáneos y de forma coordinada contra los diferentes SCADAs, DCSs o PLCs que gestionan varias instalaciones de generación eléctrica, de distribución de gas o de petróleo o electricidad, se pueden originar problemas de suministro energético a escala regional y por efecto cadena hasta de ámbito nacional.

En España, por ejemplo, existe un único centro de control técnico de la red eléctrica de transporte de alta tensión, gestionado por la empresa Red Eléctrica de España (aunque duplicado por motivos de seguridad), pero existen muchos otros centros de control de las redes de distribución eléctricas regionales y de las centrales eléctricas repartidos por todo el país con un nivel de autoprotección mucho menor.

I. DESAJUSTES DE OFERTA Y DEMANDA DE PRODUCTOS PETROLÍFEROS

Las refinерías tienen una capacidad determinada de transformación de petróleo en gasolina o diesel, por sus características de diseño productivo. La promoción del uso de vehículos diesel en Europa, por su mayor eficiencia energética, ha producido en el sistema de refino europeo un importante desequilibrio de su capacidad productiva, con un importante exceso de producción de GASOLINA y un elevado déficit de DIESEL, que es preciso cubrir con importaciones.

Tabla 12: Exceso de producción en Gasolina y déficit en refinación de Diesel en España

	GASOLINA	DIESEL
2005	+ 15 MTm	-24 MTm
2015	+ 25 MTm	-40 MTm

En 2005 el déficit de combustible diesel era de 24 millones de toneladas (24 MTm) y el exceso de oferta de gasolina de 15 MTm, pero está previsto que en 2015 el déficit aumente a 40 MTm y el exceso de oferta a 25 MTm.

Refinería	Capac. MTm/a	FCC Eq. MTm/a
Cartagena	5,0	
La Coruña	6,0	4,4
Puertollano	7,0	5,1
Tarragona	8,0	3,7
Bilbao	11,0	4,0
Tenerife	4,5	0,6
Algeciras	12	2,5
Huelva	5	1,1
ASESA	1,1	
Castellón	6,0	1,5



Figura 21: Capacidad de refinación en España, Fuente CNE [10]

11. ANEXO 2: IDENTIFICACIÓN DE AMENAZAS NO TÉCNICAS A LA SEGURIDAD DEL SUMINISTRO ENERGÉTICO

Dentro de la identificación de amenazas no técnicas al sistema energético de la península ibérica, se tienen los siguientes compendios.

A. CRECIMIENTO DE LA DEMANDA DE LAS FUTURAS POTENCIAS MUNDIALES

Uno de los retos económicos y políticos de la actualidad es cómo lograr integrar, con éxito, a China e India en la economía mundial. La IEA en [42] y [72] prevé que el 70% del aumento de la demanda de energía hasta 2030 (un 40% mayor que la demanda mundial actual) será debida al desarrollo económico de estos dos países, tal y como se aprecia en la Figura 22..

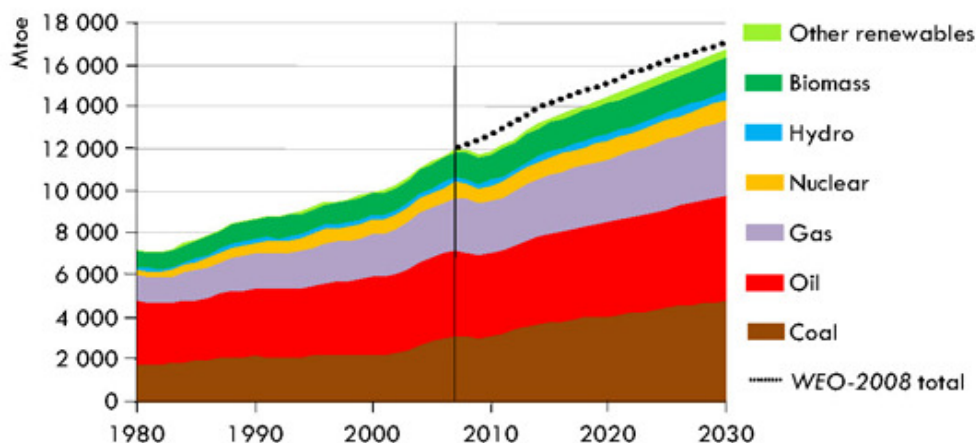


Figura 22: Demanda mundial de energía primaria, según combustible, Fuente [42]

A pesar del desarrollo de energías renovables y tecnologías de uso eficiente de la energía, está previsto que el aumento mundial de la demanda hasta 2030 se cubrirá con el incremento del uso de petróleo, gas natural y, sobre todo, pero en especial el carbón será un combustible de energía primaria que suplirá gran parte de este crecimiento de la demanda carbón, mineral muy abundante en China y que puede ser utilizado en las nuevas tecnologías de captura y almacenamiento de CO₂. Esta situación puede apreciarse en la Figura 23, en la cual se observan predicciones de la participación de China e India responsables del 70% del aumento de la demanda energética.

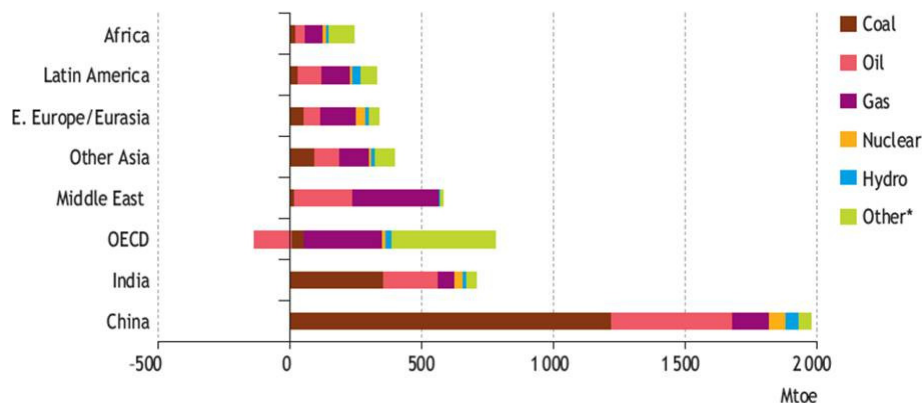


Figura 23: Incremento de la demanda de energía primaria. Escenario 2006 - 2030, Fuente [42]

El acceso a los recursos energéticos puede transformarse en una carrera entre los estados para el control de las zonas de producción y de los flujos de aprovisionamiento, pudiendo originar fricciones y conflictos internacionales, que pueden llegar a desestabilizar el frágil equilibrio actual en el suministro energético.

Asimismo, el crecimiento de las economías mundiales, a pesar de la última coyuntura económica de los años 2008 y 2009, apunta a mayor destinación de recursos financieros para la compra de suministros energéticos. Los tiempos de la energía barata de principios de los años 70's quedaron atrás, y se espera que cada vez se destine mayor proporción del PIB nacional de cada país para comprar energía, y continuar alimentando el sistema económico de cada estado. Se proyecta que en el año 2025 China será el mayor comprador de energía en el mundo, por encima de los EEUU. [42]

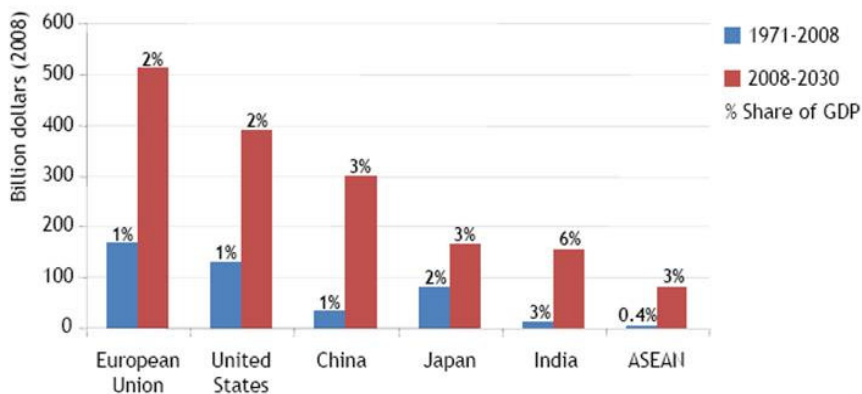


Figura 24: Gastos anuales estimados en importaciones de energía. Fuente IEA [42]

B. INESTABILIDAD POLÍTICA DE LOS PAÍSES PRODUCTORES DE GAS Y PETRÓLEO Y AGOTAMIENTO DE LOS RECURSOS

Los problemas de inestabilidad política de los países productores tienen repercusiones directas e indirectas en los intereses energéticos nacionales, pudiendo afectar a la seguridad del suministro energético. Además pueden provocar una posible escalada de los precios del petróleo o del gas, originando brotes de inflación extensivos a toda la economía internacional.

Las proyecciones de la IEA [42] estiman que en el periodo de referencia 2008 – 2030, las importaciones netas de petróleo en países como EEUU y el bloque pacífico de la OCDE, disminuyen, pero aumentan en las economías asiáticas y en la Unión Europea, a raíz del agotamiento de los yacimientos del mar del norte.

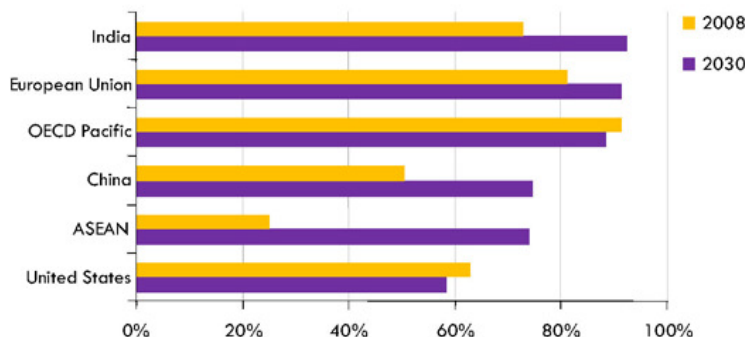


Figura 25: Dependencia en importaciones de petróleo. Fuente IEA [42]

Las reservas mundiales de petróleo y gas natural son estimadas periódicamente en función de los yacimientos conocidos donde se puede extraer el combustible con costes aceptables. Las estimaciones más fiables se muestran en la Tabla 13 y en la Figura 26.

Tabla 13: Reservas mundiales de petróleo y gas. Diciembre 2008. Fuente [71]

REGIÓN	PETRÓLEO ($\times 10^9$ BARRILES)	GAS NATURAL ($\times 10^{12}$ PIES CÚBICOS)
América del Norte	209,91	308,79
América Central y del Sur	122,69	266,54
Europa	13,66	169,09
Eurasia	98,89	1.993,80
Oriente Medio	745,99	2.591,65
Africa	117,06	494,08
Asia y Oceanía	34,01	430,41

Se observa con claridad que la mayor parte del petróleo conocido se encuentra en Oriente Medio; sin embargo los principales yacimientos de gas se reparten entre Rusia, el Cáucaso y Oriente Medio. Todas ellas son zonas inestables políticamente.

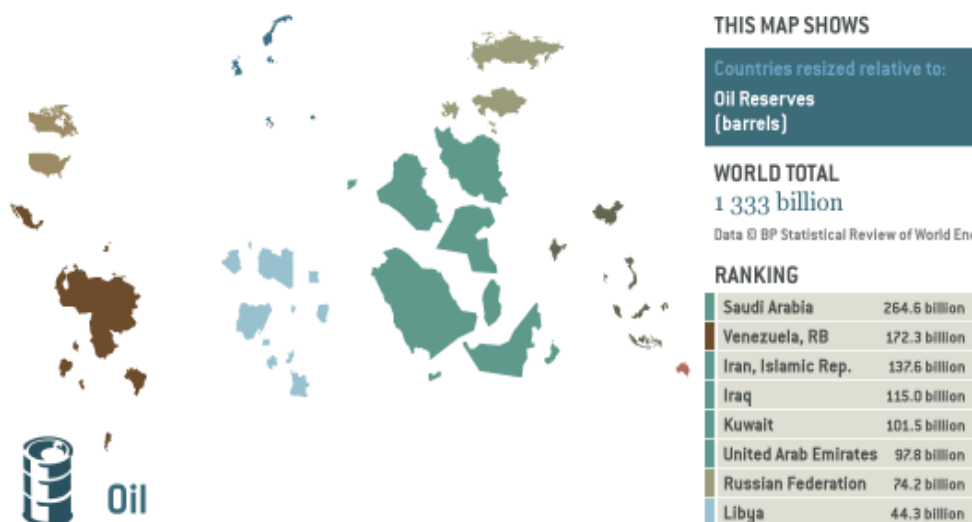


Figura 26: Reservas certificadas de yacimientos de petróleo por país, Fuente [59]

En países como Arabia Saudita, Irán o Emiratos Árabes, las reservas probadas de petróleo constituyen un secreto de estado. Este secreto les permite a los países productores de petróleo mantener un poder de negociación frente a los países consumidores, dado que siempre existirá incertidumbre en la fijación de precios de este combustible, así como protagonismo geopolítico. El caso especial de Venezuela que busca ocupar el primer lugar mundial con reservas de crudos extrapesados, le otorga un papel geopolítico, al utilizar el petróleo como arma energética.

Los recursos fósiles conocidos se encuentran, indiscutiblemente, en fase de agotamiento. El ritmo de descubrimiento de nuevos yacimientos es inferior al ritmo de aumento de la demanda, y las previsiones disponibles indican que los yacimientos de petróleo se agotarán en menos de 50 años, los yacimientos de gas en menos de 70 años, y el carbón en menos de 250 años, según estudio publicado por VALERO [91] y cuya proyección se puede apreciar en la Figura 71 de este trabajo. Es preciso señalar que existen expectativas de exploración de nuevos pozos y bolsas de petróleo y gas en los próximos años, por ejemplo bajo el mar, pero el coste de su extracción representa un escenario de precios inviable para mantener el crecimiento económico. Más tarde o más temprano, asistiremos al agotamiento de unos recursos que han tardado millones de años en formarse, y que hemos consumido en unas pocas decenas de años [91].

C. POSIBLE CREACIÓN DE UNA OPEP DEL GAS

Líderes de algunos de los principales países productores de gas (incluidos Rusia, Irán, Qatar y Kazajistán) han indicado, en ocasiones, que quieren imponer límites a los niveles de producción para controlar los precios, como hace la OPEP en el mercado petrolero. Muchos analistas lo ven con escepticismo, ya que el enfoque de la OPEP es más difícil de adoptar con el gas, por varios motivos.

El potencial de estos países que cuentan con las mayores reservas globales de gas natural, les permite tomar un gran protagonismo geopolítico, en la medida que la demanda y el posicionamiento de este combustible aumenta en todo el planeta, tanto por sus costes, como por la facilidad de almacenamiento y transporte. La Figura 27 permite visualizar el estado de las reservas actualmente certificadas.

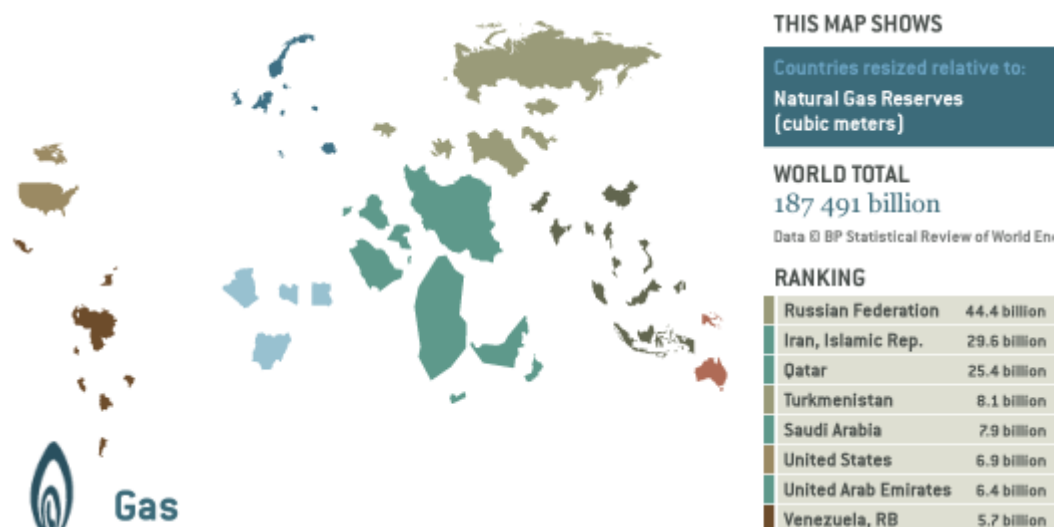


Figura 27: Reservas certificadas de yacimientos de gas natural por país, Fuente [59]

En primer lugar, el gas se transporta en gran parte a través de gasoductos regionales, por lo que no hay un mercado global que un cártel pueda controlar de la misma forma que el del petróleo, que se transporta en mayor medida por vía marítima. Además, el gas se comercializa habitualmente mediante contratos de suministro a largo plazo (hasta 30 años) lo que también es una barrera para cualquier intento de regular la producción con el objetivo de elevar los precios.

No obstante, si finalmente se creara esta organización, se convertiría en una fuerte amenaza para la seguridad de suministro de gas y la economía nacional española, dada la dependencia de los aprovisionamientos exteriores.

D. RESERVAS ESTRATÉGICAS DE GAS Y PETRÓLEO

Los Estados miembros de la Agencia Internacional de la Energía tienen la obligación de constituir y mantener constantemente un nivel de reservas de productos petrolíferos equivalente como mínimo a 90 días del consumo interior medio registrado durante el año anterior. Actualmente existe una reserva mundial de 4,1 billones de barriles de petróleo, de los cuales 1,4 billones se encuentran bajo control de los gobiernos; el resto está en manos de las empresas del sector.

Algunos países han constituido, adicionalmente, una reserva estratégica de petróleo para aumentar su independencia energética en caso de interrupción temporal del aprovisionamiento exterior. La reserva de petróleo de EEUU es una de las más grandes, aunque destaca recientemente el incipiente desarrollo de reservas estratégicas por parte de China. Las reservas de EEUU a finales del 2008 llegaron a 702 millones de barriles de

petróleo crudo.

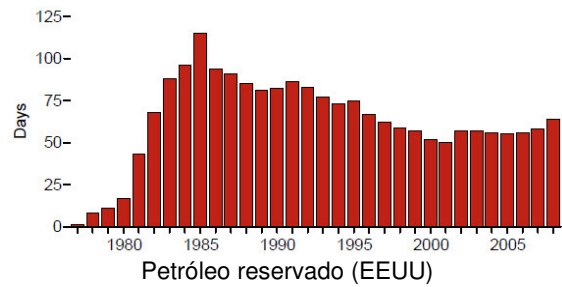
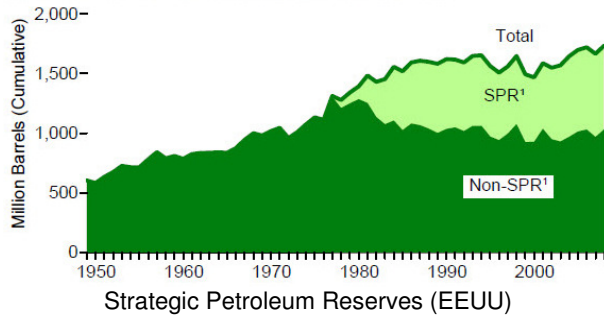


Figura 28: Cuantificación de las reservas estratégicas de petróleo en los EE.UU

Sin embargo, en caso de una caída mundial repentina de la extracción de petróleo los analistas sugieren que las reservas sólo suministrarían la demanda durante unos meses.

E. INSUFICIENCIA DE INVERSIONES PARA NUEVOS YACIMIENTOS E INFRAESTRUCTURAS

Es necesario que tanto los países productores, como los países de tránsito y consumidores lleven a cabo las inversiones necesarias en infraestructuras para poder garantizar la seguridad de suministro energético. Las inversiones en las diferentes partes de la cadena de suministro energético son cruciales. En el momento actual se está poniendo de manifiesto la insuficiencia de intensidad inversora que se ha producido en los últimos 20 años en la exploración y explotación de los recursos petrolíferos y gasísticos de países productores como Rusia o Arabia Saudita.

El descenso de los precios del petróleo y la crisis económica internacional no hacen sino agravar la situación: se están paralizando inversiones necesarias para nuevas explotaciones de crudo y gas y para el resto de la cadena de suministro. El problema es que estas infraestructuras energéticas se planifican con mucha antelación a su puesta en servicio (más de diez años en muchos casos), por lo que las inversiones que no se realicen hoy pueden producir serios problemas de cobertura de la demanda energética en pocos años, y afectarán críticamente a la volatilidad de los precios del petróleo y el resto de combustibles cuando se produzca la recuperación de la economía mundial.

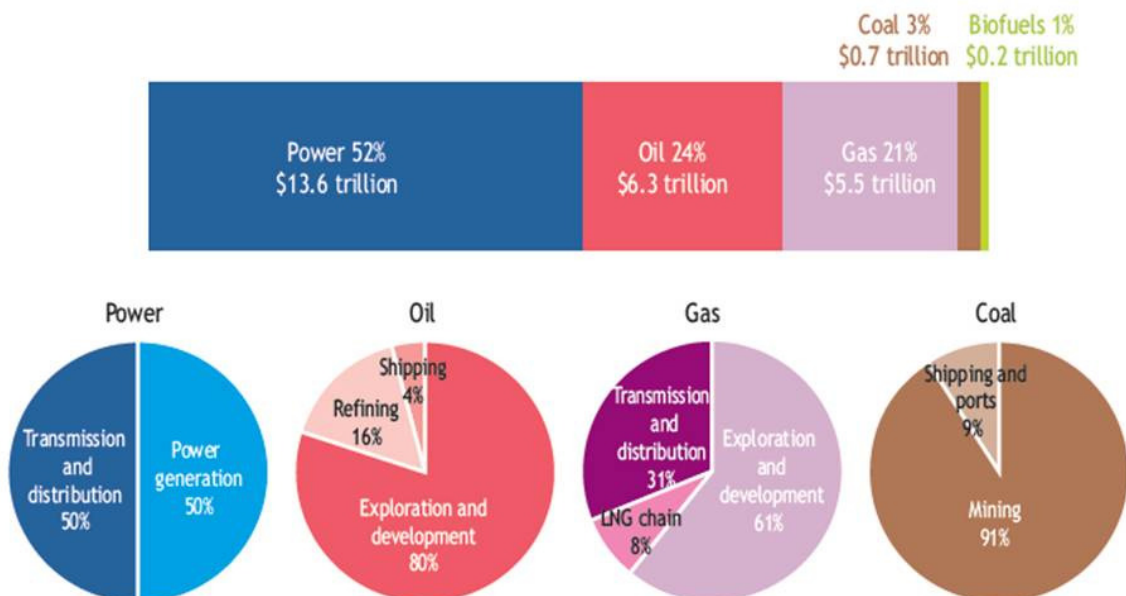


Figura 29: Inversiones para extracción de fuentes primarias de energías, escenario 2007 - 2030. Fuente IEA [41]

La IEA estima que serían necesarias inversiones por valor de más de 26 trillones de dólares entre 2007 y 2030 para hacer frente a las necesidades globales de energía, repartidas un 52% en el sector eléctrico, un 24% en el petróleo, un 21% en el gas, un 3% en el carbón y un 1% en biocombustibles [41]. La distribución de dichas inversiones se pueden apreciar en la Figura 29.

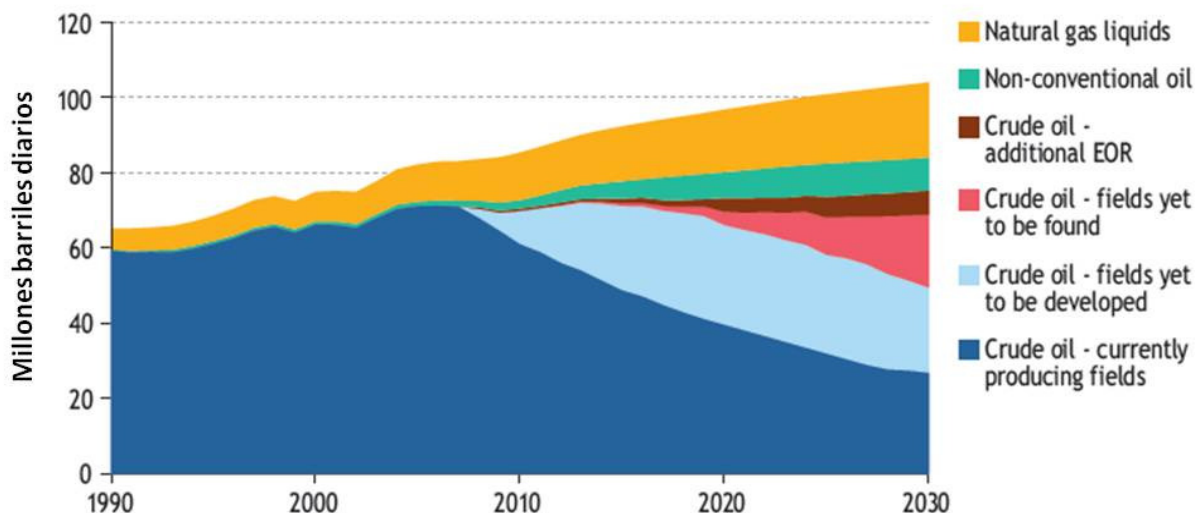


Figura 30: Fuentes de producción de petróleo a nivel mundial. Fuente IEA [41]

Por otro lado, en lo que respecta a las estimaciones de la IEA [41], para el desarrollo de los yacimientos de petróleo, que se aprecian en la Figura 30 proyectan una producción desde 82.3 millones de barriles de petróleo al día como ocurrió en el año 2007, antes del impacto de la crisis económica mundial, hasta 103.8 millones de barriles de petróleo diarios para el año 2030. Sólo las nuevas técnicas de explotación de petróleo (Incluyendo la recuperación de pozos con CO₂), el descubrimiento y desarrollo de nuevos yacimientos y la explotación de fuentes no convencionales del mineral (Como las arenas bituminosas o los crudos extrapesados) permitirán cubrir la creciente demanda energética de petróleo. En la misma Figura 30 es evidente el agotamiento de las actuales reservas de petróleo, que se reducirán a menos de la mitad de las existencias actuales, para el año 2030.

Hay que tener en cuenta que el descenso de los precios del petróleo y la crisis económica internacional han tenido el efecto de paralizar importantes inversiones necesarias para nuevas exploraciones y extracción de crudo y gas. A esto se suma el hecho, que dada la complejidad del desarrollo de estas infraestructuras para el transporte de energía y combustibles, son necesarios muchos años de antelación para la planificación, diseño, gestión de licencias e inversión de recursos, previos a la entrada en servicio. Por ejemplo, la operación del gasoducto Medgaz entre Marruecos y España, con una longitud de 210 Km, profundidades de 2,16Km e inversiones de 900 millones de €, tardó cerca de 8 años, desde el momento de su planificación, hasta su puesta en servicio a finales del 2009. [95]

F. DEFICIENTE DIVERSIFICACIÓN DE LOS RECURSOS ENERGÉTICOS

De continuar la actual tendencia, los combustibles fósiles continuarán representando el 80% de la mezcla de energía primaria en el mundo [41], hasta el año 2030. El petróleo sigue siendo el combustible dominante, aunque la demanda de carbón se eleva más de la demanda de cualquier otro combustible en términos absolutos. La participación del gas natural en la demanda total de energía se eleva ligeramente, destinado a la generación de energía eléctrica. El carbón continúa representando aproximadamente la mitad de las necesidades de combustible para generar energía. La contribución de las energías renovables no hidráulicas para satisfacer las necesidades de energía primaria pulgadas frente al 11% actual al 12% en 2030. En la Figura 31 se puede apreciar el consumo energético dentro de la comunidad europea, y su proyección hacia el año 2030.

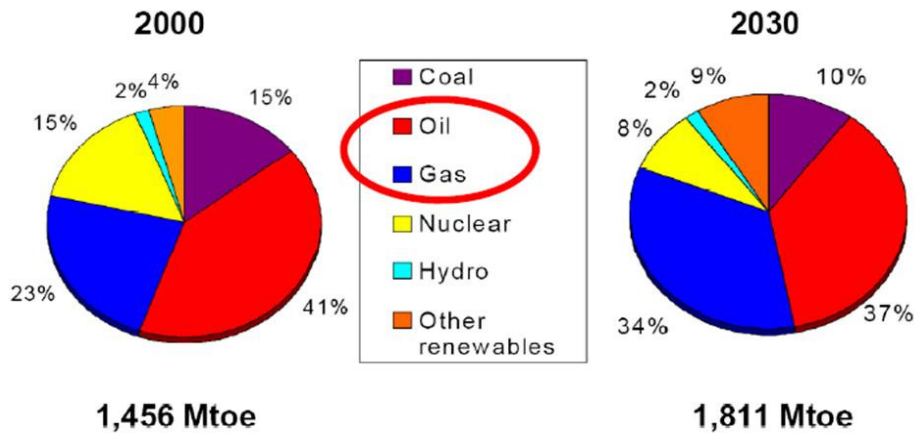


Figura 31. Consumo energético en la Unión Europea, por fuentes primarias. Fuente: IEA [38]

Aproximadamente el 40% de toda la energía primaria en la Unión Europea, se destina a la generación de electricidad. La Figura 32 presenta el origen de las fuentes energéticas con las cuales se genera energía eléctrica.

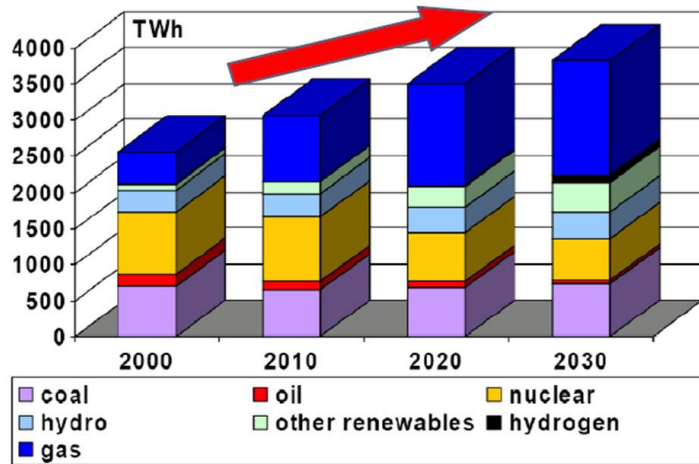
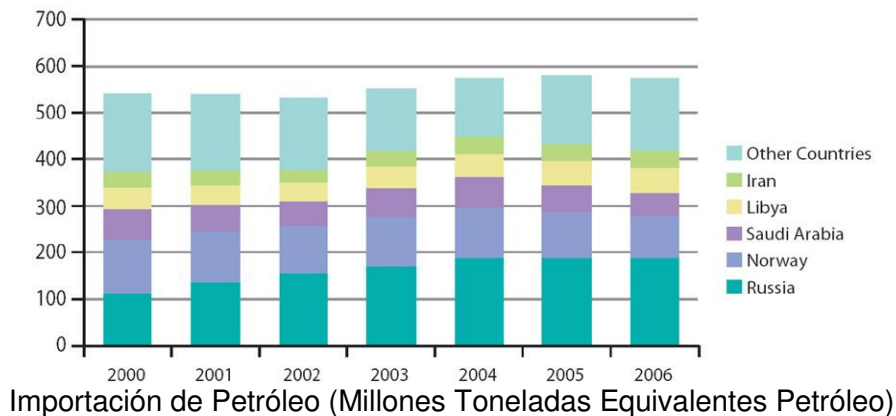


Figura 32. Generación de Electricidad, por tipo de combustible. Fuente: IEA [38]

Se proyecta que hasta el año 2030 la Unión Europea importará cerca del 70% de la energía que consume. [42]. En la Figura 33 puede apreciarse el origen de los países desde donde se importan los combustibles primarios que mueven la economía y la sociedad europea.



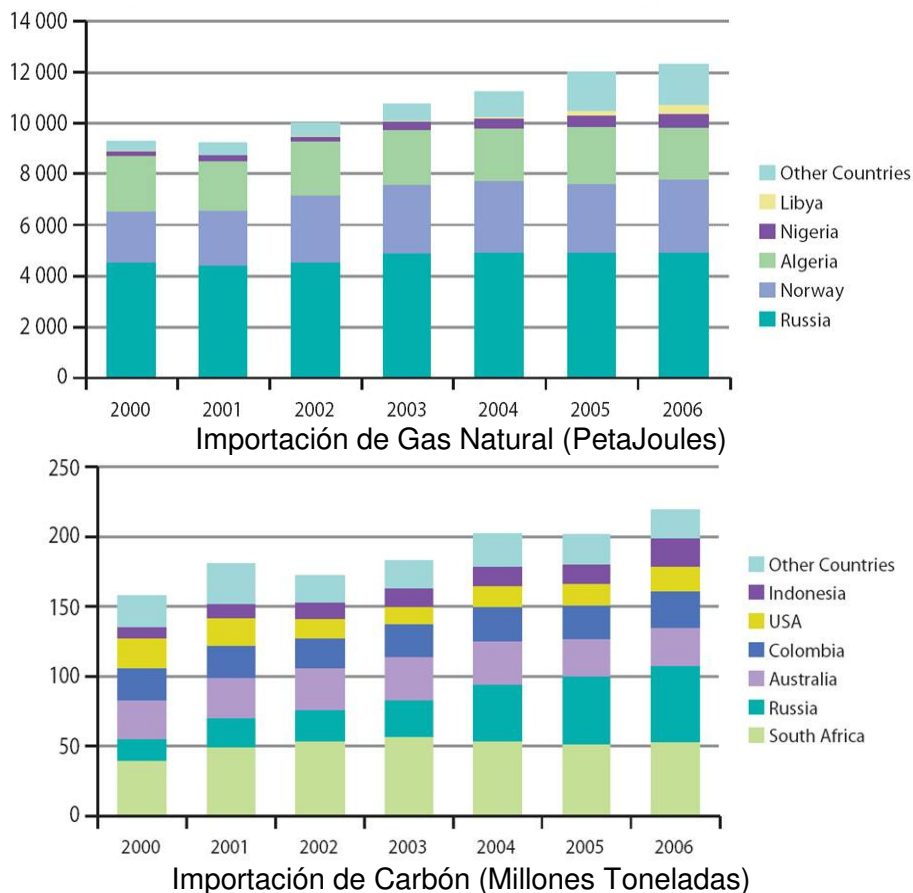


Figura 33. Origen de las fuentes de Energía Primaria en Europa. Fuente: EUROSTAT [28]

En el caso particular de España, existe una gran dependencia de la energía de hidrocarburos (petróleo y gas). Actualmente, el 80% de la energía total consumida en España se obtiene de fuentes de suministro fuera del país. Por lo tanto, la economía nacional es bastante vulnerable a la volatilidad de los precios internacionales del petróleo y el gas. Geográficamente, esta dependencia se concentra en los países con fiabilidad incierta, como se puede apreciar en la Figura 34, según se concluye a partir de los informes publicador por la Comisión Nacional de la Energía [10] y por ENAGAS [23]. Las perspectivas para el futuro sugieren que los escenarios de la energía será más complicado en el mediano y largo plazo, así como para otros socios europeos (la dependencia energética de la UE ya es mayor al 50 % y se espera que alcance el 70% en 2030) [95]

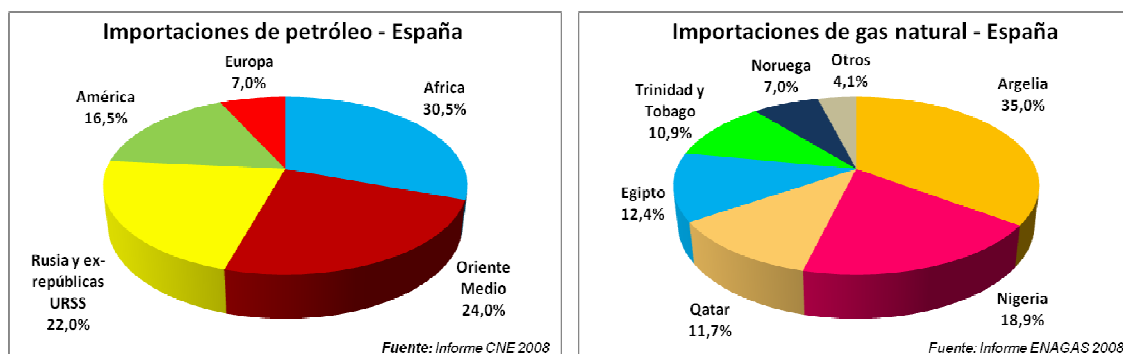


Figura 34. Origen de importaciones españolas de petróleo y gas natural. Fuentes: [10], [76], [23]

La diversificación de los recursos energéticos es un factor importante en la seguridad energética en España. Dentro de este desafío es urgente diversificar la combinación energética y reducir la dependencia de los hidrocarburos Sin embargo, las disposiciones de

la Agencia Internacional de la Energía no apuntan en este sentido, ya que tanto el sistema energético español como el europeo en general, dependerá en un 80% de la demanda de combustibles fósiles en 2030, con un aumento significativo de la proporción del gas natural y un ligero descenso en petróleo y en carbón. [38]

G. AMENAZAS A LAS INFRAESTRUCTURAS E INSTALACIONES DE PETRÓLEO, GAS Y ELECTRICIDAD

El terrorismo representa una creciente amenaza estratégica y económica para los países. Los gaseoductos y oleoductos se han convertido en objetivos terroristas, y los ataques pueden llegar a comprometer en parte la seguridad del suministro energético. A modo de ejemplo, se contabilizaron 469 ataques terroristas a instalaciones petrolíferas en Irak entre 2003 y 2008, o más recientemente, se ha interrumpido el tránsito de petróleo por el nuevo oleoducto del Caspio al Mediterráneo (Bakú-Ceyhan) por amenazas a su integridad física. [67]

Las instalaciones de generación y distribución eléctrica también son objetivos de los grupos terroristas, y cualquier ataque con éxito contra estas instalaciones puede tener efectos sobre la seguridad nacional, la economía y la vida cotidiana de los ciudadanos.

Aunque la preocupación es creciente entre las empresas responsables de las instalaciones más sensibles a la seguridad, por ejemplo las centrales nucleares, ha quedado en evidencia en repetidas ocasiones la debilidad en la protección de algunas infraestructuras esenciales.

H. AMENAZAS EN LAS RUTAS MARÍTIMAS DE APROVISIONAMIENTO

Aunque una parte del gas natural no se transporta mediante gasoductos sino en forma líquida mediante barcos, las principales amenazas al transporte de combustibles corresponden al petróleo, que mayoritariamente se envía de los países productores a los países consumidores por vía marítima mediante una flota mundial de unos 3.500 petroleros [4]. El 50% del petróleo mundial se transporta en barco (en 2007, 43 millones de barriles por día). Los dos pasos más estratégicos son el Estrecho de Hormuz y el Estrecho de Malaca, que concentran el 75% del tráfico marítimo de petróleo. Dichas rutas pueden apreciarse en la Figura 35, en las cuales también se aprecian las cantidades diarias despachadas por vía marítima desde el Golfo Pérsico, hacia los demás países consumidores.

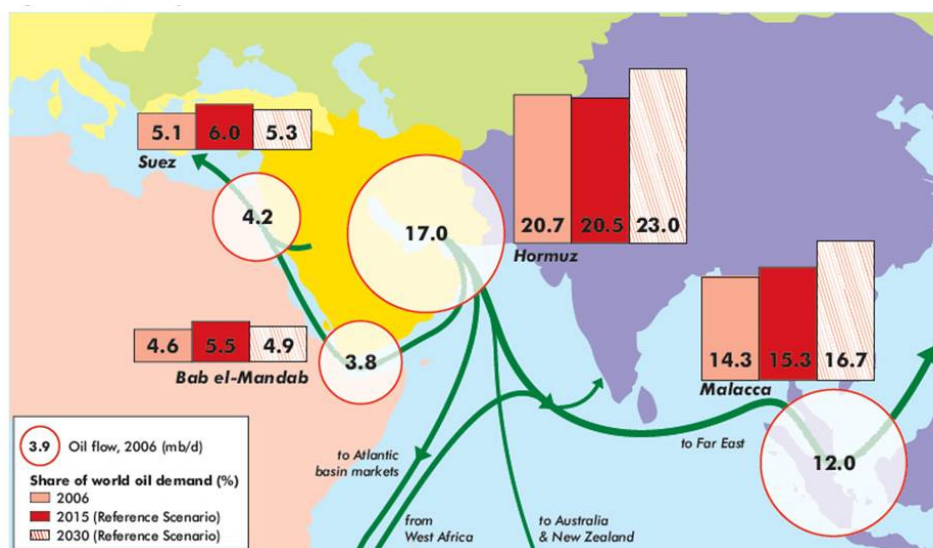


Figura 35. Rutas y cantidades diarias de transporte de petróleo desde el Oriente Medio (millones de barriles). Escenario 2006 - 2030 Fuente: [41]

El estrecho de Hormuz es el paso marítimo del 40% del petróleo mundial. La sensibilidad de los mercados a los posibles eventos en el estrecho Hormuz es tan elevada que, por

ejemplo, la colisión accidental el pasado 20 de marzo de 2009 del USS Hartford submarino y el buque anfibio USS New Orleans produjo un alza automática del precio del petróleo en el NYMEX. [95]

El otro paso marítimo más conflictivo es el estrecho de Malaca, ruta marítima más corta entre el Golfo Pérsico y los mercados asiáticos, y escenario de frecuentes actos de piratería y colisiones entre barcos. Empresas de Malasia, Indonesia y Arabia Saudí firmaron en 2007 un acuerdo para construir un oleoducto por valor de 7000 millones de dólares entre el norte de Malasia y la frontera sur de Tailandia, reduciendo un 20% el tráfico de petroleros en el Estrecho de Malaca.

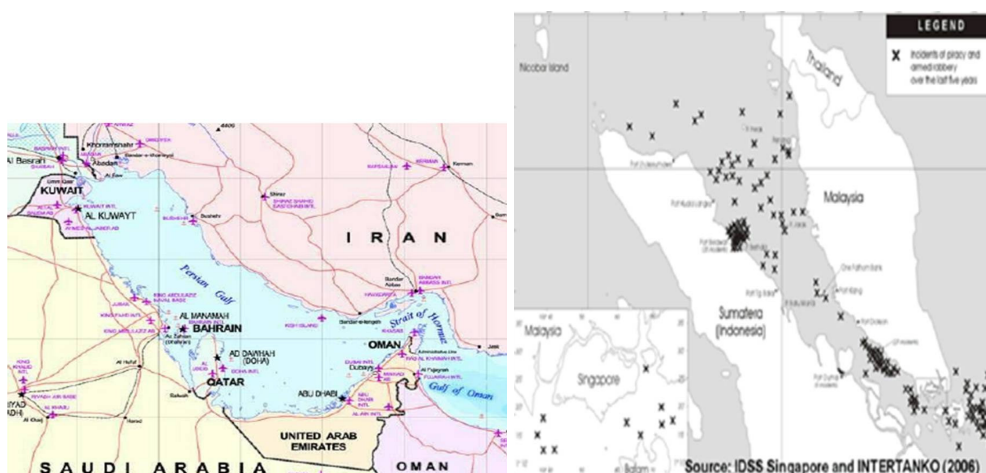


Figura 36. Estrecho de Hormuz y Estrecho de Malaca

Otros pasos importantes son Bab el-Mandab, Canal de Panamá, Canal de Suez y los Estrechos de Turquía (Estrecho del Bósforo). Últimamente las costas de Somalia son escenario habitual de actos de piratería cada vez más atrevidos, que incluyen el asalto a buques petroleros. [95]

I. CONFLICTOS POLÍTICOS ENTRE PAÍSES SUMINISTRADORES, CONSUMIDORES Y DE TRÁNSITO

Una importante cantidad de recursos se concentran en algunas regiones (como es el caso del petróleo y del gas), en cuyo caso, la importación a precios excesivamente altos significa una transferencia de riqueza de estas regiones. La transferencia de esta riqueza puede ser inconsistente con las prioridades de política exterior del país importador. [58]

Por otra parte, la negativa de un país para vender la energía a un importador se refiere a veces como el uso del “Arma Energética”. Dicha conducta sólo puede explicarse por motivos políticos. En tales casos, la historia de fondo no puede ser suficientemente explicada dentro de los términos de la teoría económica tradicional. [58]

El caso más reciente de un conflicto político entre países suministradores, consumidores y de tránsito, con graves consecuencias para la población y la economía, es la suspensión del suministro de gas a Europa, por parte de Rusia, a través de Ucrania, en el invierno 2008-2009. El 80% del gas ruso que importa Europa pasa por Ucrania por lo que esta interrupción unilateral de Rusia ha producido una crisis energética sin precedentes en Europa Central durante varias semanas.

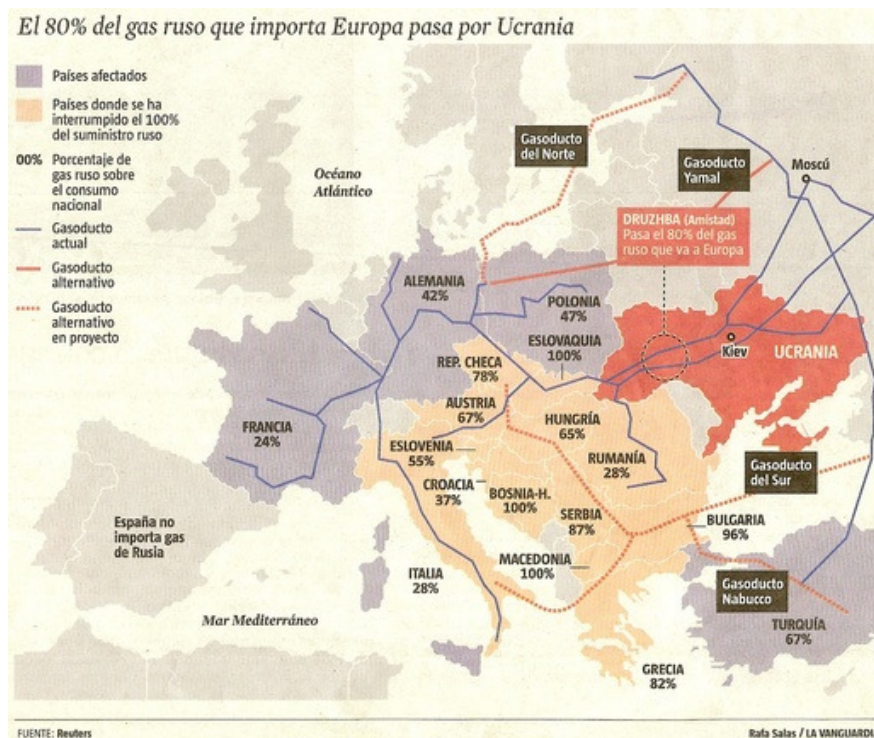


Figura 37. El caso de la suspensión del gas ruso a Europa en el 2008

El gas ruso es barato, abundante y próximo, y seguirá siendo el principal proveedor de gas y petróleo de Europa en el futuro. Aunque la Comisión Europea está tratando de coordinar las acciones para la construcción de nuevos corredores energéticos hacia los países de la Unión Europea, la realidad es que cada estado está resolviendo el suministro a corto y medio plazo mediante soluciones bilaterales. Por ejemplo Alemania y Rusia están construyendo un nuevo gasoducto submarino bajo el Mar Báltico para la interconexión directa entre ambos países (proyecto Nord-Stream). Otros estados consumidores, sin posibilidades de aprovisionamiento independiente por tierra o por mar, están condenados a depender de los países de tránsito.

Los países europeos mediterráneos, entre ellos España, tienen una dependencia más reducida del gas ruso, por su posición geográfica próxima a los yacimientos de gas del norte de África, pero no están exentos de problemas por tránsito de gasoductos a través de terceros países, por ejemplo Marruecos o Túnez. [4]

Otro país destinado a convertirse en un país de tránsito clave es Turquía, una ruta de paso de los nuevos gasoductos (Figura 38). Sin embargo, un importante proyecto, el gasoducto Nabucco entre el gran mar Caspio y Europa Central, ha estado estancado por la falta de confianza de los inversores en las condiciones de suministro de los países abastecedores (Kazajistán, Turkmenistán y otros) en Turquía, el tránsito más importante del país en esta ruta. Turquía aún no ha definido claramente la posibilidad de aceptar el establecimiento de un peaje para el paso de gas a través de su territorio, o que aspiran a controlar los precios de compra y venta de gas dentro de sus fronteras, lo que aumenta su influencia política y económica de Europa [95]

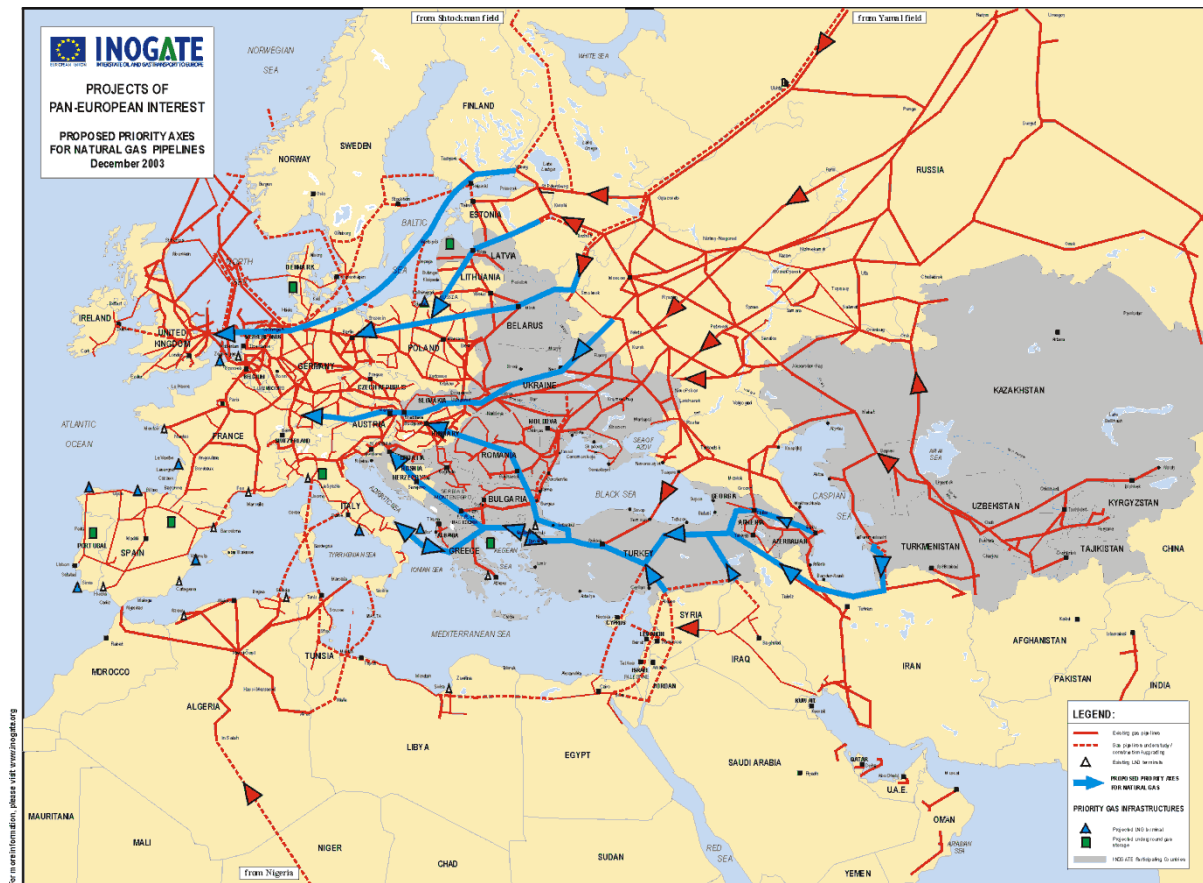


Figura 38. Proyectos de gasoductos entre Rusia, Asia y Europa

Dentro de las estrategias de aseguramiento energético para Europa, el CIEP [8] recomienda tomar acciones geopolíticas tendientes a disminuir las tensiones con aquellos países que concentran el tránsito mundial de combustibles. Basta una inspección al mapa que muestra las rutas y los flujos de gas natural a nivel mundial, para determinar la necesidad de garantizar el correcto desempeño de dichas comunicaciones entre los centros de producción y los centros de consumo. Dichas rutas se pueden determinar en la Figura 39.

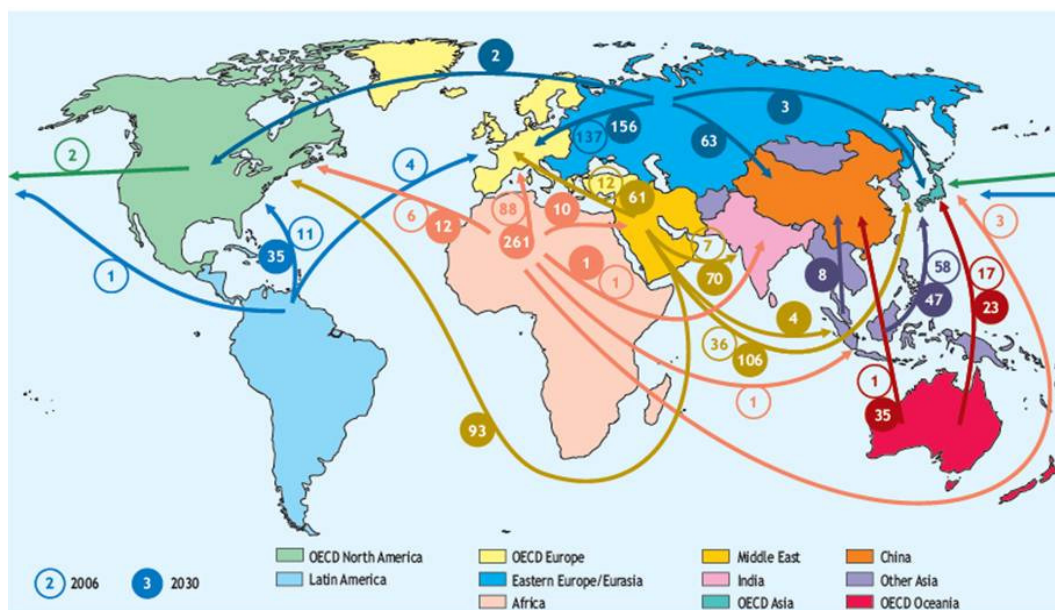


Figura 39. Rutas y flujos de suministro de Gas Natural hacia los países consumidores. (billones de metros cúbicos al año) Fuente IEA [41]

En consecuencia, al menos en el corto plazo, la elasticidad, o reacción de la demanda ante el cambio en el precio de los insumos energéticos, es relativamente pequeña, dado que la infraestructura y los bienes de capital que utilizan energía (como son las plantas industriales o los automóviles), no pueden cambiarse fácilmente. En muchos países, esta situación conlleva la necesidad de importar una gran cantidad de recursos energéticos. Dicha condición se percibe como una circunstancia de dependencia o de vulnerabilidad: Aún si los precios de importación de la energía escalan de manera pronunciada, la elasticidad de precios a corto plazo, resulta en que las economías industrializadas deben pagar esos mayores precios sin reducir sustancialmente su consumo.

J. REGULACIÓN ECONÓMICA INEFICIENTE DE LOS NUEVOS MERCADOS ENERGÉTICOS

La liberalización de los mercados energéticos europeos desde 1996 (electricidad) y 1998 (gas) ha transformado la organización y el funcionamiento de actividades tradicionalmente monopolísticas, permitiendo por ejemplo la introducción de competencia en la generación de electricidad y la libertad de elección del suministrador por parte de los consumidores de electricidad y gas (Directivas 96/92/CE y 98/30/CE). Los objetivos primitivos de este proceso de reformas fueron:

- Aumentar la competitividad
- Reforzar la seguridad del suministro
- Garantizar la sostenibilidad medioambiental

Sin embargo, la heterogeneidad de los sistemas eléctricos y gasistas de cada estado miembro de la UE, la asimetría entre los distintos modelos de liberalización en la práctica en cada país, la concentración empresarial y la especulación han producido notables ineficiencias en las reformas de los mercados energéticos.



Figura 40. Operadores de los sistemas eléctricos en Europa

No se han satisfecho plenamente los objetivos propuestos inicialmente por la liberalización, y existen notables dificultades para alcanzarlos. Entre otras, existe una insuficiente capacidad de interconexión transfronteriza, indefensión y falta de información de los consumidores para contratar el suministro en el mercado libre, disminución de las inversiones por la falta de control de actividades que permanecen reguladas, contradicciones de los gobiernos entre segmentar los mercados y apoyar a sus “campeones energéticos”, etc.

Como resultado de este incierto panorama, España ha acusado una elevada volatilidad de los precios finales de la electricidad y el gas, el paso de empresas españolas a manos extranjeras (que es objeto de preocupación y seguimiento, entre otros, del Centro Nacional de Inteligencia) y una creciente preocupación por la reducción de las inversiones (la empresa italiana ENEL ha reducido a la mitad las inversiones planificadas en Endesa nada más tomar su control en marzo de 2009).

K. FALTA DE COORDINACIÓN DE POLÍTICAS ENERGÉTICAS NACIONALES Y DE LA UNIÓN EUROPEA

La Comisión Europea ha acometido en los últimos diez años, con éxito muy relativo, numerosas iniciativas para definir y construir una política energética europea. Entre ellas se han realizado esfuerzos destinados a la creación de un mercado único de la energía, a garantizar la seguridad del suministro energético conjunto de la Unión, y a la promoción de las energías renovables y la eficiencia en el uso final de la energía.

Sin embargo, los objetivos se han cumplido sólo parcialmente, ya que los sectores energéticos son considerados estratégicos por las políticas nacionales de cada estado miembro y éstos no han cedido su protagonismo en la articulación de una estrategia única europea. Además, en la práctica, las empresas privadas son responsables de adquisición de materias primas e inversiones, y no están siempre sometidas al control de los estados. O en otros casos, los estados han obviado la búsqueda de soluciones conjuntas a los problemas de suministro energético mediante acuerdos bilaterales directos con países productores de gas o petróleo.

En definitiva, a pesar de los esfuerzos e iniciativas desarrollados por la Comisión Europea no existe una política exterior energética coherente de la UE para garantizar y diversificar las fuentes de suministro de energía y reaccionar con eficacia ante las crisis energéticas internacionales. [95]

Se destaca la iniciativa del Libro Verde: “*Estrategia europea para una energía sostenible, competitiva y segura*” [15] que busca armonizar las acciones de la Comunidad Europea ante los principales proveedores de Energía. Este libro verde acierta en abarcar las necesidades del bloque europeo, en cuanto a su posición geopolítica. Específicamente el numeral 2.3 de este Libro Verde, expresa lo siguiente: [15]

- ✓ *La decisión de depender principal o totalmente del gas natural para la generación de electricidad en cualquier Estado miembro tiene efectos considerables en cuanto a la seguridad de abastecimiento de los países vecinos en caso de escasez de gas.*
- ✓ *Las decisiones en materia de energía nuclear adoptadas por los Estados miembros también pueden tener importantes consecuencias para otros Estados miembros en lo que respecta a la dependencia de la UE respecto de los combustibles fósiles importados y las emisiones de CO₂.*

Asimismo, el numeral 2.6 del mencionado Libro Verde, contempla una estrategia para una política exterior coherente que abarca los siguientes principios: [15]

- ✓ *Una política clara para garantizar y diversificar las fuentes de suministro de energía.*
- ✓ *Asociaciones energéticas con los productores, los países de tránsito y otros actores internacionales.*
 - Diálogo con los grandes productores y proveedores de energía (Concretamente Rusia, Noruega, los países de la cuenca del mar Caspio, los países Mediterráneos, la OPEP y el Consejo de Cooperación del Golfo)
 - Desarrollar una comunidad paneuropea de la energía

- ✓ *Reaccionar con eficacia ante las crisis*
- ✓ *Integrar la energía en otras políticas exteriores*
- ✓ *Fomentar el desarrollo a través de la energía*

Lamentablemente los resultados de esta iniciativa aún no son evidentes, lo cual quedó demostrado durante la crisis de suministro de gas ruso en el año 2008.

L. SEGURIDAD FÍSICA DE LAS INFRAESTRUCTURAS

Después de los atentados terroristas del 11 de septiembre de 2001, Estados Unidos ha dedicado mucho más interés a la seguridad nacional, incluyendo la protección de sus activos esenciales. Recientemente se ha presentado, en 2009, el Plan de Protección de Infraestructuras Nacionales (NIPP), con el objetivo de “construir una América más segura y preparada para prevenir, neutralizar o mitigar los efectos de acciones terroristas que destruyan o inhabiliten elementos de las infraestructuras críticas o recursos esenciales, y mejorar la preparación, la respuesta rápida y la recuperación de dichas infraestructuras y recursos en caso de un ataque deliberado, un desastre natural u otras emergencias” [68]

El Plan NIPP involucra a todos los Departamentos, Agencias y Oficinas Federales y también al sector privado. La aportación más importante de este plan es su metodología de análisis y gestión de riesgos, que define los procesos para relacionar consecuencias, vulnerabilidad e información sobre amenazas para producir valoraciones de los riesgos de los distintos sectores e infraestructuras. Además, el plan interrelaciona los riesgos de los sectores entre sí, aspecto crítico en la evaluación de amenazas a la seguridad de las infraestructuras energéticas que, como se ha identificado en este artículo, se encuentran estrechamente vinculadas entre sí (por ejemplo, la dependencia entre los sistemas de electricidad y gas).

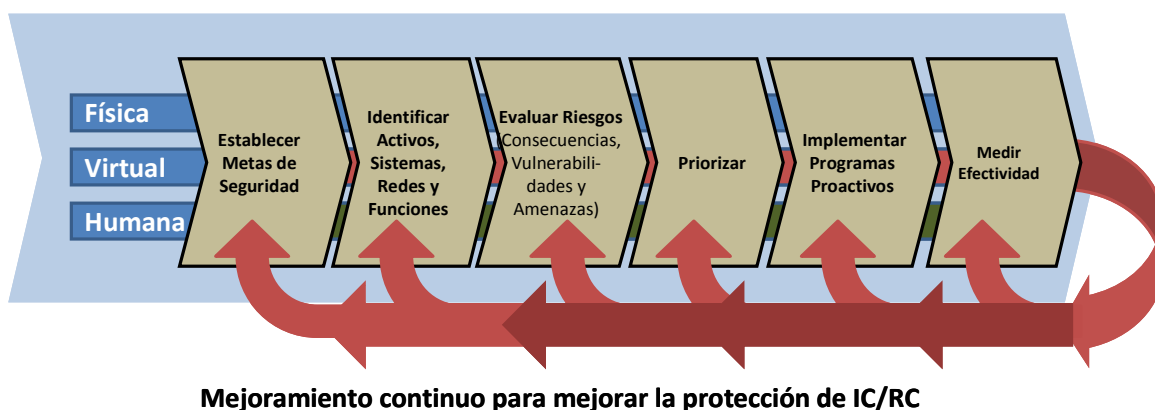


Figura 41: Metodología de análisis y gestión de riesgos del plan de protección de infraestructuras críticas de EEUU. [68]

Una explicación más extensa y detallada del NIPP puede encontrarse en el ANEXO 10: PLANES DE PROTECCIÓN DE INFRAESTRUCTURAS de este documento.

En Europa también se han desarrollado iniciativas, aunque de menor alcance, y así, al Libro Verde sobre un programa europeo para la protección de infraestructuras críticas de la Comisión Europea de 2005, [14] le ha seguido la reciente aprobación el 8 de diciembre de 2008 de la Directiva 2008/114/CE sobre la identificación y designación de infraestructuras críticas europeas y la evaluación de la necesidad de mejorar su protección. [21]

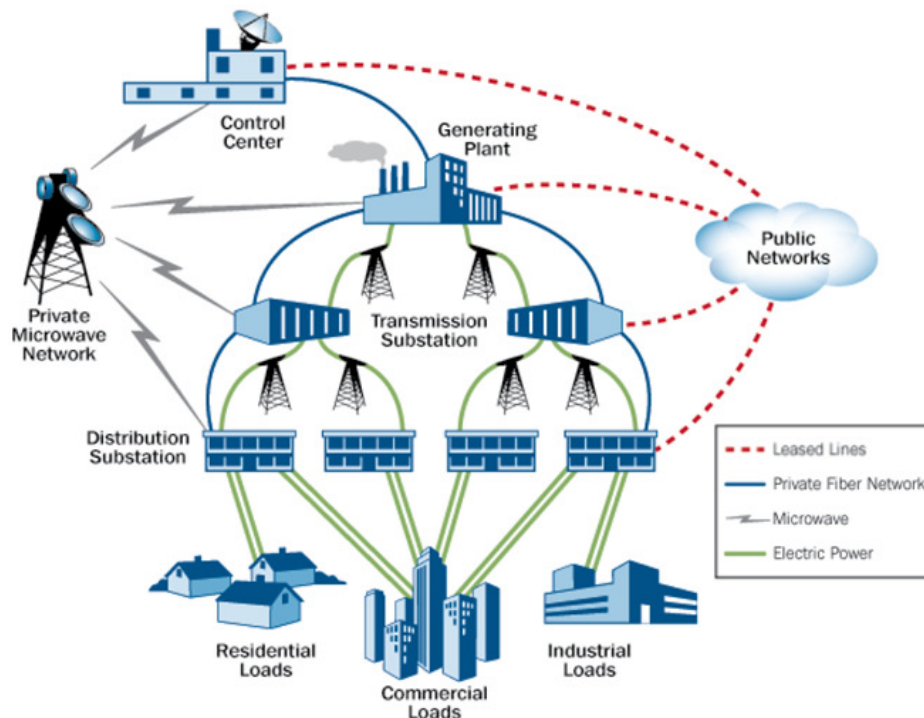
Aunque la responsabilidad de proteger las infraestructuras energéticas corresponde a los Estados miembros y a los propietarios u operadores de las infraestructuras, la Directiva 2008/114 constituye un primer paso en el proceso de identificación y designación de

infraestructuras críticas. La Directiva reconoce que existe en la Comunidad una serie de infraestructuras críticas cuya perturbación o destrucción tendría repercusiones transfronterizas importantes, posiblemente con consecuencias transfronterizas intersectoriales derivadas de la interdependencia entre infraestructuras interconectadas, y que estas infraestructuras deben identificarse y designarse por un procedimiento común. [21]

La Directiva se concentra en los sectores de la energía y de los transportes, según se puede apreciar en la Tabla 14, donde se aprecia el listado de sectores con Infraestructura Crítica Energética.

Tabla 14: Anexo I de la Directiva 2008/114/CE sobre protección de infraestructuras críticas.

Sector	Subsector	
I. Energía	1. Electricidad	Infraestructuras e instalaciones de generación y transporte de electricidad, en relación con el suministro de electricidad.
	2. Petróleo	Producción de petróleo, refino, tratamiento, almacenamiento y distribución por oleoductos.
	3. Gas	Producción de gas, refino, tratamiento, almacenamiento y distribución por gasoductos. Terminales de Gas Natural Licuado.
II. Transportes	4. Transporte por carretera	
	5. Transporte por ferrocarril	
	6. Transporte Aéreo	
	7. Transporte por Vías navegables interiores	
	8. Transporte Marítimo (Costero y de altura) y puertos	



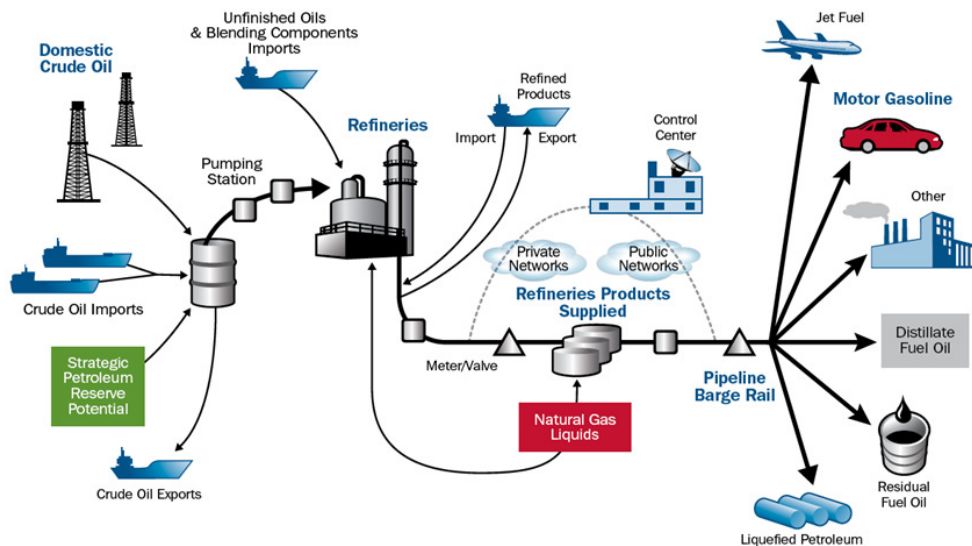


Figura 42: Esquema de un sistema de infraestructura crítica, incluyendo sistema eléctrico y de telecomunicaciones y sistema petrolero

M. EMISIONES CONTAMINANTES, IMPACTO AMBIENTAL Y CAMBIO CLIMÁTICO

Es posible deducir que los grandes emisores de gases de efecto invernadero, son aquellas economías que mayores consumos energéticos tienen. Esto se puede apreciar en la Figura 43.



Figura 43: Países emisores de Gases de Invernadero. Fuente: [59]

Los trabajos, investigaciones y conclusiones del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC) de los últimos diez años no dejan lugar a dudas: el ritmo de emisiones contaminantes a la atmósfera no es sostenible para el planeta. Esta evidencia, asumida ya por todas las autoridades nacionales e internacionales, representa una de las principales amenazas al desarrollo económico futuro, y afecta especialmente a los sectores energético y del transporte, causantes de la mayor parte de las emisiones.

Es evidente la contribución del sector energético en la emisión de gases de efecto invernadero. Más de la mitad de las emisiones de CO2 están relacionadas con el sector de la energía, según se puede apreciar en la Figura 44.

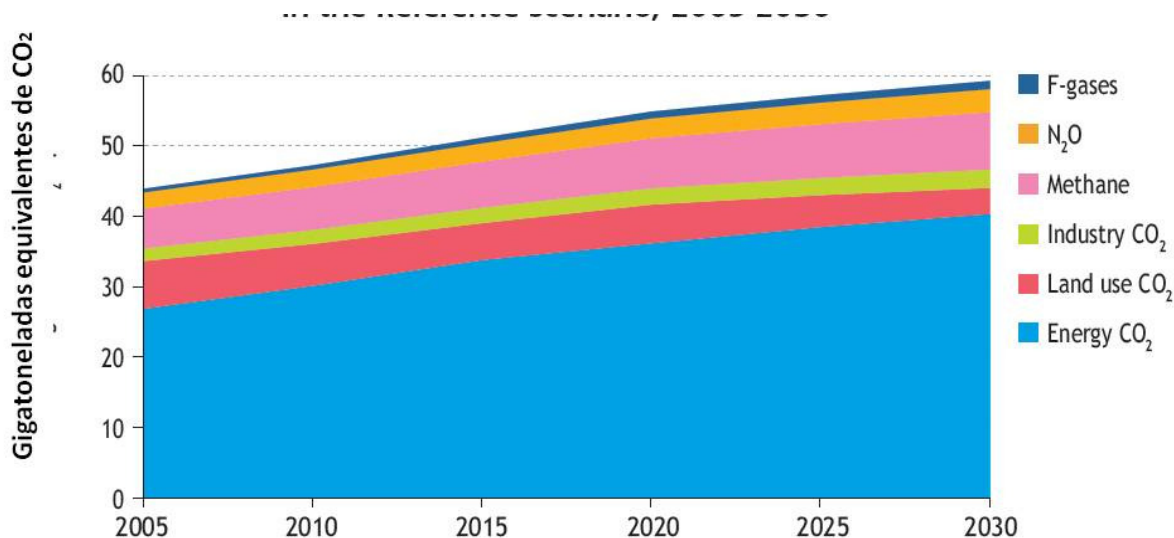


Figura 44: Fuentes de emisión de Gases de Invernadero. Fuente: IEA [42]

Como reconoce el Informe de Naciones Unidas elaborado por el Grupo de alto nivel sobre las amenazas, los desafíos y el cambio en 2004, “para abordar los problemas del cambio climático, las economías modernas deben reducir su dependencia de los hidrocarburos y esforzarse para elaborar estrategias de desarrollo inocuas para el clima. Los Estados deben prestar especial atención a la explotación de fuentes de energía de bajo contenido en carbono, como el gas natural, la energía renovable y la energía nuclear” [93]

Una de las iniciativas que ya se ha adoptado en Europa es la asignación de límites y coste a los derechos de emisión de CO₂, que ha permitido, por ejemplo, internalizar el coste de las emisiones de CO₂ en el precio del kilovatio-hora generado por las centrales eléctricas. Sin embargo, la aplicación de este sobrecoste conduce también al aumento del precio final del suministro eléctrico y a la pérdida de competitividad de los sectores industriales, por lo que sólo la internacionalización del sistema de derechos y comercio de emisiones garantiza su futuro. [95]

En línea con las iniciativas del IPCC, y la adopción del SET-Plan 20-20-20, la IEA proyecta escenarios en los cuales la existencia de CO₂ en la atmósfera no supere las 450ppm. Para lograr dicho objetivo, se plantea el impulso de tecnologías de generación eléctrica, a partir de fuentes renovables, captura y almacenamiento de CO₂, energía nuclear y programas de sostenibilidad y eficiencia energética. Estos planes son caros y demoran mucho tiempo para implementarse, lo cual significa un enorme reto desde el punto de vista de la seguridad energética.

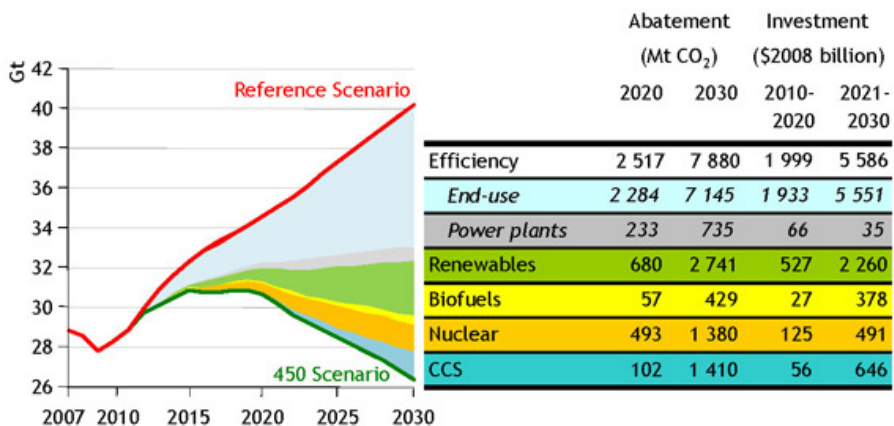


Figura 45: Escenario de 450ppm de CO₂. Fuente: IEA [42]

La eficiencia energética, representará 2/3 partes de la amortización de CO₂ en la

atmósfera. La generación con energías renovables representarán 1/5 de dicha meta, en disminuir en un 20% la emisión de CO₂, para el año 2020.

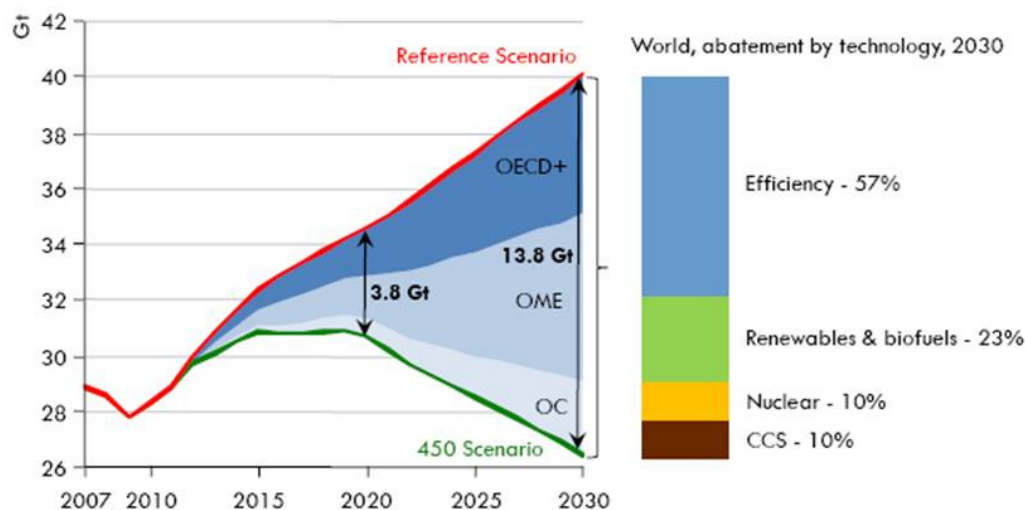


Figura 46: Escenario de 450ppm de CO₂. Metas a cumplir. Fuente: IEA [42]

El cumplimiento de esta meta, representa en el sector de la energía, una inversión de U\$10.5 billones de dólares (Miles de millones), para evitar el colapso del cambio climático. Para el 2020, esto representará 3,8 Gton de CO₂ en la atmósfera y para el 2030 se deben dejar de emitir 13,8 Gton de CO₂, a nivel global.

N. CONFLICTOS ARMADOS POR LA EXPLOTACIÓN DE RECURSOS ENERGÉTICOS

Al combinarse los efectos del cambio climático global y la escasez de recursos naturales se incrementa la posibilidad de conflictos violentos por tierras, agua y energía.

Actualmente se mantienen conflictos abiertos o tensiones políticas, relacionados directa o indirectamente con recursos energéticos, en Darfur (Sudán), Irak, Irán, Afganistán, Georgia, Angola, Congo, etc.

Todas las potencias políticas y militares desarrollan sus estrategias en relación con objetivos de aseguramiento futuro del suministro energético. Como muestra, en el entorno de la región euroasiática, rica en recursos energéticos, EEUU tiene 12 bases militares, Rusia intenta instalar una base en Tayikistán, y China considera ubicar una en Uzbekistán.

Otro ejemplo: EEUU está apoyando su interés geoestratégico en zonas petroleras del Golfo de Guinea con fuerzas militares (el pasado mes de octubre de 2008 se activó el nuevo comando militar USAFRICOM, con especial actividad en esta parte de África).

Por otro lado, las potencias emergentes como China e India han comenzado a realizar inversiones petrolíferas en Estados al margen de la comunidad internacional como Sudán, Libia y Angola, y prospecciones en Níger, Mauritania y Mali.

La correlación entre los conflictos y la evolución de los precios del petróleo es evidente. Probablemente los acontecimientos de la era contemporánea de la humanidad, están reflejados en los datos históricos de precios del llamado "oro negro".

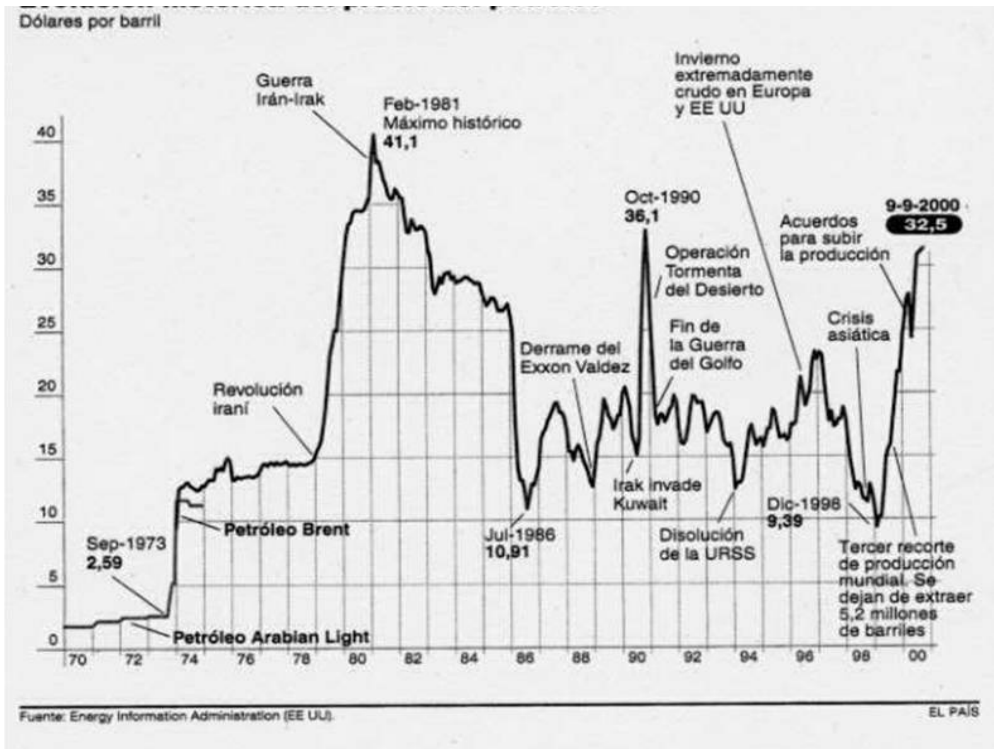


Figura 47: Evolución histórica de los precios del petróleo

O. CATÁSTROFES NATURALES

Lluvias torrenciales, tormentas tropicales y otras catástrofes naturales pueden provocar importantes daños materiales en las infraestructuras energéticas del país, comprometiendo así la seguridad del suministro energético.

Existen procedimientos nacionales e internacionales para responder ante este tipo de catástrofes. Por ejemplo, el mecanismo de solidaridad y reserva de petróleo, gestionado por la Agencia Internacional de la Energía, funcionó eficazmente tras la devastación causada en el Golfo de Méjico por los huracanes Katrina y Rita en el verano de 2005. [67]

Otros fenómenos naturales, como las olas de frío y de calor, aunque no provoquen desperfectos en las instalaciones, pueden aumentar significativamente el consumo energético y desestabilizar los sistemas, provocando incluso el colapso parcial o total del suministro (como por ejemplo las interrupciones de larga duración del suministro eléctrico sucedidas en España en 2001 con motivo de olas de frío invernales o los graves problemas de falta de abastecimiento eléctrico en California), como se puede apreciar en la siguiente figura.

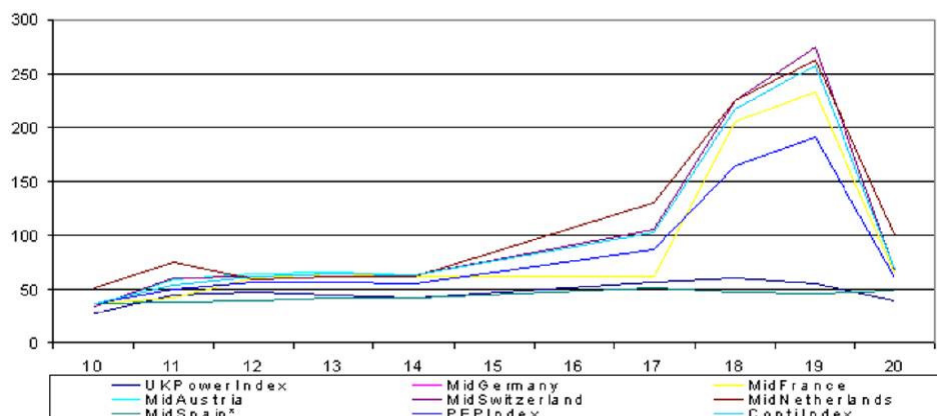


Figura 48: Precio de casación en mercados europeos. €/MWh – (20/12/2001)

P. RIESGOS DE LA GENERACIÓN ELÉCTRICA NUCLEAR

La generación eléctrica nuclear contribuye a la seguridad de suministro y reduce las emisiones de gases de efecto invernadero, pero es una tecnología con un alto índice de riesgo, en la operativa de las centrales y en el posterior tratamiento y almacenamiento de los residuos nucleares. España dispone actualmente de 7 centrales nucleares en operación, que aportan el 20% de la demanda eléctrica anual [62]. En el continente europeo, la generación de electricidad con combustible nuclear es de amplia difusión, como se puede apreciar en la Figura 49, siendo Francia y Alemania los países con mayor generación nuclear (Aprox. 90GW de capacidad instalada).

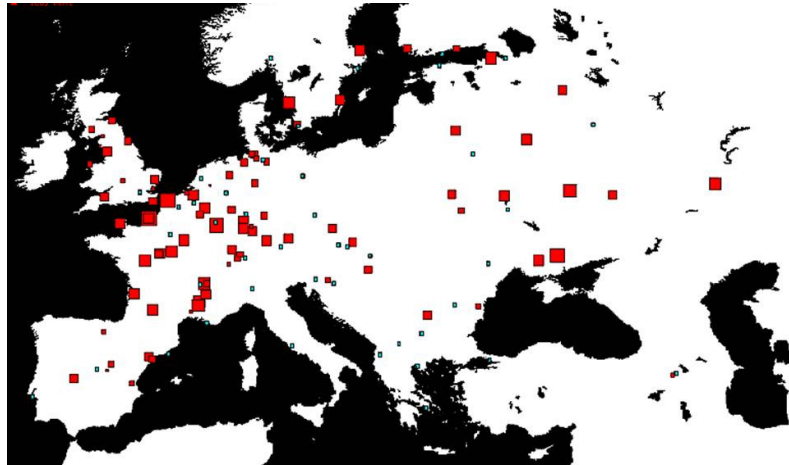


Figura 49: Situación geográfica de las centrales nucleares europeas

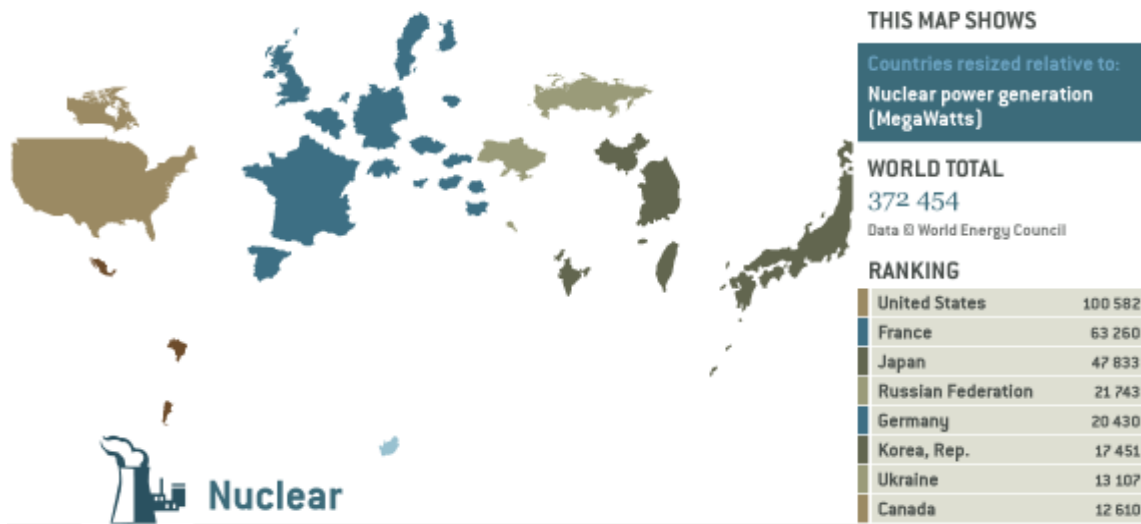


Figura 50: Capacidad instalada mundial, con energía nuclear. Fuente: [59]

Se producen unos 50 incidentes anuales en centrales nucleares españolas, la mayoría leves, siendo el último reseñable el producido el 4 de Abril de 2008 en la central de Ascó, en la que se detectaron partículas radiactivas fuera de la planta. El Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) verificó que los niveles a los que se vieron sometidos medio ambiente, trabajadores y cualquiera que pudiera hallarse en el entorno de la central, estuvieron muy por debajo de los límites legales establecidos. Aún así es evidente la trascendencia mediática y el revuelo social que producen este tipo de incidentes y como afectan éstos a la impopularidad que esta energía tiene en España [11]. Los graves accidentes nucleares en otras latitudes han contribuido, sin duda, a esta mala imagen, y muchos países desarrollados, a pesar de la ventaja de su independencia energética, continúan

manteniendo sus planes de moratoria nuclear. Otros, por el contrario, como Francia o Estados Unidos, mantienen su apuesta por esta fuente de energía.

El otro argumento que penaliza la seguridad es la gestión de los residuos radioactivos, que se mantienen activos durante miles de años. Actualmente la Empresa Nacional de Residuos Radiactivos (ENRESA) tiene un almacén de residuos de baja y media actividad en El Cabril (Córdoba). En junio de 2006, el Gobierno español aprobó la construcción de un almacén temporal centralizado (ATC) en un emplazamiento aún por determinar, para albergar durante un período de 60 años, las 6.700 toneladas de elementos combustibles consumidos por las diez centrales nucleares españolas durante toda su vida de operación. [75]

En resumen, la generación eléctrica nuclear presenta las ventajas del bajo coste de producción de electricidad, la nula contribución a las emisiones de gases de efecto invernadero, y la independencia energética. Sin embargo, presenta como inconvenientes más importantes el elevado coste de inversión necesario (más de 3.000 M€ en las centrales nucleares de tercera generación), los residuos radiactivos latentes durante miles de años, la seguridad de las centrales y el riesgo de proliferación nuclear. [95]

Q. INCOMPRENSIÓN Y OPOSICIÓN DE LA POBLACIÓN FRENTE A LA IMPLANTACIÓN DE NUEVAS INFRAESTRUCTURAS Y TECNOLOGÍAS NECESARIAS PARA ASEGURAR EL SUMINISTRO ENERGÉTICO

Especialmente en el desarrollo de las redes eléctricas, por su visibilidad y notoriedad, se producen dificultades derivadas de la oposición social y de las organizaciones ecologistas hacia las nuevas infraestructuras, que pueden retrasar significativamente el tiempo de ejecución de los proyectos planificados, comprometiendo al mismo tiempo la cobertura de la demanda futura.

El posicionamiento de la sociedad frente a la alternativa nuclear depende del nivel de información que la población tenga sobre los verdaderos riesgos y ventajas de la tecnología nuclear, como así lo demuestra la encuesta Eurobarómetro 2005. Por ejemplo, los países nórdicos, donde existe mucha información pública sobre el uso de la energía nuclear para generación eléctrica y la gestión de los residuos, son más favorables a su utilización, mientras que en los países mediterráneos, con poca transparencia administrativa e informativa, la opinión pública de los ciudadanos es contraria mayoritariamente a recurrir a esta alternativa energética.

12. ANEXO 3: SISTEMAS DE APOYO A LA TOMA DE DECISIONES

La toma de decisiones resulta un proceso habitual en la vida cotidiana del ser humano. En multitud de ocasiones los individuos se encuentran ante diferentes alternativas entre las que deben seleccionar la que, a su juicio, parece la mejor o la que satisface el mayor número de necesidades. Los ejecutivos de las empresas y organizaciones, los responsables políticos, los directores de proyectos y, en general, los profesionales han de adoptar durante el transcurso de sus actividades decisiones difíciles que se caracterizan, por observar intereses contrapuestos, poseer elementos de incertidumbre, involucrar a distintas personas en la decisión y considerar elementos tanto fácilmente como difícilmente valorables.

A. BREVE DESCRIPCIÓN DE LA TOMA DE DECISIONES

El proceso de toma de decisiones se apoya normalmente en los conocimientos y la experiencia del decisor, o en la semejanza a decisiones anteriormente tomadas que llevaron a buenos resultados, y raras veces se basa en una metodología sistemática o herramienta de apoyo a la resolución de tal disyuntiva. En este sentido, el *Análisis de Decisiones Multicriterio* (*Multiple Criteria Decision Analysis*, MCDA) se presenta como una herramienta valiosa para asistir al decisor durante el proceso de toma de decisiones multicriterio.

La suposición en esta herramienta consiste en un parlamento conocido presente “**Aquí y Ahora**” (Restricciones), una esperanza de futura “**Allá y Entonces**” (Objetivos) y varias rutas (Alternativas) para ir de un presente “Aquí y Ahora” a un futuro “Allá y Entonces”. El problema es entonces cuál ruta elegir (Alternativa) que de manera óptima soporte las presentes restricciones y los futuros objetivos, como se presenta en la Figura 51. El conjunto de alternativas puede ser continuo (no numerable) o discreto (numerable).

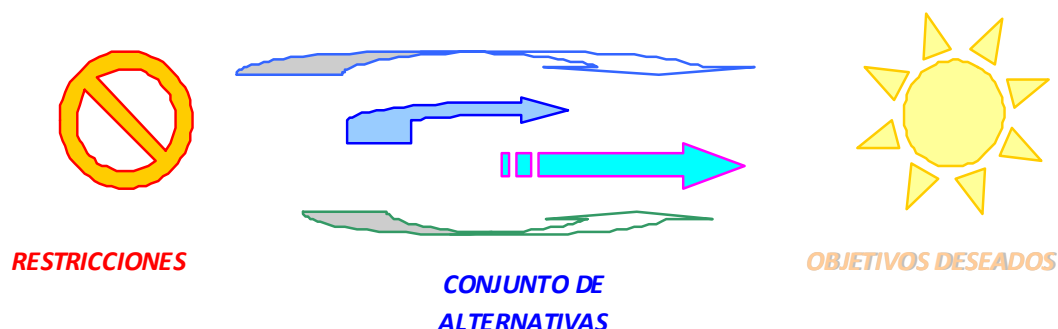


Figura 51: Esquema del proceso de toma de decisiones

La realización de un juicio, cuando se confronta con varias alternativas, las cuales usualmente aparentan ser igualmente buenas o deseables, puede ser un proceso que tome mucho tiempo. La determinación de los criterios de decisión resulta un paso esencial del proceso de toma de decisiones, aunque son difíciles de establecer en la mayoría de problemas de decisión multicriterio.

- **Consideración de Alternativas:** En un escenario de decisión, las alternativas consisten en la elección de la mejor ruta para desplazarse desde un punto “Aquí y Ahora”, hacia unas condiciones futuras deseadas. Las rutas consideradas como opciones para desplazarse de un punto “Aquí y Ahora”, son denominadas “Alternativas”.

Las alternativas tienen que ver con algunas transacciones de tipo logístico o las relaciones que son consideradas como una evaluación realística de las posibles rutas conceptuales.

Una alternativa también puede ser considerada entonces la ruta posible que puede tenerse en cuenta para ir de las restricciones del decisor, a los objetivos o metas.

- **Consideración de Restricciones:** En un proceso de toma de decisiones, se busca elegir las alternativas para el cumplimiento de unas perspectivas futuras, entonces se afirma que las condiciones presentes son consideradas como Restricciones al problema de decisión.

Una restricción se concibe como el punto de partida en el presente, a partir del cual se elegirá una alternativa de decisión para llegar de manera óptima y eficiente a los objetivos o metas en un futuro.

Dependiendo de la naturaleza del problema de decisión, las restricciones pueden ser obviadas en algunas ocasiones.

- **Consideración de Objetivos/Metas:** En el proceso de toma de decisiones, se busca elegir las alternativas para el cumplimiento de unas perspectivas futuras, entonces se afirma que las condiciones futuras, a las cuales se pretende llegar son consideradas como Objetivos del problema de decisión.

Una meta u objetivo se concibe como el punto de llegada en el futuro, sobre los cuales se conciben las alternativas de decisión.

En todo problema de decisión, los objetivos o metas deben ser obligatoriamente indicados.

El objetivo del MCDA es, por lo tanto, que el decisor disponga, durante todo el proceso de toma de decisiones, de la máxima información posible de forma organizada, para que sienta que controla el proceso y que todos los aspectos y factores influyentes en la decisión han sido considerados e incluidos, de modo que aprenda sobre el propio problema de decisión y sea capaz de determinar sus preferencias mediante una metodología que le aporte información y transparencia y que le ayude a racionalizar la complejidad. Los métodos propuestos desde el MCDA no pretenden sustituir al decisor en el proceso de toma de decisiones ni eliminar la subjetividad inherente a dicho proceso, sino ayudar al decisor a pensar de manera sistemática y ordenada sobre problemas complejos para mejorar la calidad de las decisiones finales. Además, estos métodos permiten la participación en el proceso de decisión de expertos que asesoren al decisor y de personas que estén interesadas en la decisión que se vaya a adoptar, de modo que todas las partes o agentes afectados por el proceso de toma de decisiones participen en el mismo para buscar un consenso.

B. METODOLOGÍAS PARA LA TOMA DE DECISIONES

Las técnicas de decisión multicriterio son un grupo de herramientas que abordan la resolución de problemas de decisión complejos de una forma más realista que los enfoques tradicionales, permitiendo la incorporación de diferentes criterios y visiones de la realidad.

Las técnicas de decisión multicriterio presentan diferencias tanto en las características de los modelos desarrollados como en las características del proceso de desarrollo de dichos modelos. En SMITH-PEREIRA [82] se presenta la clasificación de las técnicas de decisión multicriterio en cuatro grandes corrientes metodológicas:

1. Programación matemática multiobjetivo (*Multiobjective mathematical programming*)
2. Teoría de la utilidad multiatributo (*Multiple attribute utility theory*)
3. Teoría de las relaciones de sobreclasificación (*Outranking relation theory*)
4. Análisis de disgregación de preferencias (*Preference disaggregation analysis*)

La Figura 52 muestra la forma en que estas cuatro principales corrientes metodológicas multicriterio contribuyen al análisis de los problemas de toma de decisiones, tanto continuos como discretos. Las líneas continuas indican una contribución directa y las líneas discontinuas indican una contribución indirecta.

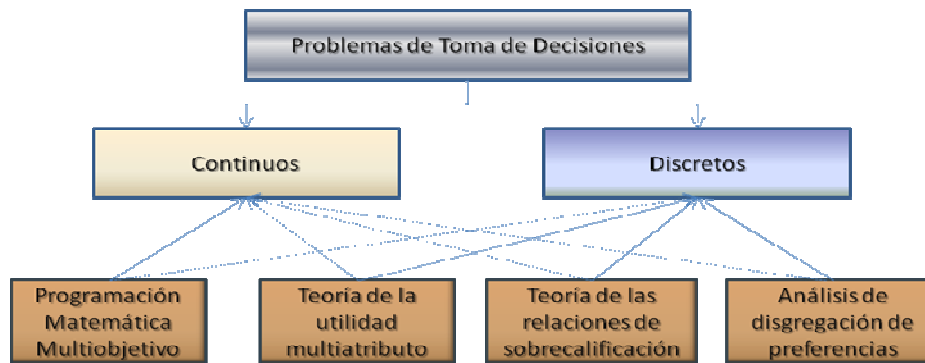


Figura 52: Contribución de las corrientes metodológicas multicriterio a la resolución de problemas de toma de decisiones continuos y discretos. Fuente: [82]

Además de las cuatro grandes corrientes metodológicas multicriterio anteriores que persiguen la evaluación de un conjunto numerable o no de alternativas, existe un conjunto de métodos cuyo objetivo es básicamente la ponderación de variables o asignación de pesos. Estos métodos se pueden aplicar tanto a problemas de decisión continuos como discretos y normalmente se emplean en combinación con otras herramientas de decisión, en determinadas etapas de su metodología. Los métodos de ponderación de variables se pueden clasificar en métodos de asignación directa y métodos de asignación indirecta.

La Tabla 15 recoge los métodos de ponderación de variables y las técnicas de decisión multicriterio que se describirán a lo largo de los siguientes apartados.

Tabla 15: Metodologías en la decisión multicriterio. Fuente: [81]

I. MÉTODOS DE PONDERACIÓN DE VARIABLES	
1. <i>Métodos de asignación directa</i>	
✓ Ordenación Simple	
✓ Tasación simple	
✓ Asignación por ratios	
✓ Comparaciones sucesivas	
2. <i>Métodos de Asignación indirecta</i>	
✓ Método de la entropía	
✓ Método CRITIC	
✓ Matriz de dominación	
✓ Principio de composición jerárquica	
✓ Otros métodos	
II. TÉCNICAS DE DECISIÓN MULTICRITERIO	
3. <i>Programación matemática multiobjetivo</i>	
✓ Método de las restricciones	
✓ Método de las ponderaciones	
✓ Programación por compromiso	
✓ Programación por metas	
4. <i>Teoría de la utilidad multiatributo</i>	
✓ Suma ponderada	
✓ Producto ponderado	
✓ Métodos PRES y PRES II multiobjetivo	
✓ Lógica difusa o <i>Fuzzy Logic</i>	
✓ Proceso Analítico Jerárquico (AHP)	
✓ Proceso Analítico en Red (ANP)	
5. <i>Teoría de las relaciones de sobrealficación</i>	
✓ Métodos ELECTRE	
✓ Métodos PROMETHEE	
6. <i>Análisis de disgregación de preferencias</i>	

En el ANEXO 4: MÉTODOS DE PONDERACIÓN DE VARIABLES de este trabajo, se realiza una revisión del estado del arte del análisis multicriterio y de las técnicas de ayuda a la decisión, y sus aplicaciones en distintos ámbitos para la priorización de decisiones, de manera que permita la comparación entre análisis multicriterio y otras técnicas de ayuda a la decisión, para su aplicación en un caso de estudio de identificación y evaluación de amenazas a los sistemas de suministro energético de un país.

En conclusión, las técnicas de decisión multicriterio son un grupo de herramientas que abordan la resolución de problemas de decisión complejos de una forma más realista que los enfoques tradicionales, permitiendo la incorporación de diferentes criterios y visiones de la realidad. Atendiendo a la clasificación de la Tabla 15, las técnicas de decisión multicriterio se pueden agrupar en cuatro grandes corrientes metodológicas: programación matemática multiobjetivo, teoría de la utilidad multiatributo, teoría de las relaciones de sobreclasificación y análisis de disgregación de preferencias. La primera de las corrientes se utiliza habitualmente para resolver problemas de decisión continuos mientras que el resto de corrientes se aplican principalmente en problemas de decisión discretos, aunque todas las corrientes pueden contribuir directa o indirectamente al análisis de los problemas de toma de decisiones continuos y discretos.

Es posible consultar el ANEXO 4: MÉTODOS DE PONDERACIÓN DE VARIABLES y el ANEXO 5: TÉCNICAS DE DECISIÓN MULTICRITERIO, en los cuales se describen las técnicas de decisión multicriterio más conocidas. En el caso de las técnicas de decisión continuas, se hará una breve referencia y se le dedicará mayor importancia al caso discreto, el cual corresponde a la tipología de decisión para el presente trabajo.

En el mercado están disponibles unas aplicaciones de software que permiten orientar y asistir a un decisor en la elección y en la implementación de sus dictámenes.

Entre las variedades de utilidades examinadas para concebir el sistema de soporte a la decisión, existentes en el medio, se encuentran:

Expert Choice (Disponible en <http://www.expertchoice.com>): Enfatiza en metodología AHP

WINPRE (Disponible en <http://www.hut.fi/Units/SAL/Downloadables/winpre.html>)

Estimation & Choice (Disponible en <http://decisionsupporter.com/home.html>)

PRIME DECISIONS (Disponible en <http://www.hut.fi>)

Fuzzy Judgement Maker (Disponible en <http://www.fuzzysys.com/fdmprod.html>)

DECISIÓN LAB 2000 (Disponible en <http://www.visualdecision.com>)

SSD-CIABSI V.2.1 (Disponible en <http://www.visualdecision.com>)

ELECTRE III-IV (Disponible en <http://www-idss.cs.put.poznan.pl/software/other/electre.html>)

Sistema de Análisis Multiobjetivo (SIAM 1.0.) (Disponible en <http://www.4shared.com/file/164922955/4b468a1/SIAM.html>): Software gratuito que abarca todas las metodologías antes descritas, excepto AHP.

C. SIMULACIÓN EN AMBIENTES CONTINUOS PARA LA TOMA DE DECISIONES

La Dinámica de sistemas es un enfoque para entender el comportamiento de sistemas complejos a través del tiempo. Trata de ciclos de realimentación interna y retrasos en los tiempos que afecta el comportamiento del sistema total, en línea con la teoría de Peter Senge, relacionada con la 5ª disciplina (Sistemas Complejos Realimentados).

Lo que hace diferente al enfoque de dinámica de sistemas de otros enfoques para estudiar sistemas complejos, es el uso de ciclos de realimentación y existencias y flujos. En el

ANEXO 6: LA DINÁMICA DE SISTEMAS COMO TÉCNICA DE SIMULACIÓN EN AMBIENTES CONTINUOS, se puede identificar la naturaleza de esta técnica de entendimiento del mundo, a través de la simulación.

Dentro de las herramientas informáticas disponibles para la simulación de ambientes complejos, existe el siguiente software, que puede ser consultado directamente en internet.

Vensim (en Español), *AnyLogic*, *Powersim Studio* (El más reconocido), *CONSIDEO*, *iThink*, *MapSys*, *Simile*, *Evolución* (en Español), *Sphinx*.

La disponibilidad de un software poderoso como es el *Powersim*, ha hecho que la técnica de simulación sea una de las herramientas más ampliamente usadas en el análisis de sistemas.

A través del estudio de simulación, se puede estudiar el efecto de cambios internos y externos de un sistema, al hacer alteraciones en el modelo del sistema y observando los efectos de esas alteraciones en el comportamiento del sistema.

- ✓ Una observación detallada del sistema en simulación, puede conducir a un mejor entendimiento del sistema y por consiguiente a sugerir estrategias que mejoren la operación y eficiencia del sistema.
- ✓ La simulación del sistema complejo puede ayudar a entender mejor la operación del sistema, a detectar las variables más importantes que interactúan en el sistema y a entender mejor las interrelaciones entre estas variables.
- ✓ La técnica de simulación puede ser utilizada para experimentar con nuevas situaciones, sobre las cuales tiene poca o ninguna información. A través de esta experimentación se puede anticipar mejor a posibles resultados no previstos.
- ✓ El tiempo puede ser comprimido en los modelos de simulación. El equivalente de días, semanas y meses de un sistema real en operación frecuente pueden ser simulados en solo segundos, minutos u horas en una computadora. Esto significa que un largo número de alternativas de solución pueden ser simuladas y los resultados pueden estar disponibles de forma breve y pueden ser suficientes para influir en la elección de un diseño para un sistema. Se puede observar por ejemplo, el retardo que tiene construir una central hidroeléctrica que tarda casi 10 años en implementarla.

A diferencia de las ventajas mencionadas, la técnica de simulación presenta importantes desventajas, éstas son:

- *Dificultad para producir resultados exactos.* Si supone que el sistema ésta compuesto de uno o mas elementos que están sujetos a un comportamiento al azar. Cuando una simulación es desarrollada con un modelo del sistema, los valores de cada variable son registrados y los promedios de estos valores son dados en una postsimulación. Pero el promedio en una muestra de observación solo a veces provee un estimado de lo esperado, es decir, una simulación solo provee estimados, no resultados exactos.
- *Soluciones no óptimas.* La simulación es usada para contestar preguntas del tipo “Qué pasa si?”, “pero no de”, “¿que es lo mejor?”. En este sentido, la simulación no es una técnica de optimización. La simulación no generará soluciones, solo evalúa esas que han sido propuestas.
- *Largo tiempo de desarrollo.* Un estudio de simulación no puede ser desarrollado en solo un fin de semana. Pueden ser necesarios meses de esfuerzo para reunir información, construir, verificar y validar modelos, diseñar experimentos y evaluar e interpretar los resultados.

En conclusión la simulación mediante Dinámica de Sistemas, ofrece poderosas ventajas pero sufre también desventajas. Afortunadamente muchas de estas desventajas disminuyen en importancia en el tiempo, gracias a las herramientas que emplean simulación, como el *PowerSim*.

13. ANEXO 4: MÉTODOS DE PONDERACIÓN DE VARIABLES

Los métodos de ponderación de variables tienen como objetivo la asignación de pesos a los criterios para representar la importancia relativa que el decisor otorga a cada criterio. La ponderación de los criterios resulta de vital importancia en cualquier problema de decisión multicriterio, como paso fundamental de la mayoría de metodologías de ayuda a la decisión multicriterio. Atendiendo a la forma de asignar a cada criterio un valor numérico que represente la preferencia del decisor, se pueden distinguir dos estrategias: métodos de asignación directa y métodos de asignación indirecta.

A. Métodos de asignación directa

Los métodos de asignación directa de pesos se basan en la construcción de una escala definida que correlaciona la valoración cualitativa del decisor con valores numéricos de importancia relativa [75]. Esta asignación de valores se conoce como “Función de Utilidad del Decisor”.

Atendiendo a la manera de construir dicha función, se pueden distinguir los siguientes métodos de asignación directa de pesos: ordenación simple, tasación simple, asignación por ratios y comparaciones sucesivas, de los cuales se realizará una breve explicación.

La utilización de estos métodos se recomienda en problemas complejos cuando el número de criterios es elevado y además el decisor no es técnico experto en procesos de toma de decisiones y no puede dedicar un tiempo excesivo a la tarea de asesoramiento.

1. Método de ordenación simple

El método de ordenación simple es el método de ponderación más sencillo, ya que lo único que se pide al decisor es que ordene n criterios de mayor a menor importancia, de forma que después se da el mayor valor (n) al primero y el menor valor (1) al último.

En el supuesto de que dos criterios se definan como de la misma importancia, a cada uno de ellos se le adjudica el promedio de ambas valoraciones. Puntuados los criterios, se normalizan por la suma y el resultado es la ponderación final. Por la sencillez del método, éste puede ser aplicado en situaciones de poca información sobre las variables. Como inconveniente, esta técnica concentra los pesos (w_j) de los n criterios entre un valor mínimo y un valor máximo:

$$\frac{2}{n \cdot (n + 1)} \leq w_j \leq \frac{2}{(n + 1)}$$

Este método, constituye el primero de los adoptados en las metodologías duras de investigación de operaciones para toma de decisiones con múltiples objetivos.

2. Método de Tasación Simple

El método de tasación simple utiliza una escala predefinida para valorar cada criterio y después normaliza los valores numéricos asignados a los criterios por su suma para obtener la ponderación final [49]. Dicha escala indica la correspondencia entre la valoración cualitativa del decisor y su representación numérica, por tanto su definición es el paso previo a la resolución del problema de asignación de pesos. Para evitar sesgos es conveniente que la escala siga una distribución uniforme entre los valores de forma que corresponda a juicios verbales uniformes [81].

3. Método de asignación por ratios

El método de asignación por ratios evalúa la importancia de cada criterio tomando como

referencia al criterio menos importante, es decir, primero se fija la importancia del criterio menos preferido y después se determina la importancia del resto de criterios verbalizando mediante un ratio el número de veces que cada criterio es más importante que el criterio de referencia (por ejemplo, el criterio A es 2.5 veces más importante que el criterio B). Forzando a que la suma de pesos sea la unidad se obtiene la ponderación final. [81]

4. Método de comparaciones sucesivas

El método de comparaciones sucesivas reúne algunas de las características de las técnicas anteriores. La metodología comprende los siguientes pasos: [81]

- i. Ordenación de los criterios
- ii. Tasación de los mismos en una escala cardinal
- iii. Comparación sistemática de cada criterio con sucesivos grupos de los criterios que le siguen en importancia (el 1º con el 2º, con el 2º más el 3º, etc.) hasta que haya un cambio de preferencias
- iv. Contraste de los pesos preasignados a los criterios con las comparaciones del paso anterior
- v. Modificación de los valores incoherentes para que los pesos no contradigan las comparaciones anteriores
- vi. Normalización de los valores para obtener la ponderación final.

B. Métodos de asignación indirecta

Los métodos de asignación indirecta de pesos utilizan técnicas de comparación entre criterios y análisis más exhaustivos que los métodos de asignación directa para derivar los valores numéricos de importancia relativa de los criterios a partir de la evaluación de las alternativas o de expresiones indirectas de las preferencias del decisor. Los principales métodos de asignación indirecta de pesos son: método de la entropía, método CRITIC, matriz de dominación, jerarquía de criterios, método del autovector dominante y métodos extremos.

1. Método de la entropía

El método parte del supuesto de que un criterio tiene mayor peso, y, por tanto, mayor importancia, cuando existe mayor diversidad (mayor entropía) en las evaluaciones de las alternativas respecto a ese criterio. El cálculo del peso de cada criterio se realiza por tanto a partir de los valores que adquieren los distintos criterios que se van a ponderar. Dada la objetividad del método de la entropía, su aplicación resulta útil en situaciones delicadas en las que se presentan conflictos de intereses. [81]

2. Método CRITIC

El método CRITIC (*CR*riteria *I*mportance *T*hrough *I*nter*c*riteria *C*orrelation) fue introducido por DIAKOULAKI, MAVROTAS, PAPAYANNAKIS, en su artículo: “*Determining objective weights in multiple criteria problems: the critic method*” (1995) y también constituye un método objetivo de ponderación de variables, ya que los pesos de los criterios se determinan a partir de la información de la matriz de decisión sin que influyan las preferencias del decisor.

Este método parte del supuesto de que un criterio tiene mayor peso, y por tanto mayor importancia, cuando existe mayor varianza (mayor desviación típica) en las evaluaciones de las alternativas respecto a ese criterio y cuando dicho criterio aporta mayor información diferente que la de los otros criterios (menor coeficiente de correlación de Pearson entre las

evaluaciones de dicho criterio y las del resto de criterios) [49].

El cálculo del peso de cada criterio se realiza por tanto a partir de los valores que adquieren los distintos criterios que se van a ponderar. Dada la objetividad del método CRITIC, su aplicación resulta útil en situaciones delicadas en las que se presentan conflictos de intereses.

3. Matriz de dominación

Este método se explica en [81], como el proceso de asignación de pesos, consistente en construir una matriz criterios-criterios de forma que se compara la importancia del criterio de la fila i -ésima con todos los demás criterios situados en columnas. De este modo se establecen comparaciones binarias entre criterios: si el criterio C_i domina al criterio C_j se asigna el valor 1 a la entrada correspondiente de la matriz de dominación, y, en el caso contrario, se le asigna el valor 0.

La suma de los valores de la fila i -ésima indica el orden del criterio C_i en la ordenación final. En consecuencia, el criterio correspondiente a la suma de filas mayor es el criterio de mayor prioridad.

La escala anterior es ordinal y sobre este tipo de escalas no se pueden realizar operaciones.

Por esta razón, el siguiente paso es asignar un valor numérico a cada criterio en función del orden alcanzado. Una forma simple de hacerlo es considerar la lista ordenada como si los criterios estuvieran colocados en posiciones de importancia relativa sobre una escala, por ejemplo, de 0 a 10 ó de 0 a 100. De esta manera se puede asignar el valor 10 ó 100 al criterio clasificado en el primer lugar de la ordenación y asignar al resto de criterios valores relativos.

La escala de valor correspondiente será la ponderación relativa de los criterios. La utilización del método de asignación de pesos por matriz de dominación se recomienda cuando el número de criterios no es muy elevado (entre 5 y 7) y cuando el decisor dispone de tiempo y de elementos de juicio suficientes para poder realizar las comparaciones entre criterios. [81]

4. Principio de composición jerárquica

Cuando es posible establecer una jerarquía de criterios, una forma de asignar los pesos es proceder paso a paso comenzando por el nivel de mayor complejidad de la jerarquía y descendiendo progresivamente hacia los niveles de menor complejidad. El criterio del nivel superior de la jerarquía tendrá el valor 1, ó el valor 100, y a cada subcriterio de los niveles inferiores de la jerarquía le corresponderán dos pesos: un peso real o local y un peso relativo o global.

El peso real o local de un subcriterio representa una fracción del peso del subcriterio del nivel inmediatamente superior del cual deriva. Por tanto, la suma de los pesos reales de todos los subcriterios en los que se ha descompuesto el subcriterio del nivel inmediatamente superior da como resultado 1, ó 100.

El peso relativo o global de un subcriterio es el resultado de multiplicar el peso real del subcriterio considerado por los pesos reales de los subcriterios inmediatamente superiores de los cuales deriva. Esta forma de obtención de pesos se denomina principio de composición jerárquica. La utilización del principio de composición jerárquica para la asignación de pesos se recomienda cuando existe consenso en la determinación de la jerarquía de criterios.

5. Operadores de Agregación por pesos Ponderados (OWA)

Los métodos de agregación se basan en promedios ponderados ordenados (OWA, según la sigla en inglés de “ordered weighted averages”), los cuales a su vez se fundamentan en cuantificadores difusos. Estos operadores (OWA) fueron propuestos inicialmente por Ronald Yager en 1988, en su artículo “*On Ordered Weighted Averaging Aggregation Operators in Multi-criteria Decisions*” [18]. El mismo Yager ha sugerido algunas modificaciones, como MEOWA, o como los EZ-OWA. Desde su introducción, estos operadores han tenido aplicaciones en muchos campos como las redes neuronales y los controladores difusos. Los operadores OWA pueden emplearse en la toma de decisiones bajo incertidumbre para modelar una utilidad anticipada.

Una de las motivaciones para emplear estas funciones, es que ellas permiten representar las preferencias de agregación del decisor.

Uno de los operadores de agregación más ilustrativos lo constituye la agregación por entropía (MEOWA). La búsqueda de ponderadores OWA se puede efectuar a partir de la solución de un problema de optimización no lineal, cuya solución entrega un vector que contiene los valores máximo de la entropía, asociados a la percepción del pesimismo de un decisor. Dichos resultados se denominan Promedios Ponderados Ordenados de Máxima Entropía (MEOWA, según la sigla en inglés de “maximum entropy ordered weighted averages”). Esta metodología ha probado ser muy útil en varios problemas de toma de decisiones del mundo real, incluyendo la extensión de la incertidumbre en sistemas expertos.

La aproximación MEOWA se basa en la solución del problema de optimización no lineal ilustrado en la siguiente ecuación, el cual permite encontrar los componentes del vector de pesos, teniendo en cuenta el optimismo del decisor. [18]

$$\begin{aligned} \max \quad & - \sum_{i=1}^p W_i \cdot \ln(W_i) \\ \text{sujeto a : } & \left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^p \frac{(p-i)}{(p-1)} \cdot \omega_i = (\text{Factor de optimismo}) \\ \sum_{i=1}^n \omega_i = 1 \\ \omega_i \geq 0, \quad i \in N \end{array} \right. \end{aligned}$$

Los OWAS antes sugeridos tienen el inconveniente de incurrir en un problema de optimización no lineal, de considerable dificultad para solucionarse, desde el punto de vista matemático. Por esa razón, se sugiere un procedimiento más simple para generar OWAs de tamaño más sencillo. Dichos ponderadores son denominados como EZ-OWAS [18]. Estos operadores dependen de la percepción optimista, indiferente o pesimista del decisor, así:

- i. Para
 decisores optimistas $\alpha > 0.5$: Sea $i^* = \text{entero}((2\alpha - 1) \cdot p)$.

$$\text{Luego, } w_i = \begin{cases} \frac{1}{p} \left(\frac{1}{2(1-\alpha)} \right) & \text{para } 1 \leq i \leq i^* \\ 1 - i^* \cdot \frac{1}{p} \cdot \left(\frac{1}{2(1-\alpha)} \right) & \text{para } i = i^* + 1 \\ 0 & \text{para } i^* + 2 \leq i \leq p \end{cases}$$

ii.

Para

decisores indiferentes $\alpha = 0.5$: $w_i = \frac{1}{p}$

iii.

Para

decisores pesimistas $\alpha < 0.5$: sea $i^* = \text{entero}((1 - 2\alpha) \cdot p)$

$$\text{Luego, } w_i = \begin{cases} 0 & \text{para } 1 \leq i \leq i^* \\ 1 - \frac{p - i^* - 1}{2 \cdot \alpha \cdot p} & \text{para } i = i^* + 1 \\ \frac{1}{2 \cdot \alpha \cdot p} & \text{para } i^* + 2 \leq i \leq p \end{cases}$$

Este tipo de operadores se utilizan en combinación con los métodos de asignación indirecta para determinar la conveniencia de tomar una decisión.

14. ANEXO 5: TÉCNICAS DE DECISIÓN MULTICRITERIO

Tres clases de informaciones se involucran en un análisis multiobjetivo, para la toma de decisiones: Objetivos, Restricciones y Alternativas. Existen muchos métodos reconocidos para tener en cuenta los Objetivos, las Restricciones y las Alternativas en un sistema de Análisis Multiobjetivo para realizar una Toma de Decisiones. Dicho sistema se diseña para generar la decisión que mejor represente al objetivo en los límites de las restricciones. La propia optimización no es más que una forma de tomar una decisión entre unas alternativas factibles. [47]

En su dimensión más básica, un proceso de toma de decisión puede entenderse como la elección de “lo mejor” entre “lo posible”. Ahora bien, según se defina qué es lo mejor y qué es lo posible, un individuo se enfrenta a distintas situaciones de decisión.

La optimización clásica tiene como característica general que lo mejor, el objetivo, es único y está claramente determinado (excepto en el Análisis Multiobjetivo), y que lo posible, las soluciones factibles, no vienen expresadas explícitamente, sino en forma de restricciones y sin incertidumbre (excepto en optimización estocástica, que no es precisamente clásica). [18]

De forma general, un método de decisión multicriterio vendría formulado de la siguiente manera:

$$\underset{x \in F}{\text{opt}} z(x) = z_1(x), \dots, z_p(x)$$

donde F es el espacio de decisiones o soluciones (Si es continuo, se denomina *Región Factible*, $F \subseteq \mathfrak{R}^n$). Al conjunto F se le denomina espacio de objetivos o resultados.

En el caso de las técnicas de decisión continuas, se hará una breve referencia y se le dedicará mayor importancia al caso discreto, el cual corresponde a la tipología de decisión para el presente trabajo.

A. Programación matemática multiobjetivo

La programación matemática multiobjetivo (*Multiobjective Mathematical Programming*, MMP), también llamada optimización vectorial, es una extensión de la teoría de la programación matemática tradicional en el caso de optimizar múltiples funciones objetivo.

Constituye un enfoque multicriterio de gran potencialidad cuando el contexto decisional está definido por una serie de objetivos a optimizar que deben satisfacer un determinado conjunto de restricciones [49]. Como la optimización simultánea de todos los objetivos es usualmente imposible, pues en la vida real suele existir un cierto grado de conflicto entre los objetivos, el enfoque multiobjetivo pretende establecer el conjunto de soluciones eficientes o Pareto óptimas, en vez de intentar determinar una solución óptima que no existe. La formulación general de un problema de programación matemática multiobjetivo es la

siguiente [49].
$$\underset{x \in B}{\text{min}} z = [f_1(x), f_1(x), \dots, f_j(x), \dots, f_n(x)]$$
, sujeto a: $x \in B$

donde x es el vector de variables de decisión, $f_j(x)$ son las funciones objetivo (lineales o no lineales) a optimizar y B es el conjunto de restricciones, usualmente lineales, que definen el conjunto de soluciones posibles.

B. Programación por compromiso

La programación por compromiso (*Compromise Programming*, CP) es uno de los enfoques

multicriterio de mayor potencia operativa y con un campo de aplicación más extenso. La idea básica de la programación compromiso consiste en utilizar el punto ideal, es decir, la solución en la que todos los objetivos alcanzan su valor óptimo, como un punto de referencia para el decisor. En la mayoría de los contextos decisionales reales los diferentes objetivos a optimizar entran en conflicto entre sí y, en consecuencia, el punto ideal es inalcanzable. Por ello, parece lógico aceptar que un comportamiento racional del decisor consistirá en elegir aquel punto eficiente, o zona del conjunto eficiente, que se encuentre más próximo al punto ideal. Por medio de este enfoque se consigue ir reduciendo el tamaño del conjunto eficiente, determinando aquellos subconjuntos del mismo que se encuentran más próximos al punto ideal y que, por consiguiente, resultan más atractivos para el decisor. Los subconjuntos encontrados, denominados conjuntos compromiso, representan políticas equilibradas entre objetivos en conflicto, pero sin subordinar un objetivo a otro. [47]

Para poder medir la mayor o menor proximidad de un punto eficiente con respecto al punto ideal se introduce en el análisis una función de distancia. Dentro del enfoque de la programación compromiso, el concepto de distancia no se utiliza sólo en un sentido geométrico, sino más bien como un derivado de las preferencias humanas. [47]

C. Programación por metas

La programación matemática multiobjetivo, enfocada como una técnica que permite segregarse del conjunto de soluciones posibles aquellas que son paretianamente eficientes, complementada con la manera de introducir las preferencias del decisor que propone la programación compromiso, hace que la unión de ambos enfoques se convierta en un potentísimo instrumento para analizar problemas de toma de decisiones multicriterio. Sin embargo, la utilidad de estos enfoques se reduce considerablemente en problemas decisionales de un tamaño relativamente elevado, con muchos atributos y con un conjunto de restricciones relativamente complejo. De ello se desprende que los enfoques multicriterio expuestos hasta ahora presentan limitado interés en problemas complejos y tienen que dejar paso a otros enfoques con una solidez técnica tal vez menor, pero con una operatividad muy superior [81]. Dentro de esta línea pragmática se encuadra la programación por metas, el enfoque multicriterio más profusamente aplicado y uno de los métodos de la investigación operativa de mayor popularidad. [49]

Esta metodología de programación por metas, es aplicable a las complejas organizaciones actuales, donde el contexto decisional está definido por información incompleta, recursos limitados, multiplicidad de objetivos, conflicto de intereses, etc. En este tipo de contexto, el decisor no está en condiciones de maximizar nada, por el contrario, el decisor intenta que una serie de metas relevantes se aproximen lo más posible a unos niveles de aspiración fijados de antemano [81]. En este sentido, la programación por metas se puede considerar como una modificación y generalización de la programación lineal (*Linear Programming*, LP). Mientras que la programación lineal trabaja con un único objetivo a maximizar o minimizar sujeto a ciertas restricciones, la programación por metas puede abordar múltiples metas, que normalmente están en conflicto. La función objetivo en la programación por metas consiste precisamente en minimizar las desviaciones respecto a las metas establecidas. [49]

El primer paso en la formulación de un modelo de programación por metas consiste en fijar los atributos que se consideran relevantes para el problema de decisión. Una vez establecidos dichos atributos, se determina el nivel de aspiración que corresponde a cada atributo, es decir, el nivel de logro que el decisor desea alcanzar. Seguidamente, se conecta el atributo con el nivel de aspiración por medio de la introducción de variables de desviación negativa y positiva, completando de esta forma la estructura de la meta. [81]

D. Metodología AHP

La asunción básica del AHP es que el ser humano hace comparaciones entre objetos en su vida diaria en una escala y que una cantidad igual a $\frac{n \cdot (n - 1)}{2}$ comparaciones son necesarias para definir completamente un problema con n igual al número de alternativas. [82]

El método de las Jerarquías Analíticas o Proceso Analítico Jerárquico (Analytic Hierarchy Process, AHP), propuesto por el profesor Thomas L. Saaty en 1980, se basa en la idea de que la gran complejidad inherente a un problema de toma de decisiones con criterios múltiples se puede resolver mediante la representación del problema de decisión como una jerarquía formada por diferentes niveles que se relacionan entre sí de forma unidireccional [82]. El nivel superior de la jerarquía es el objetivo global o meta (goal) del problema de decisión, el nivel inferior está formado por las alternativas a evaluar y los niveles intermedios son los criterios y subcriterios tangibles y/o intangibles que contribuyen al objetivo del problema y en base a los cuales se evalúan las alternativas. El diseño de la jerarquía requiere experiencia y conocimiento del problema de decisión que se plantea, para lo cual es indispensable disponer de toda la información necesaria. [82]

Mediante comparación pareada, y con ayuda de la escala fundamental de Saaty, el método AHP asigna pesos de importancia relativa a los elementos de cada nivel de la jerarquía, en función de su contribución al elemento de nivel superior al que están ligados, y finalmente determina los pesos de importancia global de las alternativas del nivel inferior, respecto al objetivo o meta del problema del nivel superior, a través de un procedimiento de agregación de tipo aditivo. [82]

Según la orientación dada al mismo, el método AHP puede considerarse de muy diversas maneras. Se puede entender como una técnica que permite la resolución de problemas de decisión multicriterio, multientorno y multiactores, incorporando en el modelo los aspectos tangibles e intangibles así como el subjetivismo y la incertidumbre inherente en el proceso de toma de decisiones. También es considerado como una teoría matemática de la medida generalmente aplicada a la dominación entre alternativas respecto a un criterio o atributo en común. Se puede tomar como una filosofía para abordar, en general, la toma de decisiones cuya contribución es importante en niveles operativos, tácticos y estratégicos sirviendo para mejorar el proceso de decisión por la gran información que aporta y la mejora en el conocimiento del problema que genera. [82]

En resumen, el método AHP es una teoría de la decisión que interpreta los datos y la información directamente mediante la realización de juicios y medidas en una escala ratio dentro de una estructura jerárquica establecida. Es un método de selección de alternativas en función de una serie de criterios o variables que suelen estar en conflicto. [82]

1. Proceso metodológico

Las etapas generales de la metodología AHP, propuestas por Saaty en su formulación inicial, son: [81]

- i. **Modelación.** En la primera etapa se construye un modelo o estructura jerárquica en la que quedan representados todos los aspectos considerados relevantes en el proceso de toma de decisiones. La jerarquía resultante debe ser completa, representativa, no redundante y minimalista. Su construcción es la parte más creativa del proceso de resolución del problema. [81]. La Figura 53 permite identificar la metodología como se debe plantear un problema de toma de decisiones con AHP.

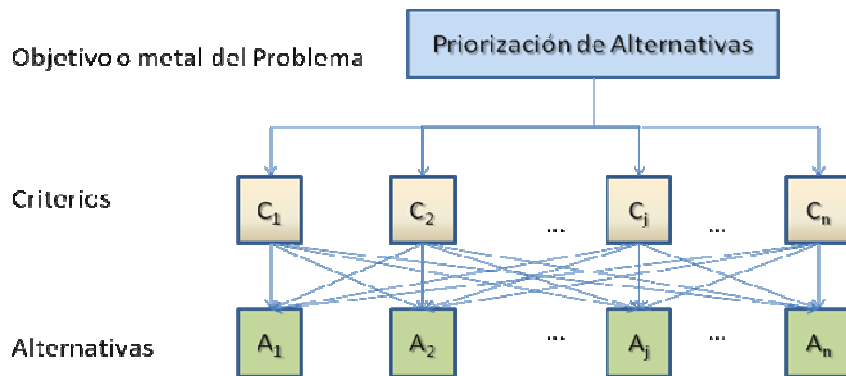


Figura 53: Modelación básica jerárquica en AHP

- ii. **Valoración.** En la segunda etapa se incorporan las preferencias de los decisores mediante los juicios emitidos en las denominadas matrices de comparación pareada.

Estas matrices cuadradas reflejan la dominación relativa de un elemento frente a otro respecto a un atributo o propiedad en común. En la práctica, de dos elementos comparados, se toma como referencia el que posee en menor medida o grado la característica en estudio y se da un valor numérico de las veces que el mayor domina o es más preferido que el menor respecto al atributo estudiado.

El método AHP calcula también un índice de consistencia para verificar la coherencia de los juicios emitidos por el decisor. Esto se debe a que la información obtenida del decisor es generalmente redundante y más o menos incoherente. Mediante este índice de consistencia el analista puede medir el error introducido por el decisor en el modelo y actuar en consecuencia. [81]

La razón de consistencia es un indicador o guía matemático aproximado de la consistencia de las comparaciones pareadas. El mismo es función del eigenvalor máximo ($\lambda_{m\acute{a}x}$) y del tamaño de la matriz de comparaciones. Luego se realiza una comparación contra valores similares, si las comparaciones pareadas han sido simplemente aleatorias, conocido como índice aleatorio. Si la razón del índice de consistencia entre el índice aleatorio no es mayor que 0.1, entonces según Saaty, se considera bastante aceptable para fines pragmáticos. [18]

El índice de consistencia (IC) tiene en cuenta el máximo valor propio asociado a la matriz de comparaciones ($\lambda_{m\acute{a}x}$), así como el orden (p), -o conjunto de metas y restricciones-, de la misma, según la siguiente ecuación: $IC = \frac{\lambda_{m\acute{a}x} - p}{p - 1}$

Saaty ha aproximado índices aleatorios para diversos tamaños de la matriz, p (con base en números grandes de ejecuciones de simulación), según se muestra a continuación:

p	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
RI	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.59

Ahora, la razón de consistencia (R.C) se encuentra por: $R.C. = \frac{I.C}{R.I}$

Si $R.C. \leq 0.10$, se concluirá que las comparaciones pareadas son razonablemente congruentes.

- iii. **Priorización y síntesis.** En la tercera etapa se proporcionan las diferentes prioridades consideradas en la resolución del problema. Se entiende por prioridad una unidad abstracta válida para cualquier escala en la que se integran las preferencias que el individuo tiene al comparar aspectos tangibles e intangibles. En

un problema de decisión se consideran tres tipos de prioridades:

- ✓ Las prioridades locales son las prioridades de los elementos que cuelgan de un nodo común. Están medidas en escalas de razón de las magnitudes relativas y se obtienen a partir de la matriz recíproca de comparaciones pareadas.
- ✓ Las prioridades globales son la importancia de los elementos respecto a la meta global fijada para el problema. La forma de calcular las prioridades globales consiste en aplicar el principio de composición jerárquica.
- ✓ Las prioridades finales o totales de las alternativas se obtienen agregando las prioridades globales obtenidas para cada alternativa en los diferentes caminos que las unen con la meta, normalmente mediante un procedimiento aditivo.

El decisor tendrá que comparar los objetos de dos en dos (Comparaciones por pares). Cuando se comparen el objeto i , con el objeto j , el decisor tendrá que hacer inicialmente una decisión binaria, indicando cuál objeto es más importante.

Habiendo realizado dicha decisión, el decisor tiene que asignar unos valores en una escala de 1 a 9 para indicar la dominancia de los objetos de mayor importancia, sobre los objetos menos importantes. [18]

Estos valores de escala se muestran en la siguiente tabla con los respectivos indicadores lingüísticos acerca de cómo aplicarlos. Si el objeto i , domina al objeto j , el valor a asignar se denota por a_{ij} . La matriz de comparaciones de pares tiene una propiedad muy interesante acerca del recíproco, dado por :

$$a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}}$$

El número de preferencia por i Si el Objetivo i es ... que el Objetivo j , asignar es

1	Igualmente importante/preferido
3	Apenas más importante/preferido
5	Bastante más importante/preferido
7	Mucho más importante/preferido
9	Absolutamente importante/preferido
2, 4, 6, 8	Juicios de importancias intermedias sobre los dos adyacentes

Esta propiedad facilita la fácil generación de una matriz de comparaciones de pares, con dimensiones $p \times p$, denominada matriz de satisfacciones, B , cuyos elementos son: $b_{ii} = 1$, $b_{ij} = a_{ij}$, $b_{ji} = \frac{1}{b_{ij}}$ para todo i, j .

De esta manera se espera que los juicios de atributos en forma pareada abarquen los aspectos relevantes de importancia, y las personas que toman las decisiones pueden evaluar los subproblemas en forma precisa y relativamente congruente. [18]

Este análisis se suele hacer para examinar el grado de sensibilidad del resultado obtenido en una decisión al realizar cambios en las prioridades de los criterios principales de un problema, aplicando un cambio en la prioridad de un criterio principal y manteniendo las proporciones de las prioridades del resto de criterios, de tal manera que todos ellos, incluido el criterio alterado, al modificarse sigan sumando la unidad.

Las etapas generales anteriores del método AHP se pueden concretar en cuatro pasos principales:

- 1) Modelar el problema de decisión como una jerarquía, lo cual implica identificar los elementos de la jerarquía (criterios y alternativas) y agruparlos por niveles de acuerdo con una estructura jerárquica
- 2) Determinar las prioridades locales y globales de los criterios y los subcriterios.
- 3) Determinar las prioridades locales de las alternativas.

- 4) Agregar las prioridades anteriores para obtener la priorización total de las alternativas.

La metodología expuesta constituye el procedimiento básico del método AHP. Sin embargo, se pueden dar dos situaciones complementarias que se comentan a continuación.

La primera de ellas se produce sólo si se dispone de información suficiente sobre el problema. En este caso es posible modelar el problema de forma que la jerarquía inicial se descomponga en otras jerarquías más detalladas o precisas. Saaty propone la llamada jerarquía de control compuesta por cuatro dimensiones: beneficios (B), oportunidades (O), costos (C) y riesgos (R). Atendiendo a sus iniciales también se le llama análisis BOCR. Los beneficios son asuntos seguros y favorables, mientras que los costos son asuntos seguros pero no favorables. Las oportunidades son asuntos inciertos positivos que una decisión podría generar y los riesgos son los asuntos inciertos negativos que una decisión podría conllevar.

2. Ventajas e Inconvenientes del AHP

Todas las técnicas de decisión multicriterio presentan aspectos positivos y negativos, bien desde un punto de vista teórico o bien desde la práctica. Algunos autores referencian ventajas y desventajas del método AHP, como las que se expresan por HO [32], y por SMITH [82], y que se pueden resumir a continuación:

- ✓ **Teoría.** AHP es una de las pocas técnicas multicriterio que ofrece una axiomatización teórica.
- ✓ **Práctica.** AHP es una de las técnicas multicriterio que mejor comportamiento práctico tiene.
- ✓ **Unidad.** AHP proporciona un modelo único fácilmente comprensible, flexible y para una amplia gama de problemas no estructurados.
- ✓ **Complejidad.** AHP integra enfoques deductivos y de sistemas para resolver problemas complejos.
- ✓ **Estructura jerárquica.** AHP refleja la tendencia natural de la mente a clasificar elementos de un sistema en diferentes niveles y a agrupar elementos similares en cada nivel.
- ✓ **Medida.** AHP proporciona una escala para medir imponderables y un método para esclarecer prioridades.
- ✓ **Síntesis.** AHP conduce a una estimación completa de la conveniencia de cada alternativa.
- ✓ **Compensaciones.** AHP toma en consideración las prioridades relativas de los factores en un sistema y permite seleccionar la mejor alternativa en virtud de una serie de objetivos.
- ✓ **Juicio y consenso.** AHP no insiste en el consenso, pero permite sintetizar un resultado representativo de diversos juicios.
- ✓ **Repetición del proceso.** AHP permite que la gente afine su definición de un problema y mejore su juicio y comprensión mediante la repetición del proceso.

No obstante, el método AHP también presenta una serie de inconvenientes, algunos de los cuales se citan a continuación [32], [82]:

La justificación de la independencia exigida en la modelación jerárquica.

La escala fundamental empleada para expresar los juicios relativos en las comparaciones pareadas.

- Los procedimientos de priorización de los elementos mediante el cálculo del eigenvector.
- La forma de evaluar la consistencia de los juicios emitidos.
- La interpretación de las prioridades totales obtenidas en el procedimiento.
- La introducción de una nueva alternativa puede hacer variar la estructura de preferencias del decisor, o poner de manifiesto alguna inconsistencia en los juicios.
- Respecto a los inconvenientes citados, mencionar que se han propuesto distintos procedimientos para calcular y sintetizar las prioridades, así como diferentes escalas para incorporar las preferencias a través de juicios.

E. Metodología ANP

El Proceso Analítico Sistémico o Proceso Analítico en Red (Analytic Network Process, ANP) fue propuesto por el profesor Thomas L. Saaty. Este método fue inicialmente publicado en Saaty en su artículo *The Analytic Network Process: Decision Making with Dependence and Feedback* de los años 1996 y 2005. Tanto AHP como ANP tienen como objetivo obtener una priorización de las alternativas del problema de decisión a partir de comparaciones pareadas entre elementos del modelo [81].

AHP es conceptualmente fácil de utilizar y proporciona resultados satisfactorios cuando se abordan problemas de decisión que se pueden modelar como una jerarquía de niveles en la que se puede asumir y demostrar la independencia entre los elementos de un mismo nivel. Sin embargo, en muchos problemas de la vida real esta independencia no se puede verificar, por tanto la aplicación de AHP puede suponer una simplificación demasiado arriesgada de la realidad. Por este motivo ANP, se considera como la generalización de AHP. [32]

En ANP no tiene sentido hablar de niveles, como sucede en una jerarquía, porque este método representa un problema de decisión como una red en la que son posibles las relaciones de interdependencia y realimentación entre todos sus elementos (criterios y alternativas), que se agrupan en componentes. En este sentido, el modelo en red de ANP permite una representación del problema de decisión más aproximada a la realidad que la lograda por la estricta estructura jerárquica de AHP. Una red permite capturar todas las interacciones que se producen entre los agentes del entorno porque es un modelo más complejo y elaborado, por tanto es una herramienta muy adecuada para modelar entornos de decisión complejos. No obstante, en aquellas situaciones en las que se verifiquen las condiciones de aplicación de AHP, este método es igualmente válido. Se dice que ANP es la generalización de AHP porque una jerarquía es un caso particular de un modelo en red. [82]

Una de las diferencias más importantes entre AHP y ANP es la forma de obtener las prioridades totales de las alternativas a partir de las ponderaciones locales de los elementos del modelo. Mientras en AHP se aplica un procedimiento de agregación de pesos de tipo aditivo, como puede ser el método de la suma ponderada, a partir de la información recogida en la matriz de valoración o decisión, en ANP en cambio se aplican algoritmos de cálculo más complejos sobre la supermatriz para obtener las prioridades totales de todos los elementos de la red, y en particular de las alternativas. La matriz de valoración de AHP es uno de los bloques de la supermatriz de ANP, lo que confirma que ANP es la generalización de AHP [82]. En resumen, el método ANP es una teoría matemática que permite trabajar con dependencia y realimentación de manera sistemática, incluyendo a AHP como un caso particular, mediante la introducción del concepto de supermatriz para la obtención de las prioridades totales de las alternativas. [81]

El método ANP se compone de seis pasos principales: [81]

1) Modelar el problema de decisión como una red, lo cual implica identificar los elementos

de la red (criterios y alternativas), agruparlos en componentes y determinar las relaciones de interdependencia entre ellos.

- 2) Realizar comparaciones pareadas entre elementos.
- 3) Construir una supermatriz (supermatriz original) con los vectores de pesos de influencia relativa de los elementos.
- 4) Realizar comparaciones pareadas entre componentes.
- 5) Ponderar los bloques de la supermatriz original, mediante los pesos correspondientes de los componentes, para transformarla en una supermatriz estocástica por columnas, es decir, cuyas columnas sumen la unidad (supermatriz ponderada).
- 6) Elevar la supermatriz ponderada a potencias sucesivas hasta que sus entradas converjan y permanezcan estables (supermatriz límite).

Finalmente, la literatura especializada permite identificar las siguientes ventajas y desventajas de la metodología ANP: [81]

- ✓ ANP permite abordar problemas más complejos y realistas que AHP.
- ✓ La flexibilidad del modelo en red de ANP posibilita la representación de cualquier problema de decisión sin la preocupación de decidir qué criterio va primero y cuál va después, como sucede en la jerarquía de AHP, lo que permite mayor creatividad al decisor y se traduce en representaciones del problema más realistas y naturales.
- ✓ ANP permite recoger relaciones de interdependencia y realimentación entre los elementos del sistema, lo que lo convierte en una herramienta muy potente. Se recomienda utilizar AHP sólo cuando se puede asumir y verificar la independencia entre los elementos de un mismo nivel de la jerarquía.

Los resultados de ANP son más objetivos y precisos que los de AHP. A pesar de las ventajas anteriormente descritas, el método ANP presenta algunos inconvenientes frente al método AHP, como son los siguientes [81]:

- El problema resulta más complejo en ANP y requiere, comparado con AHP, mayor cantidad de cálculos para su resolución y la construcción de mayor número de matrices de comparación pareada.
- Se invierte más tiempo y esfuerzo con ANP en la determinación de las variables del sistema y de sus relaciones de dependencia, así como en la obtención de las prioridades totales de las alternativas, que con AHP.

En resumen, las técnicas AHP y ANP permiten incluir intangibles, apreciaciones, sentimientos y experiencias en forma cualitativa y, si el modelo se diseña convenientemente, los expertos participan muy naturalmente logrando objetividad en evaluaciones con un importante componente subjetivo.

En el caso de este trabajo, es posible aplicar la metodología AHP, por su simplicidad y rapidez, como una forma de eliminar elementos poco importantes a juicio de los expertos y ANP será la técnica de uso más destacado en la metodología más compleja, que involucren encuestas y paneles de opinión de expertos.

15. ANEXO 6: LA DINÁMICA DE SISTEMAS COMO TÉCNICA DE SIMULACIÓN EN AMBIENTES CONTINUOS

La Dinámica de Sistemas (DS) es un método de simulación con el cual se pretende modelar la dinámica de los sistemas complejos cuyas condiciones cambian a través del tiempo; es especialmente útil para representar sistemas sociales en estado de transición o cambio para los cuales no se conocen las condiciones de sus posibles estados futuros de reposo; así mismo, para representar sistemas en los cuales se desea introducir reformas y no se conocen sus posibles estados futuros. [56]

La Dinámica de Sistemas representa el comportamiento de los sistemas mediante la representación de los cambios en sus variables. Haciendo uso de Diagramas Causales, la DS ilustra los cambios ocasionados en una variable como consecuencia de las variaciones producidas en otra, formando ciclos o bucles que representan la interacción entre las variables.[56]

Los modelos de Dinámica de Sistemas están conformados básicamente por relaciones entre flujos de materiales y de información, por representaciones de los procesos en la toma de decisiones y por indicaciones de la forma como ocurren los retardos en los ciclos de realimentación. Los modelos se constituyen en laboratorios que permiten realizar experimentos para observar posibles comportamientos de los sistemas, bajo diversas consideraciones previamente establecidas. Por medio de los modelos se puede obtener respuestas a preguntas del tipo “qué pasará si...?” [56]

A. Conceptos de la Metodología de Dinámica de Sistemas

La Dinámica de Sistemas (DS) es una metodología de uso generalizado para modelar y estudiar el comportamiento de cualquier clase de sistemas y su comportamiento a través del tiempo con tal de que tenga características de existencias de retardos y bucles de alimentación.

La DS estudia las características de realimentación de la información en la actividad industrial con el fin de demostrar como la estructura organizativa, la amplificación (de políticas) y las demoras (en las decisiones y acciones) interactúan e influyen en el éxito de la empresa.

Es un método en el cual se combinan el análisis y la síntesis, suministrando un ejemplo concreto de la metodología sistémica. La dinámica de sistemas suministra un lenguaje que permite expresar las relaciones que se producen en el seno de un sistema, y explicar cómo se genera su comportamiento.

Las demoras o retardos en los ciclos de realimentación tienen un efecto importante, por cuanto las decisiones se toman después de conocer y analizar la información recogida del sistema; además, se presentan lapsos muchas veces importantes entre las decisiones, las acciones y las consecuencias sobre el sistema.

Además de los ciclos de realimentación y la representación de los retardos en los efectos de unas variables sobre otras, los modelos de dinámica de sistemas incluyen diagramas de influencia o *Diagramas de Forrester*, a través de los cuales se representan las relaciones matemáticas entre las variables. El modelo matemático consiste en un sistema de ecuaciones diferenciales de funciones de variables dependientes entre sí, con ecuaciones de orden mayor que uno. El método de cálculo está basado en la actualización de los niveles del sistema, en razón a los flujos de entrada y salida que los afectan, después del transcurso de intervalos de tiempo. [56]

Los campos de aplicación de la DS son muy variados; entre ellos están los sistemas sociológicos, ecológicos y ambientales, políticos, en la medicina e ingeniería, entre otros. Un

campo interesante de aplicaciones es el que suministran los sistemas energéticos, en donde se ha utilizado para definir estrategias de empleo de los recursos energéticos y análisis de políticas regulatorias, estrategias de incertidumbre e inversiones especialmente, en procesos de desregulación y privatización; entre otras.[56]

Se ha empleado también, la DS, para problemas de defensa, simulación de problemas logísticos de evolución de tropas y otros problemas análogos. En general, en todos aquellos trabajos donde no son aplicables las técnicas tradicionales de optimización, por la existencia de relaciones de realimentación y retardos, o por su gran complejidad. [56]

B. Elementos de la Dinámica de Sistemas

Un modelo es una representación de algún equipo o sistema real. El valor de un modelo surge cuando éste mejora nuestra comprensión de las características del comportamiento en forma más efectiva que si se observará el sistema real.

Un modelo, comparado con el sistema verdadero que representa, puede proporcionar información a costo más bajo y permitir el logro de un conocimiento más rápido de las condiciones que no se observan en la vida real.

Los modelos dinámicos son una representación de la conducta dinámica de un sistema, Mientras un modelo estático involucra la aplicación de una sola ecuación, los modelos dinámicos, por otro lado, son reiterativos. Los modelos dinámicos constantemente aplican sus ecuaciones considerando cambios de tiempo.

La descripción mínima de un sistema viene dada por la especificación de las distintas partes que lo forman, mediante el conjunto **C** de su composición, y por la relación **R** que establece cómo se produce la influencia entre esas partes.

El conjunto de las relaciones entre los elementos de un sistema recibe la denominación de estructura del sistema y se representa mediante el diagrama de influencias o causal. En su forma más simple el diagrama de influencias está formado por lo que se conoce como un grafo orientado. A las flechas que representan las aristas se puede asociar un signo. Este signo indica si las variaciones del antecedente y del consecuente son, o no, del mismo signo. Supongamos que entre **A** y **B** existe una relación de influencia positiva. Ello quiere decir que si **A** se incrementa, lo mismo sucederá con **B**; y, por el contrario, si **A** disminuye, así mismo lo hará **B**. Por otra parte, si la influencia fuese negativa a un incremento de **A** seguiría una disminución de **B**, y viceversa. De este modo, asociando un signo a las relaciones de influencia, se tiene un diagrama que suministra una información más rica sobre la estructura del sistema, aunque continúe conservando su carácter cualitativo. El grafo correspondiente se dice que está signado. [56]

Un bucle de realimentación negativa tiene la notable propiedad de que si, por una acción exterior, se perturba alguno de sus elementos, el sistema, en virtud de su estructura, reacciona tendiendo a anular esa perturbación. En efecto, consideremos el bucle de la Figura 54, en el que los elementos se han representado, de forma general, mediante las letras **A**, **B** y **C**. Supongamos que uno cualquiera de ellos, por ejemplo el **B**, se incrementa. En virtud de las relaciones de influencia, el incremento de **B** determinará el de **C**, ya que la relación de influencia correspondiente es positiva.

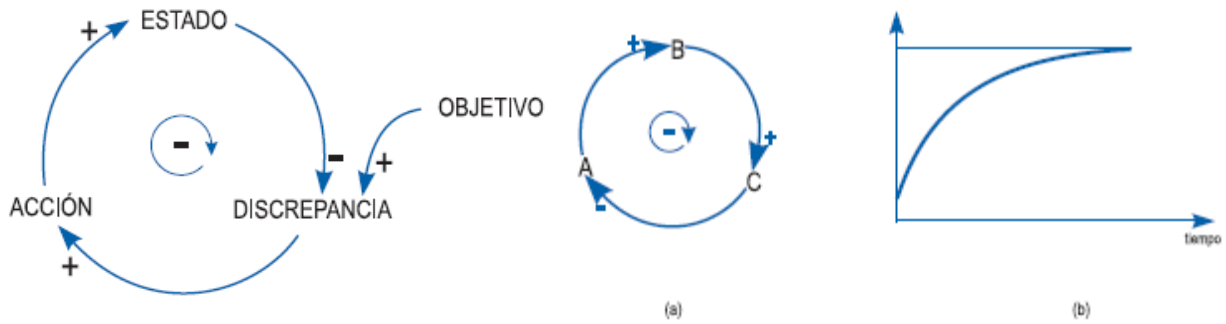


Figura 54: Diagrama de un bucle de realimentación negativa y respuesta en el tiempo

Es conveniente observar que en un bucle de realimentación negativa lo que se realimenta es información.

Por otro lado, un bucle de realimentación positiva corresponde a una realimentación que amplifica las perturbaciones y que, por tanto, inestabiliza al sistema. En este sentido se puede decir que su efecto es contrario al de la realimentación negativa. Si aquella estabilizaba, esta desestabiliza.

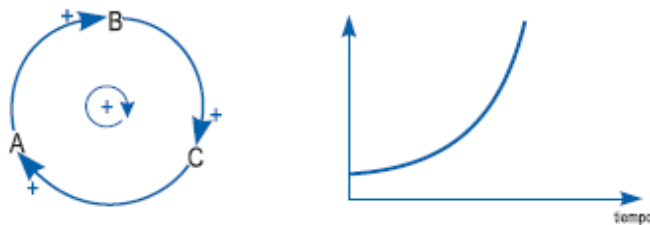


Figura 55: Estructura de un bucle de realimentación positiva y comportamiento correspondiente

En algunos casos interesa, además, distinguir entre influencias que se producen de forma más o menos instantánea e influencias que tardan un cierto tiempo en manifestarse. En este último caso, se tienen influencias a las que se asocian retrasos. En el diagrama de influencias, si **A** influye sobre **B**, y esta influencia tarda un cierto tiempo en manifestarse, entonces se añaden dos trazos sobre la flecha correspondiente. En la Figura 56 se muestra un bucle de realimentación negativa en el que la influencia entre **C** y **A** se produce con un retraso, por lo que la flecha correspondiente presenta dos trazos.

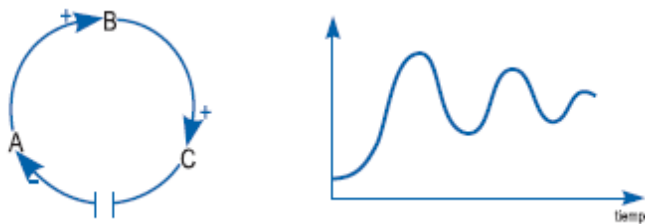


Figura 56: Estructura de un bucle de realimentación negativa con un retraso y comportamiento correspondiente

Los retrasos pueden tener una enorme influencia en el comportamiento de un sistema. En los bucles de realimentación positiva determinan que el crecimiento no se produzca de forma tan rápida como cabría esperar. En los de realimentación negativa su efecto es más patente.

Habitualmente los sistemas son complejos en los que coexisten múltiples bucles de realimentación, tanto positivos como negativos. En tal caso el comportamiento resultante dependerá de cuáles de los bucles sean dominantes en cada momento. Existen muchos procesos en la realidad a los que es aplicable este diagrama. Se trata de procesos en los

que inicialmente se produce un crecimiento; es decir, al principio el bucle de realimentación positiva es el dominante. Sin embargo, sabemos que todo proceso de crecimiento tarde o temprano debe cesar. No hay un crecimiento indefinido. Este efecto limitador del crecimiento se incorpora mediante un bucle de realimentación negativa, como el que se muestra a la derecha de la Figura 57.

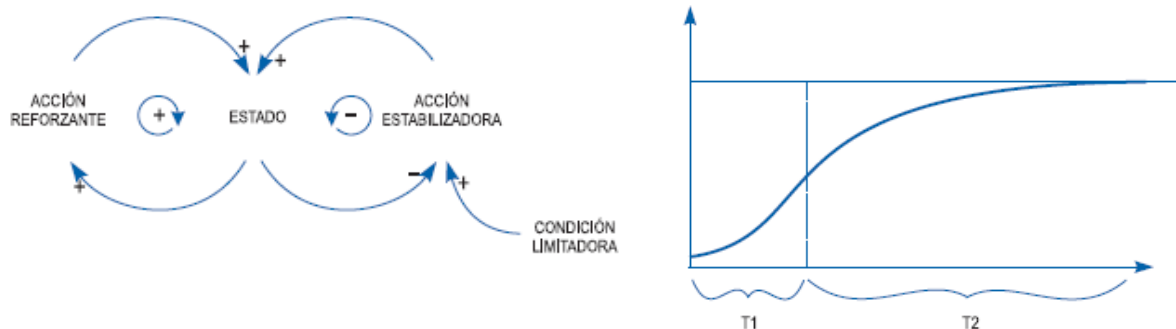


Figura 57: Estructura formada por dos bucles de realimentación negativa y positiva, y respuesta sigmoide en el tiempo

El número de procesos a los que se puede aplicar esta estructura de dos bucles es muy amplio y se adapta de manera muy efectiva al estudio de los riesgos y amenazas del aseguramiento energético en un país, cuya temática es objeto de este trabajo.

16. ANEXO 7: DIAGNÓSTICO GEOPOLÍTICO SOBRE EL SUMINISTRO ENERGÉTICO

En este anexo, se identifican los principales retos a los que se enfrenta un país para la búsqueda de estrategias que le permitan mantener un abastecimiento adecuado de energía. Estos desafíos surgen de un conjunto de acontecimientos internos y externos de origen geopolítico y económico.[6]

Precisamente el interés estratégico asociado a la seguridad energética de las naciones, constituye la motivación para abordar un trabajo de investigación que permita identificar y evaluar las amenazas a la seguridad energética, las cuales necesiten ser analizadas por cualquier nación.

Este trabajo busca identificar los principales retos a los que se puede ver enfrentado un país, en la búsqueda de estrategias para mantener un abastecimiento adecuado de energía. El contexto actual se sitúa en un mundo cambiante, en el que surgen nuevas relaciones entre las principales potencias, los EE.UU., Rusia, la UE y, posiblemente, China y Japón.

Este trabajo se centra en la identificación de amenazas desde el punto de vista predominantemente energético.

A. SITUACIÓN ENERGÉTICA MUNDIAL

En concepto de la IEA [42], los mercados de la energía de todo el mundo han sufrido profundas conmociones, pero los retos que plantea la transformación del sistema energético mundial permanecen con la misma urgencia y envergadura. La crisis financiera mundial y la consiguiente recesión han tenido una drástica repercusión en las perspectivas de los mercados energéticos, en particular, para los próximos años. La demanda mundial de energía ha caído con la contracción económica durante los años 2008 y 2009, y la rapidez en repuntar dependerá en gran medida de la celeridad con que se recupere la economía mundial. Ante la amenaza de un desplome económico como consecuencia de la crisis financiera, los países han reaccionado lanzando, rápida y coordinadamente, estímulos fiscales y monetarios de una magnitud sin precedentes; en muchos casos, estos paquetes de estímulo han incluido medidas para promocionar las energías limpias, con el fin de combatir una amenaza a largo plazo incluso mayor y, en cualquier caso, igualmente real: La de un catastrófico cambio climático.

Adicionalmente, la inversión en tecnologías de baja emisión de carbono, plantean un desafío energético enorme. En 2009, las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) relacionadas con la energía estuvieron muy por debajo del que hubiera sido su nivel de no haberse producido la recesión, pero este ahorro no servirá de nada si no se alcanza un acuerdo sólido en torno a las recomendaciones del IPCC y se deja así que las emisiones retomen su tendencia al alza. [42]

Aunque se han registrado leves aumentos en las reservas energéticas de combustibles fósiles, a nivel mundial, el crecimiento exponencial de la población mundial representa un importante reto para suplir las necesidades energéticas de la humanidad.

La Figura 58 presenta la actual distribución de la población mundial. Es posible observar que los países con mayor bienestar y desarrollo económico concentran menores porcentajes de habitantes.



Figura 58. Distribución de la población mundial en el año 2010. Fuente [59]

El consejo mundial de la energía (CME) [17], prevé un aumento en el consumo per cápita de los habitantes en los países con economías emergentes. A esto se suma un aumento en la población, que innegablemente repercutirá en mayores consumos de los limitados recursos energéticos disponibles en la tierra. La Tabla 16 presenta las estimaciones de la evolución del crecimiento poblacional por regiones, y sus hábitos energéticos.

Tabla 16: Consumo per cápita de energía primaria (Toneladas Equivalentes de Petróleo - TEP). Fuente CME [17].

Región	1990	2020	Incremento población (%)
América del Norte	7,82	7,16	0,6
América Latina	1,29	1,95	1,6
Europa Occidental	3,22	3,53	0,2
Europa Central y del Este	2,91	2,87	0,3
Ex-Unión Soviética	5,01	4,45	0,6
Oriente Medio y África Meridional	1,17	1,59	2,3
África Subsahariana	0,53	0,58	2,9
Pacífico	1,02	1,43	1,0
Asia	0,39	0,52	1,8
<i>Promedio Mundial</i>	<i>1,66</i>	<i>1,65</i>	<i>1,4</i>

En general, las regiones con mayores cambios poblacionales (África, Asia, Latinoamérica, Oriente Medio), jalonarán el consumo de las reservas mundiales de energía.

Cabe anotar que en caso que cada uno de los habitantes de estas regiones tomaran las costumbres energéticas de los países más desarrollados, esto implicaría el colapso del actual modelo energético global. El reto de llevar energía a todos los habitantes de la humanidad es muy grande, y esta situación impacta directamente los indicadores de la calidad de vida. En la Figura 59 se pueden apreciar las regiones de la tierra donde sus habitantes no tienen acceso a la energía eléctrica. Importante anotar que aquellas regiones y países más pobres, son los que están más afectados por estas condiciones.

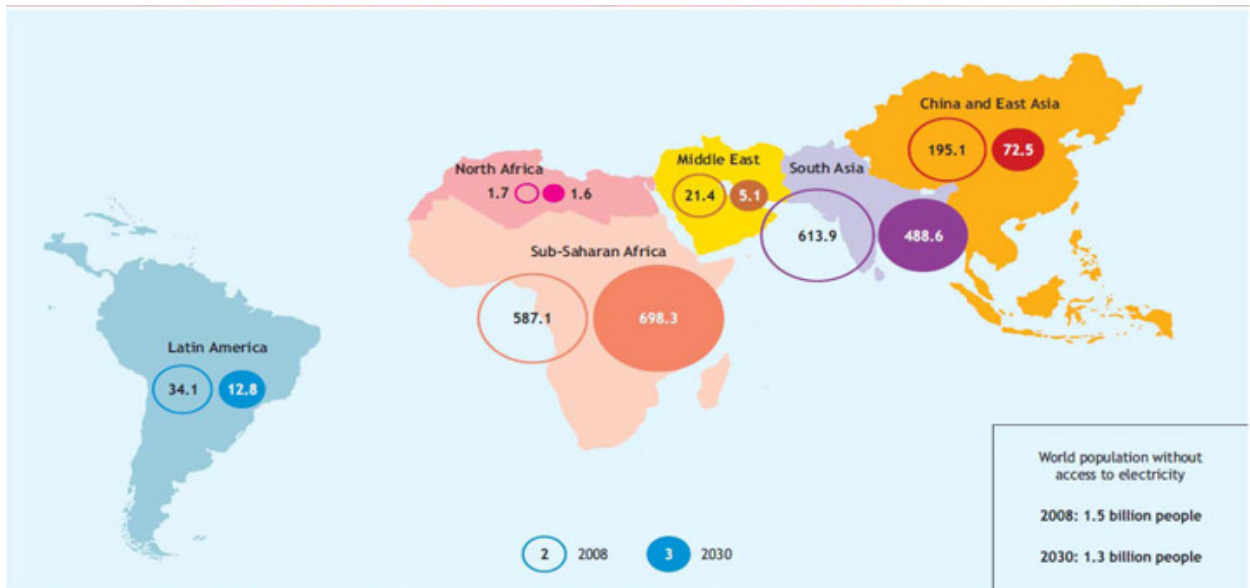


Figura 59. Población mundial con acceso a la electricidad. Fuente [42][59]

En previsiones de la IEA [42] en el año 2008, 1500 millones de personas, equivalente al 23% de la población mundial, aún carecerán de acceso a la energía eléctrica. Esta cifra se reducirá a 1300 millones de personas sin acceso a la electricidad en el año 2030, equivalente al 16% de la población proyectada para ese año. Esta situación se da, a pesar de los mayores avances tecnológicos, y la preocupación por globalizar la prosperidad.

Es importante anotar que en general, aquellos países donde sus habitantes invierten considerables porcentajes de sus ingresos en el bienestar energético, son aquellos que gozan de mayor calidad de vida. Esta observación presupone que la energía es el motor económico que sustenta a la actual sociedad moderna.

En la Figura 60 se puede apreciar el gasto en que incurre cada habitante de algunos países, para los consumos energéticos que sustentan la calidad de vida.

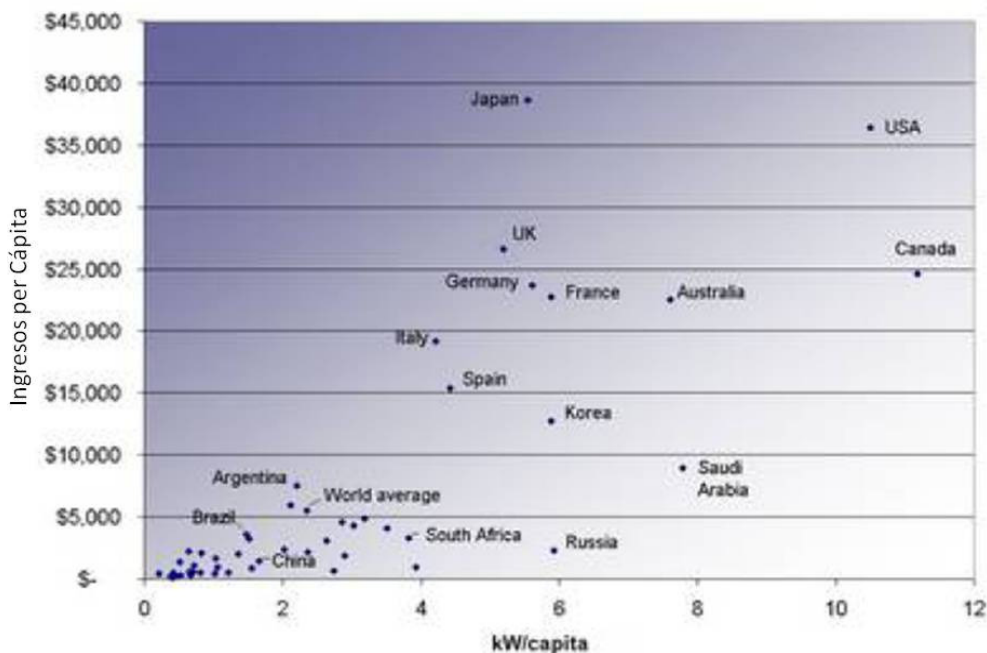


Figura 60. Relación entre ingresos y consumos energéticos por habitante. Fuente [42][59]

Adicionalmente, según el escenario que se proyecta por la IEA [41], es posible identificar las regiones donde el consumo de energía primaria que realiza cada habitante (En

toneladas equivalentes de petróleo), en un escenario al año 2030, puede apreciarse en la Figura 61.

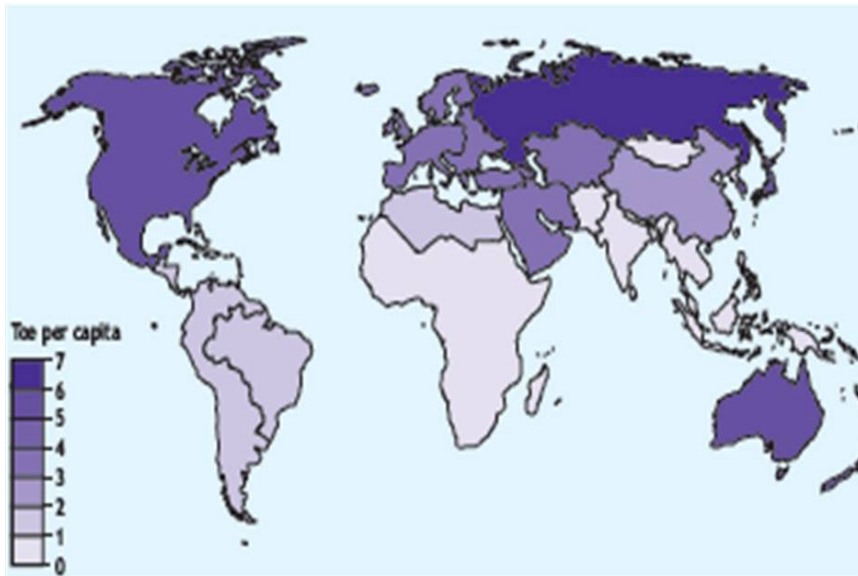


Figura 61. Demanda per cápita de energía primaria. Escenario 2030. Fuente [41][59]

Para corroborar esta aseveración de la relación entre consumo energético, calidad de vida bienestar económico, es posible dar un vistazo a las economías mundiales. Se puede apreciar que los mayores PIB están concentrados en aquellos países que consumen energía, y cuyos modelos energéticos están debidamente respaldados con estrategias de aseguramiento energético, especialmente Norteamérica, Europa, Asia, según se puede apreciar en la Figura 62.



Figura 62. Producto Interno Bruto Mundial. Fuente [59][59]

B. INTERDEPENDENCIA ENTRE SEGURIDAD ENERGÉTICA E INFRAESTRUCTURA CRÍTICA

Tradicionalmente, el enfoque de la seguridad energética se ha concentrado sobre los accidentes y desastres naturales. Después de 11 de septiembre 2001, las autoridades en países de Europa y Norteamérica, así como la industria han tenido que considerar la amenaza de un daño intencional a un grado mucho mayor que antes.

La literatura en general coincide en definir al sistema energético de un país, como una red

compleja, interconectada en la que la interrupción en una parte de la infraestructura puede causar perturbaciones en otras partes del sistema. A esta definición se le denomina interdependencia. [16]

El concepto de seguridad energética se refiere a un sistema de energía flexible, que sea capaz de resistir las amenazas a través de una combinación de medidas de seguridad activas y directas (por ejemplo, como la vigilancia) y otras medidas pasivas o indirectas, (por ejemplo, referidas a la redundancia, duplicación de equipo crítico, diversidad en las fuentes energéticas, e infraestructura menos vulnerable). [6]

El concepto de Infraestructura Crítica o Recursos Claves, abarca a todos aquellos activos que son tan vitales para cualquier Estado, que su destrucción o degradación tendría un efecto debilitante sobre las funciones esenciales del gobierno, la seguridad nacional, la economía nacional, o la salud pública [6]. Dado que ninguno de los sectores de infraestructuras críticas puede funcionar de manera aislada, bajo la perspectiva de la seguridad nacional hay que interrogarse si se puede proteger adecuadamente la infraestructura crítica, bajo el supuesto de no contar con un panorama detallado de todos los sectores, sino más bien, con una aproximación enfocada en sectores específicos. [16]

La infraestructura crítica y recursos clave definidos anteriormente, forman una red interdependiente de activos muy vasta y compleja, de manera que es política de máxima prioridad la garantía de su funcionamiento impacta casi todos los aspectos en los sectores privado, público, gubernamental, servicios, y la vida en general de un país.

La interrupción de un solo sector de la infraestructura crítica, a causa de ataques terroristas, desastres naturales o daños provocados por el hombre, es probable que tenga efectos en cascada sobre otros sectores. Estos conceptos de infraestructuras críticas incluyen los servicios de energía (electricidad, gas natural, y combustibles derivados del petróleo), servicios de agua (agua potable y tratamiento de aguas residuales), tecnologías de la información (comunicaciones para voz y conectividad de datos mundial). [16]

En consecuencia, los gobiernos, entidades reguladoras, y expertos de la industria han enfocado su atención en el estudio de las vulnerabilidades del sistema de suministro energético de las naciones, ante ataques intencionales, accidentes o desastres naturales. Actualmente, el tema de seguridad energética se contempla como uno de los asuntos de mayor importancia en las políticas nacionales. Los gobiernos representan un papel vital en la protección del sector energético, en la prevención y gestión de crisis relacionadas con el suministro energético. [6]

La Figura 63 muestra cuán entrelazados con la infraestructura energética de una nación, se encuentran los recursos clave y los servicios de agua, electrónica y telecomunicaciones.

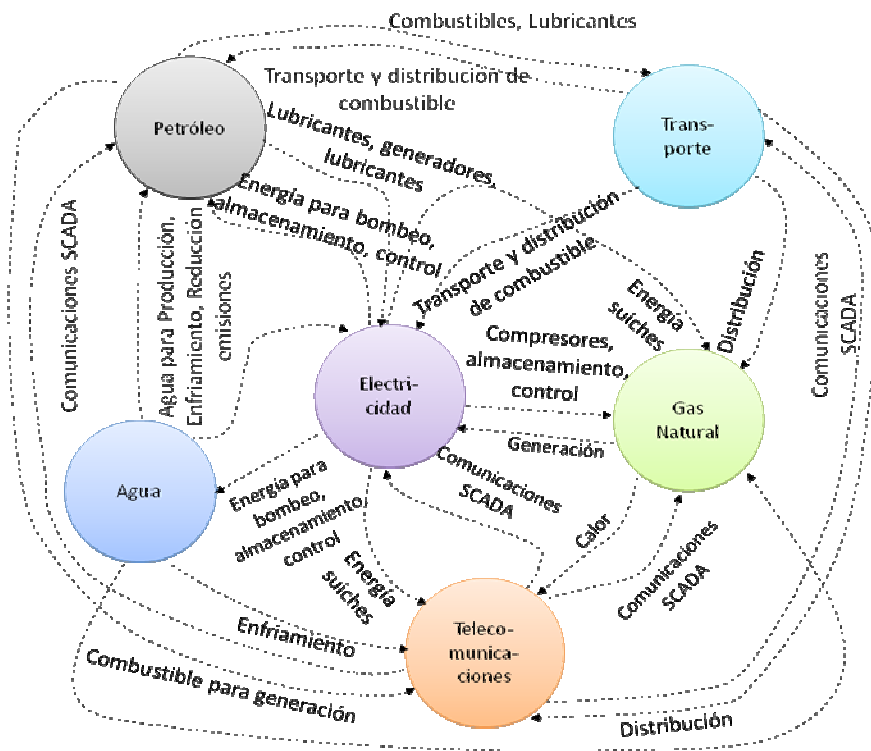


Figura 63. Interrelación del sistema energético y otras infraestructuras críticas

Hay que tener en cuenta que las vulnerabilidades y sus consecuencias no son obvias por completo. La identificación de las amenazas debidas a personas malintencionadas, son distintas a las amenazas debidas a fenómenos naturales (huracanes, terremotos, incendios y otros desastres).

El aumento en los requerimientos de seguridad en países de Europa y Norteamérica., también aumenta la volatilidad del entorno económico, y las empresas de servicios públicos procuran moverse rápidamente en torno al mejoramiento de su seguridad, teniendo en cuenta que se trata de una infraestructura tan vasta, que es imposible de cuidar al 100%.[60]. Existe una alta vulnerabilidad del sistema energético en aquellos nodos donde un daño pueda extenderse y causas apagones a lo largo de una región o de uno o varios países. El nivel de amenaza, sin embargo, es difícil de valorar, hasta que se logre un nivel mayor de coordinación entre los sectores públicos y privados.

C. PROTECCIÓN DE INFRAESTRUCTURA CRÍTICA

Como se ha indicado previamente, los ataques a la infraestructura energética impactan significativamente el funcionamiento de los gobiernos y del sector productivo nacional, con los consecuentes efectos en cascada, que van mucho más allá de la región afectada donde se ubica físicamente el incidente. Las políticas de seguridad nacional, enfatizan actualmente en las cuestiones de seguridad energética debido a los efectos de que una falla del aseguramiento energético puede tener sobre la economía, la salud, la seguridad pública y el medio ambiente. La relación entre el sistema energético del país y otras áreas son elocuentes y merecen la mayor atención. [16]

En el ANEXO 10: PLANES DE PROTECCIÓN DE INFRAESTRUCTURAS, se presentan los principales planes acogidos por los gobiernos de EEUU y de la UE, como parte de su estrategia en protección de infraestructura crítica y recursos claves.

Los ataques atribuidos directamente a desastres naturales, a causas artificiales, a los riesgos tecnológicos pueden producir pérdidas catastróficas en términos de pérdidas de vidas humanas, destrucción de la propiedad, y los efectos económicos, así como un

profundo daño a la moral pública y la confianza.

Es imprescindible mejorar la inteligencia entre las fuerzas de seguridad, en conjunto con la aplicación de las leyes locales y nacionales, las agencias de inteligencia, y las asociaciones legales. Solamente a través de una mayor coordinación de las capacidades en las diferentes fuerzas del orden, es posible reunir la información de inteligencia que permita determinar efectivamente las amenazas sobre el sistema energético [16].

Surge la inquietud acerca de cuál es la probabilidad que cualquiera de las infraestructuras que soportan el sistema energético de un país, pueda salir de funcionamiento de manera inesperada durante los próximos meses. Algunos centros estudian estas cuestiones y presentan sus resultados, pero la respuesta final es que nadie sabe. Aún no existen los factores de inteligencia que permitan cuantificar estas situaciones, de manera que no se puede hablar de manera exacta, sino de una probabilidad.

En efecto, los precios volátiles de la energía y la geopolítica del suministro de energía han hecho que grandes potencias mundiales, como los Estados Unidos, la Unión Europea y las economías emergentes, sean hoy más vulnerables que en cualquier momento en décadas pasadas [60]. Entre otros temas, ahora también se reconoce la necesidad de involucrar a los organismos nacionales de inteligencia, para prestar más atención a esta temática de interés nacional.

El gobierno de los Estados Unidos lanzó el programa de protección y garantía de la resistencia de la infraestructura crítica y recursos clave, como un conjunto de procedimientos esenciales para la seguridad, la salud y la seguridad pública, la vitalidad económica, y la forma de vida de sus habitantes [68], cuya estrategia queda resumida en el documento NIPP [68].

Igualmente, el Consejo Europeo, plasmada en la Comunicación del Julio de 2004, sobre protección de las infraestructuras críticas en la lucha contra el terrorismo, en la que se formulan propuestas para mejorar la prevención, preparación y respuesta de Europa frente a atentados terroristas que afecten a infraestructuras críticas, contenido en el libro verde sobre un programa europeo para la protección de infraestructuras críticas [8], que finalmente se convirtió en la directiva 114 de 2008 [16].

17. ANEXO 8: LA ECONOMÍA DE LA ENERGÍA

Cuando se empezó a utilizar por primera vez el petróleo con fines industriales, en la década de 1890, la población mundial consistía en 1500 millones de personas, y barcos de vela todavía surcaban los mares junto a los barcos de vapor. Desde entonces, la población mundial se ha cuadruplicado, la economía global es 20 veces mayor y el uso de la energía se ha multiplicado por más de 40. [60]

Todos somos conscientes de los beneficios obtenidos por esta explosiva liberación del potencial humano. Para poder apreciar la fragilidad que pone en peligro la persistencia de tal abundancia, deberemos comprender el papel que la energía representa actualmente en la conformación de la sociedad.

En la medida que las economías de los Estados, se integran cada vez, como ocurre con la implementación de los acuerdos de la OMC, o el resultado de la aplicación de la Unión Económica y Monetaria en Europa, y la consiguiente necesidad de la unificación y de una integración más profunda, es necesario acoger la armonización, coordinación y unificación de los marcos regulatorios y políticas. [6]

En un período de creciente dependencia de las importaciones de combustibles fósiles (petróleo, gas, carbón), en el que existe la obligación de reducir las emisiones de CO₂ en las próximas décadas, los problemas pueden surgir que requieren una evaluación de las actuales políticas de los países de la OCDE y una reconsideración de las posibles estrategias para mantener la seguridad del suministro energético. [6]

Adicionalmente, a la fecha, a pesar del impacto en la contracción de algunas economías durante el año 2009, el consumo y las importaciones de productos derivados del petróleo seguirán aumentando, mientras que la mayor parte de la producción de crudo continuará concentrada. Es evidente que los países consumidores responderán a la evolución de la situación, mediante la adopción de políticas que los estados eviten el aislamiento unos de otros. Los países consumidores pueden participar en la competencia agresiva por el control de los recursos energéticos, o probablemente adoptarán un cierto grado de cooperación entre países consumidores y productores. En teoría, la diversificación, por fuente y origen serán componentes importantes de la política energética en muchos países, mientras que las acciones de eficiencia energética continuarán ofreciendo oportunidades para reducir la dependencia de las importaciones de energía. [6]

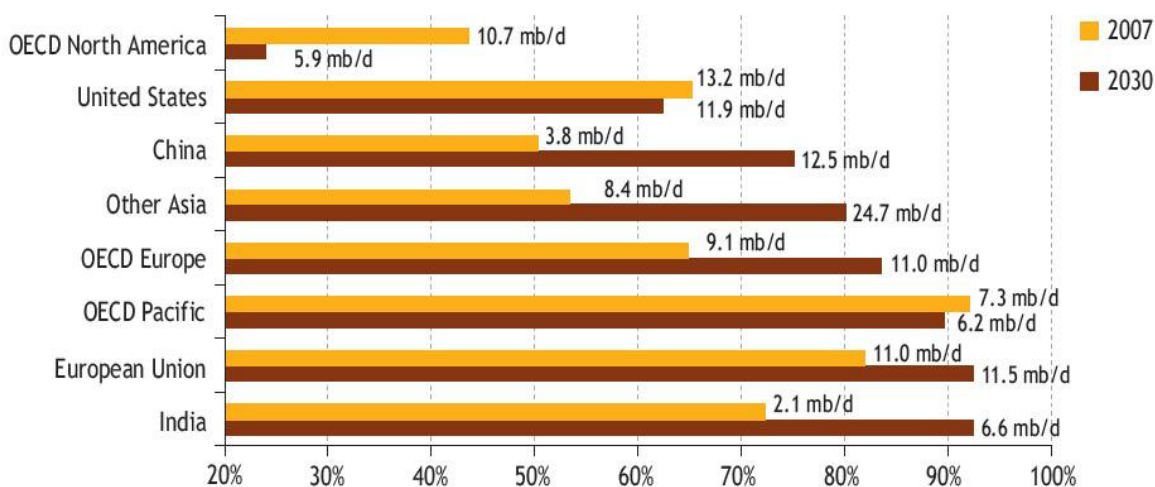


Figura 64. Proyección de la dependencia de importación de petróleo en las principales regiones mundiales. Fuente: IEA [42]

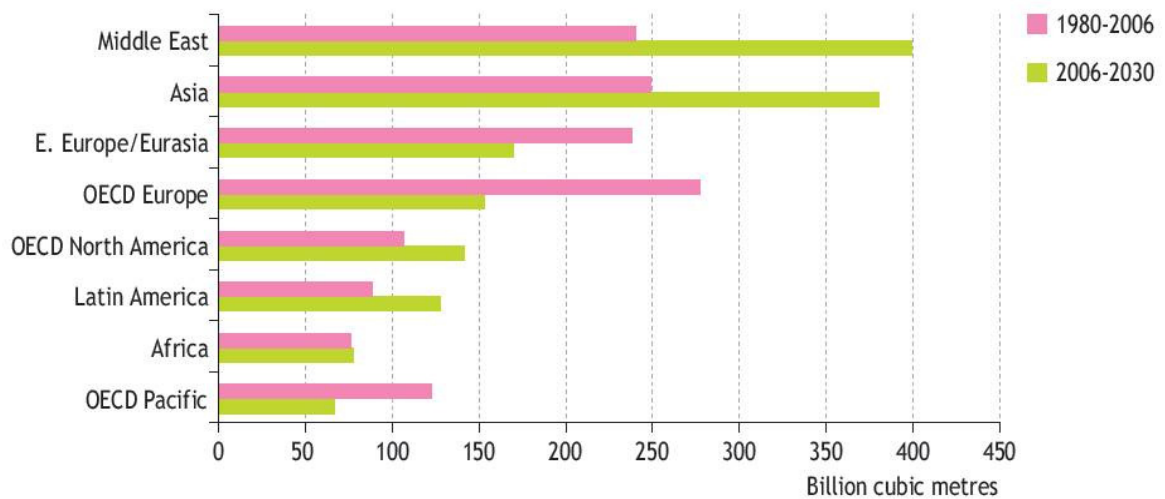


Figura 65. Proyección de la dependencia de importación de gas natural en las principales regiones mundiales. Fuente: IEA [42]

En todas las economías, la energía es un factor clave para la producción intermedia. Desempeña un papel dominante en la provisión de transporte y movilidad y es un vector de consumo de gran relevancia. Particularmente, en los países industrializados el uso de los vectores energéticos se combina con bienes de capital e infraestructura específica como son las plantas industriales o los automóviles. [58]

A. CONCEPTO DE PRESUPUESTO ENERGÉTICO

La complejidad social se basa en la energía excedentaria. Las sociedades que pierden complejidad sin desearlo, son claramente lugares poco agradables para vivir. Por tal motivo es primordial determinar cuál es nuestro excedente de energía y de dónde procede. [60]

La noción de Presupuesto Energético se puede hacer una relación análoga con el concepto de presupuesto doméstico, con la diferencia que no se utilizan valores monetarios en su ecuación. Funciona de la siguiente manera:

En cualquier momento dado, existe una cantidad definida de energía disponible para el uso que uno quiera darle. Sin embargo, si queremos disponer de más energía al año siguiente, es obvio que se debe invertir parte de la energía actualmente disponible, para encontrar más energía. La Figura 66 permite esquematizar de manera simple el concepto de presupuesto energético en cualquier sociedad. [60].

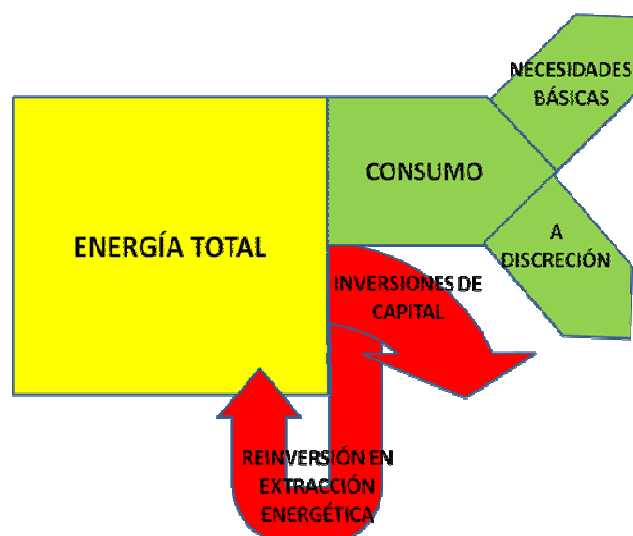


Figura 66: Esquema de Presupuesto Energético en la Sociedad

Pero adicionalmente, se debe invertir en la construcción y mantenimiento de la infraestructura que se necesita, con la finalidad de acumular y distribuir energía, y así mantener una sociedad compleja. Se trata de carreteras, oleoductos, torres de energía, edificios, etc. El resto de la energía se dejará para el consumo, con el fin de atender necesidades básicas, tales como agua, alimentos, vivienda, comunicaciones, etc. Y otra parte de este balance energético, podrá ser utilizado por la sociedad para consumir a discreción, ya se trate de viajes de placer, fiestas, etc.

Para simplificar esto un poco más, se puede dividir el concepto de presupuesto energético en dos grandes bloques, como se ilustra en la Figura 67. La energía que debe reinvertirse para mantener todo el sistema energético en marcha, se presenta en rojo, y en verde, se presenta el excedente energético requerido para suplir los demás requerimientos de funcionamiento de la sociedad.

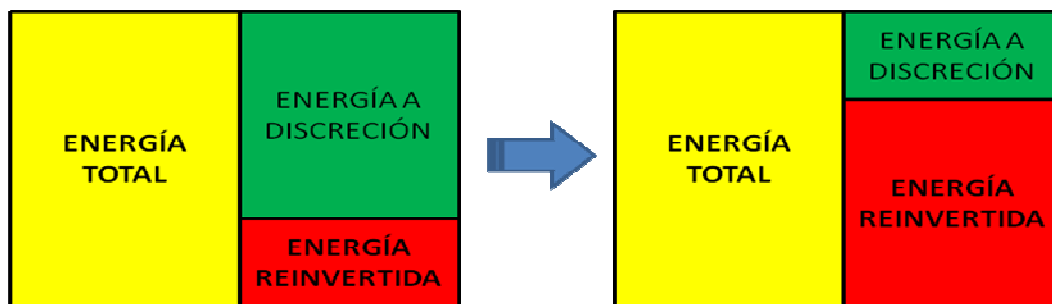


Figura 67: Esquema simplificado de Presupuesto Energético en la Sociedad

Si por alguna razón, la energía a discreción usada por la sociedad se limita a mantener sus necesidades básicas, la vida de las personas se verá simplificada por la fuerza, dada la imposibilidad de costearse ciertos su estándares de vida.

B. CONCEPTO DE ENERGÍA NETA

El concepto de *Energía neta* se calcula como la razón entre la *Energía Obtenida* y la *Energía Invertida*.
$$\left(\text{Energía Neta} = \frac{\text{Energía Obtenida}}{\text{Energía Invertida}} \right)$$

Así por ejemplo, si para la extracción de 100 barriles de petróleo de un pozo, se invierte 1 barril, entonces se puede afirmar que la Energía neta es del 99%. Este concepto también es ampliamente reconocido en la literatura especializada como EROEI (energy returned on energy invested) [8].

Este concepto es fácil de visualizar, según se expone en la Figura 68, tomada de [9]. La parte roja de este gráfico es la cantidad de energía invertida, mientras que la parte azul, corresponde a la energía obtenida o energía neta, que también se pudiera denominar como la energía excedentaria disponible para la sociedad. En este gráfico la Energía Obtenida más la Energía Invertida siempre suma el 100%.

Por supuesto, esta energía excedentaria, es la que sustenta todo el crecimiento económico, el desarrollo tecnológico y en general, la riqueza y complejidad de la actual sociedad.

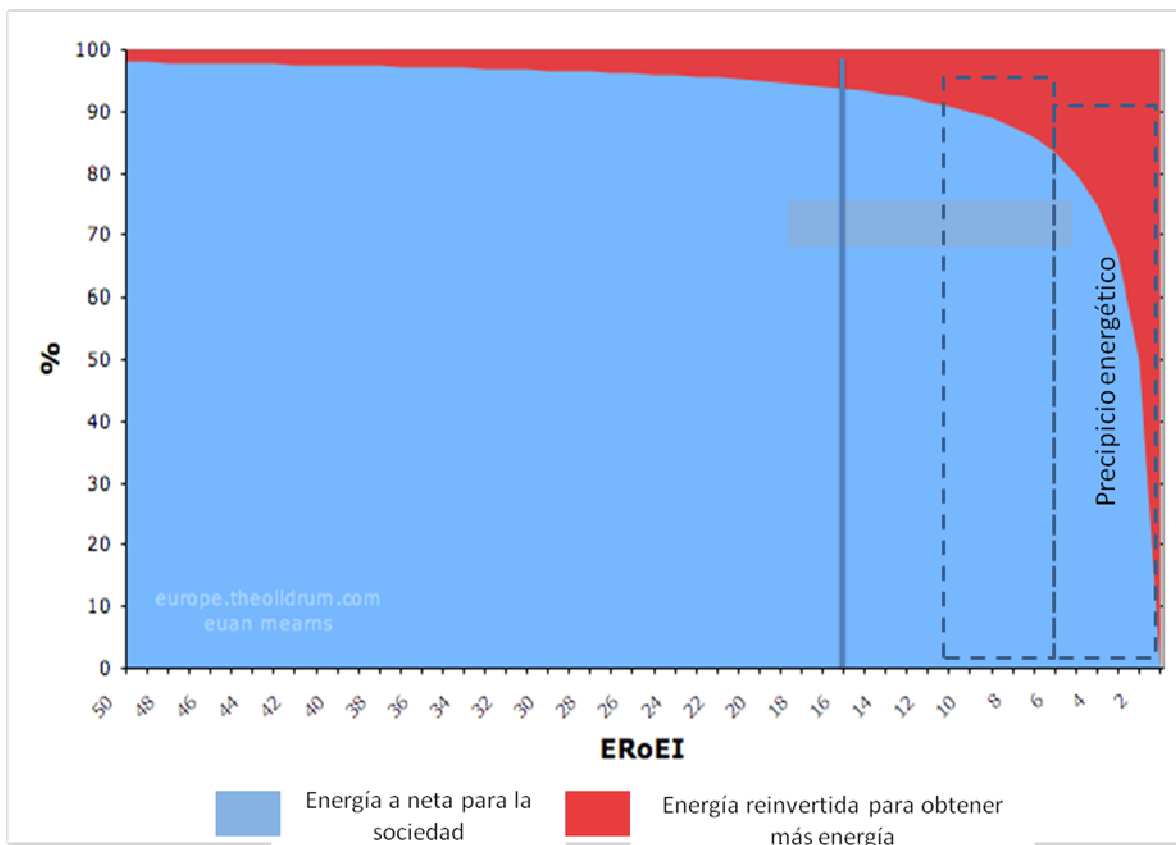
Sin embargo, vale la pena identificar qué ocurre entre las unidades energéticas 10 y 5 de la abscisa en la Figura 68, pues la energía neta disponible para la sociedad empieza a disminuir exponencialmente. Por debajo de la unidad energética 5 de dicha figura, ocurre la energía neta disminuye hasta prácticamente volverse 0. A esta situación se le conoce como precipicio energético [9]. En este punto, cuando se invierte una unidad de energía, para obtener una unidad de energía, entonces el excedente energético es cero, y ya no vale la pena molestarse en obtenerla.

Ahora bien, es posible traducir nuestra experiencia con energía neta, en lo que respecta al

petróleo. En 1930 las estimaciones eran que por cada barril de petróleo, utilizado para explotar los yacimientos, se producían 100 barriles, lo cual significaba que la energía neta era de 100 por 1. En 1970, los yacimientos eran mucho menores, y el petróleo, con frecuencia más profundo y difícil de extraer, por lo que la energía neta extraída era de 25 barriles por cada 1 utilizado para extraer el petróleo [60]. Aún así, esta es una buena relación, y se generaba una buena disponibilidad de energía excedentaria para la sociedad.

En la década de 1990 esta tendencia continuaba, y la energía neta, se colocaba en una relación de 18 a 10 barriles disponibles, por cada barril de petróleo invertido en su extracción [29]. Hoy en día, se estima que el petróleo extraído en fechas recientes está arrojando una energía neta de sólo 3 barriles por cada barril utilizado para la extracción. [60]

Ante la pregunta de por qué ha disminuido tanto la energía neta, se debe tener en cuenta que en el pasado se necesitaba una cantidad escasa de energía, con la cual se podía crear una plataforma de extracción en yacimientos masivos, abundantes y relativamente poco profundos. Ahora se necesita mucha más energía, para encontrar energía. Los barcos y las plataformas utilizadas actualmente, son descomunales cuando se comparan con las pequeñas plataformas de los años 1930's, y además se necesitan explorar pozos mucho más profundos y pequeños, todo lo cual afecta enormemente el valor de la energía neta.



Finalmente, otras fuentes de energía como los biocombustibles, y en el caso específico del metanol que puede obtenerse de la biomasa, exhibe una energía neta de 3, la energía neta del biodiesel es de aproximadamente 2, y la del etanol de maíz, es menor o igual a 1.1. [9]

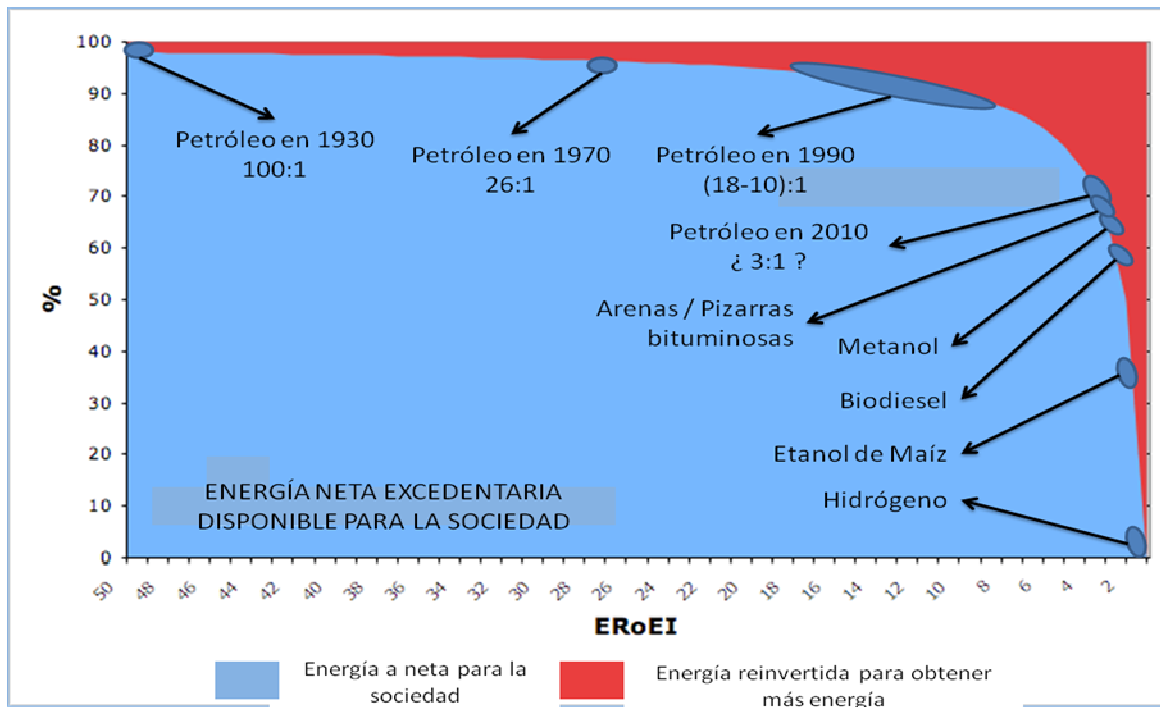


Figura 69: Energía neta de los combustibles carburantes, fuente [9]

De la Figura 69, se deduce que una buena parte de las alternativas energéticas de combustibles líquidos actuales, están ubicadas en algún lugar del precipicio energético. A menos que se encuentre la manera de incrementar la energía neta de esas opciones, simplemente encontraremos cada vez menos energía excedentaria para las necesidades básicas de la sociedad, y para el uso a discreción.

Algunos críticos alegan que existen cantidades abundantes de petróleo en yacimientos como las arenas bituminosas, las pizarras bituminosas presentes en Norteamérica, Rusia y Kazajstán, así como los crudos extrapesados existentes en Suramérica, como se aprecia en la Figura 70. Hay que tener en cuenta que la energía neta de estos yacimientos es relativamente baja y no es de ninguna manera comparable con la energía neta de los yacimientos que existen actualmente en países como Arabia Saudita. [60]. Además, los costos medioambientales y los altísimos consumos de agua, requeridos para explotar estos yacimientos son inquietantemente altos.

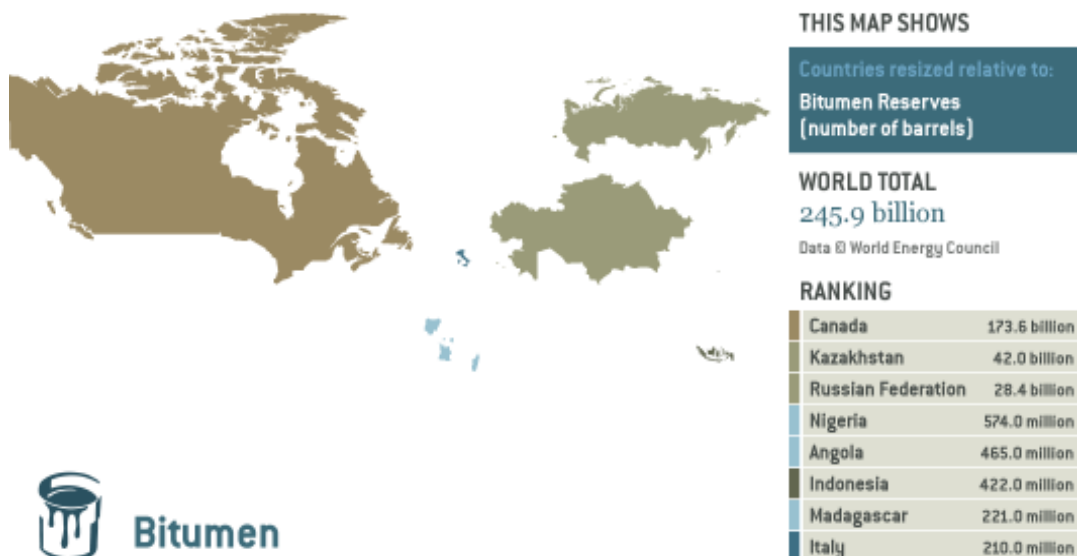


Figura 70: Yacimientos mundiales de arenas Bituminosas, fuente [59]

Las alternativas de energía solar y eólica, son capaces de producir cifras bastante altas de energía neta, convertida directamente en electricidad. Al día de hoy, dicho vector energético, no está adaptado a las infraestructuras y al estilo de transporte de la sociedad, fundamentado en combustibles carburantes líquidos. [60]

En conclusión, cuanta menos energía excedentaria exista, menos compleja puede ser la sociedad. Bajo el régimen del petróleo, la sociedad actual se ha vuelto más compleja y avanzada. Es probable que de adoptar regímenes energéticos menos eficientes como biocombustibles de etanol, la sociedad se impacte con la desaparición de la complejidad de su estructura, por la desaparición de puestos especializados en la sociedad moderna, dado que el etanol y otros combustibles de baja energía neta, son incompatibles con el actual estilo de vida de la población. [60]

C. ENERGÍA Y ECONOMÍA

La existencia de una energía barata y eficiente, basada en los combustibles fósiles, ha permitido un desarrollo económico constante durante las últimas décadas. Esto podría resumirse con la siguiente fórmula:

$$\text{Energía eficiente} = \text{Desarrollo económico}$$

El economista Peter Schiff define la economía como la ciencia de satisfacer demandas ilimitadas con recursos limitados [80]. Si le diesen a escoger, la mayoría de los seres humanos preferirían vivir según los estándares de vida de los países más ricos. Pero está claro que este deseo no es posible, incluso con la superabundancia de energía excedentaria que vivió la humanidad hasta el siglo XX.

Sin embargo, el actual modelo energético comienza a no ser sostenible. Nos enfrentamos a una situación que no puede perdurar en el tiempo: en primer lugar, por la dependencia casi exclusiva de fuentes energéticas finitas y, en segundo lugar, por los efectos dañinos que producen en el medio ambiente. Hemos sido lo suficientemente afortunados como para disponer de cantidades ingentes de energía excedentaria con la cual trabajar. Esto no tendría nada de malo, de no ser porque la disponibilidad de la mayoría de los recursos energéticos presentes en la tierra, son de cantidades finitas.

M. King Hubbert ([33], [34]) descubrió a mitades de los 50 que la evolución de la producción de distintos combustibles fósiles seguían patrones muy similares. Las curvas aumentaban despacio al principio y luego aumentaban más rápido, tendiendo a un aumento exponencial con el tiempo, hasta que finalmente se llegaba a un punto de inflexión, donde la curva seguía el mismo comportamiento, pero de forma decreciente. Las tendencias observadas están basadas en el hecho de que ningún recurso finito puede sostener tal grado de aumento; por tanto aunque las tasas de producción tiendan a aumentar exponencialmente, los límites físicos restringen este comportamiento. Valero [91] aplicó el modelo de Hubbert a la extracción del petróleo y otros minerales energéticos y no energéticos, requeridos en la vida diaria de la población humana. De acuerdo con esto, este modelo revela que el pico de producción de carbón se alcanzará en el año 2060, el de gas natural en el 2023 y el pico de petróleo ocurrió en el 2008. Este último valor se ajusta muy bien con las predicciones de otros autores, que estimaron que el pico llegaría entre el 2004 y el 2008. Además, da sentido al aumento radical de los precios del petróleo registrados en los años 2008 y 2009. Igualmente, para minerales no energéticos, el pico de producción, de hierro, aluminio y cobre se alcanza en los años 2068, 2057 y 2024, respectivamente.[91].

La Figura 71 resume dichos resultados, de los principales minerales extraídos en la tierra. Como puede verse, el carbón, hierro y aluminio son los minerales que poseen los menores problemas de escasez. En el otro extremo se encuentran los minerales de petróleo, gas natural y cobre. Estos valores asumen que no se encontrarán más reservas en el futuro. Obviamente los números pueden variar si se realizan nuevos descubrimientos.

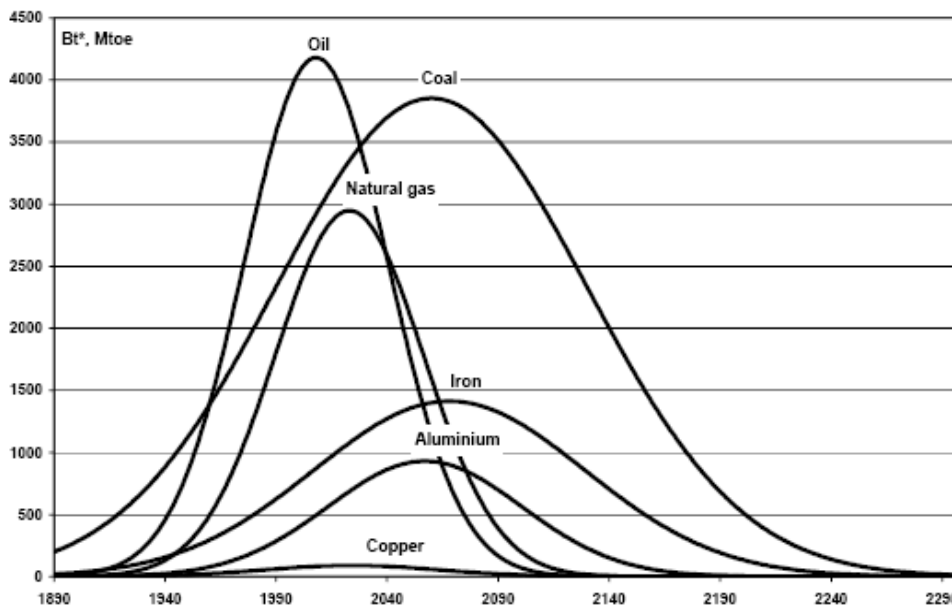


Figura 71: Curva de Hubbert para los principales minerales extraídos en la tierra. Fuente [91]

Sin temor a equivocarnos, la expansión exponencial de la población y del sistema monetario, han estado ligados totalmente al uso de la energía derivada del petróleo [60], lo cual da lugar a formularnos las siguientes preguntas:

- ¿Nuestro sistema económico y monetario, de tipo exponencial, son únicamente un artificio debido al petróleo?
- ¿Qué ocurrirá con nuestro sistema monetario, fundamentado en una expansión exponencial, cuando sea evidente la escasez del petróleo?
- ¿Podrá la economía seguirse soportando en la energía excedente, que cada vez es más escasa?

Son preguntas muy pertinentes que merecen respuestas adecuadas. En opinión de Martenson [60], la inestabilidad financiera experimentada a partir de los años 2008 y 2009, se debe, al menos en parte, a los primeros balbuceos de este proceso.

No es coincidencia que los bancos centrales de todos los países, alcanzaran su madurez de manera simultánea con la aparición de una fuente de energía exponencialmente explotable, convirtiéndose en los entes económicos más respetados del planeta. El hecho de distribuir participaciones cada vez mayores de dinero durante un periodo de crecimiento constante, es una tarea agradable que goza de gran apoyo político y popular.

Para cualquier nación, el fin del petróleo abundante y barato, significará una reducción mantenida y permanente del dinero disponible para sus ciudadanos, pues se exigirá una proporción cada vez mayor del presupuesto destinado a la adquisición de más petróleo.

Existen unas certezas, que pueden convertirse en riesgos. La Figura 72, corresponde a un resumen de lo que se explicó anteriormente.

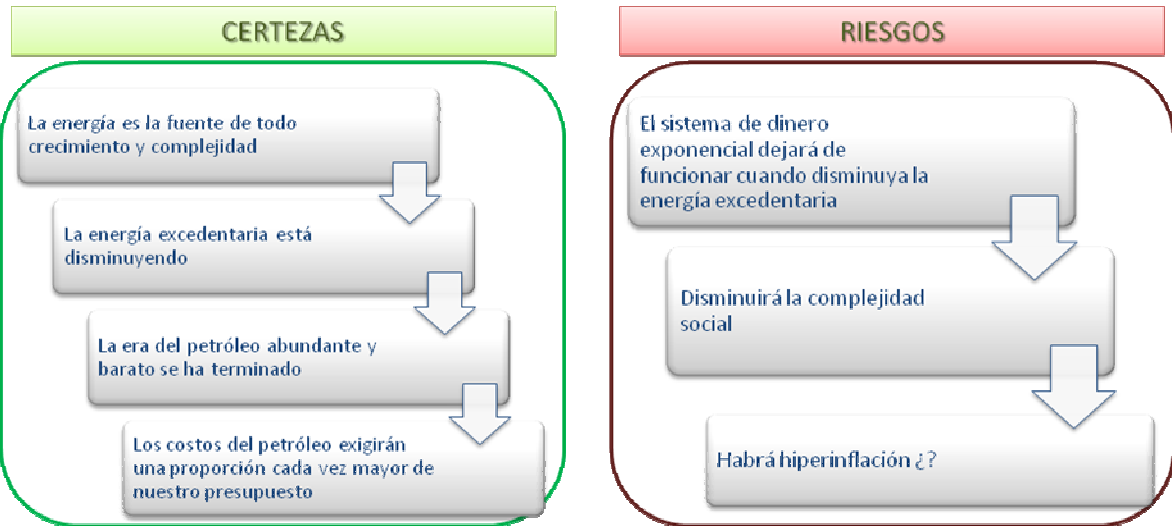


Figura 72: Certeza y riesgo de la relación economía-energía

Finalmente, en opinión de Martenson [60], las siguientes son las condiciones que se mantendrán, en la relación economía-energía, para las décadas venideras, sobre la base de la información anteriormente expuesta:

- Se mantendrá el Statu Quo, donde los bancos centrales inyectan cada vez más dinero, con la necesidad de adecuar las estadísticas al sistema económico.
- Se predice hiperinflación, puesto que el respaldo detrás sistema económico, en este caso, el excedente energético, será menor y cada vez, más escaso.
- El nivel de vida de la sociedad bajará.
- Finalmente, en opinión de Martenson [60], las siguientes son las condiciones que se mantendrán, en la relación economía-energía, para las décadas venideras, sobre la base de la información anteriormente expuesta:

Nos enfrentamos a una economía de escasez, con recursos minerales cada vez más limitados y difíciles de extraer. La escasez implica que no pueden conseguirse suficientes recursos para producir lo suficiente como para cubrir todas las necesidades. Alternativamente, la escasez implica que no pueden conseguirse todos los objetivos de la sociedad a la vez, de manera que debe seguirse una política de prioridades.

La escasez surge de la interrelación de las necesidades humanas y los recursos disponibles para satisfacerlas. Las necesidades humanas por consumir bienes y servicios exceden a la cantidad que la economía puede producir con los recursos disponibles quedando siempre necesidades insatisfechas.

En nuestro planeta, la población aumenta en 70 millones de habitantes cada año. El plan de seguir consumiendo como se hace ahora, mientras la población crece a un ritmo de 50% en los próximos 40 años, es irrealizable. Nos enfrentamos al problema de cómo vivir en un mundo, cuyos recursos se agotan, al tiempo que la población aumenta a una tasa exponencial. De mantenerse el actual Statu Quo, en el cual el sistema monetario exige el crecimiento exponencial, nos veremos forzados a cambiar involuntariamente en el futuro. [24]

Nuestro auténtico desafío consiste en adaptarnos a un mundo obligado a decrecer, en la cual se destinará mayor cantidad de energía para gestionar cuidadosamente la que tenemos.

En resumen, la economía debe crecer para sostener un sistema monetario que se expande exponencialmente, pero a esto se opone un sistema energético incapaz de crecer. Ambos

sistemas están vinculados a un mundo natural al borde del colapso (por el conocido estrés que la explotación humana genera sobre el planeta).

Para bien o para mal, nos toca vivir uno de los periodos más trascendentales en la historia de la especie humana. ¿Cuál es el papel que nos gustaría representar? ¿Deberíamos vivir acosados por el miedo, o desarrollar un sentido de la responsabilidad?

La única manera que un obstáculo se convierta en infranqueable es dejarlo crecer, sin hacer nada, ante lo cual es el momento de decidir un plan de acción para hacerle frente.

18. ANEXO 9: LA GEOPOLÍTICA Y SU RELACIÓN CON LA SEGURIDAD DEL SUMINISTRO ENERGÉTICO

La mayor parte de la literatura sobre geopolítica y aseguramiento energético, recomienda convertir el tema del suministro energético, como estrategias nacionales, dentro de las políticas de comercio exterior y seguridad nacional. [8], [60], [87], [88], [89].

Nos encontramos ante un panorama que debe ser abordado con celeridad si se quiere satisfacer las necesidades energéticas de hoy asegurando las de mañana. Para ello se deben adoptar varias medidas o comportamientos que competen a las empresas, a los gobiernos y a cada uno de los ciudadanos con el fin de mantener el equilibrio entre la oferta y la demanda de energía.

El protagonismo del petróleo, sobre el que gira el modo de vida actual, principalmente el transporte y las numerosas aplicaciones industriales de sus derivados, convierte en imprescindible su suministro continuo. El gas natural y el carbón, por su parte, siguen siendo las principales fuentes para la producción de la electricidad, tan necesaria en cualquier actividad.

La gran ventaja que presentan estos combustibles es el alto grado de rendimiento que ofrecen a un coste bastante bajo. Gracias a ellos se ha conseguido un avance sin precedentes en la historia humana, pero su gran inconveniente es su condición de fuentes de energía no renovables, es decir, algo que ha tardado en formarse miles de años se consume en minutos. A esto hay que sumarle la desventaja de que se trata de una energía que se obtiene por combustión, un proceso en el que se forman grandes cantidades de dióxido de carbono (CO₂) y de otros gases contaminantes que se emiten a la atmósfera.

Además, en el plano estratégico, los combustibles fósiles generan dependencia exterior, ya que existe un número limitado de países con estos recursos naturales, al tiempo que no favorecen la innovación, puesto que la tecnología utilizada es en su mayor parte importada.

A. DESAFÍOS Y ÁMBITOS DE ACTUACIÓN

La situación actual de la energía presenta dos desafíos energéticos derivados de la insostenibilidad del modelo existente: garantizar el suministro energético y respetar el medio ambiente.

La primera de las cuestiones, la seguridad del suministro energético, produce una creciente preocupación ante el horizonte de oferta y demanda que plantean los expertos. Si los gobiernos continúan con las políticas vigentes, las necesidades energéticas del mundo serán un 60% más alta en el año 2030. Los combustibles fósiles continuarán dominando el panorama energético, provocando la mayor parte del incremento en el uso energético, y las aportaciones de la energía nuclear y las fuentes energéticas renovables seguirán siendo limitadas. Ante tal escenario, todo hace pensar que el suministro energético podría no estar garantizado.

No obstante, muchos países ya han comenzado a otorgar gran importancia en sus agendas políticas al aseguramiento energético como consecuencia de esta situación de incertidumbre caracterizada por los siguientes factores: [60]

- Precio del petróleo elevado y volátil que repercute directamente en el crecimiento económico de los países.
- Creciente demanda energética de fuentes no renovables intensificada por el auge económico de nuevos competidores con inmensas poblaciones (China, la India, Brasil, entre otros.).

- Aumento de la dependencia de importaciones energéticas para el abastecimiento de numerosos países.
- Inestabilidad política de grandes productores de combustibles fósiles, desastres naturales como el huracán Katrina y otras amenazas.

Algunas de las medidas que se pueden abordar son las siguientes: [60]

- Asegurar el comercio internacional de energía, entendiendo que ningún país puede alcanzar la autosuficiencia energética.
- Buscar la máxima diversificación de las fuentes de suministro y de la infraestructura requerida.
- Reducir la volatilidad y el riesgo existentes adaptando la dirección de la Agencia Internacional de Energía.
- Propiciar desde los gobiernos a la sociedad y al sector privado a ser más eficientes energéticamente y a que innoven y desarrollen nuevas tecnologías.

En este contexto, debe proponerse una nueva cultura de sostenibilidad energética que permita garantizar el bienestar medioambiental de las futuras generaciones. Este nuevo modelo debe estar basado en tres pilares principales: [60]

- La “descarbonización” del actual consumo de energía con el reforzamiento y la concesión de incentivos al uso de fuentes de energía renovables.
- El fomento de una mayor eficiencia energética que implique la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero.
- El conocimiento y la concienciación global sobre el problema medioambiental y las consecuencias de su no resolución.

B. ÁMBITOS DE ACTUACIÓN

Cumplir los dos desafíos energéticos exigirá una serie de medidas que deben adoptarse desde cinco perspectivas distintas: Tecnológico, medioambiental, social, político, económico [60], dependiendo si es necesario actuar desde el punto de vista de la oferta o desde el punto de vista de la demanda energética.

Sólo con la actuación conjunta y coordinada en todos estos aspectos se puede conseguir una suma de esfuerzos dirigidos a la consecución de los desafíos energéticos.

1. Perspectiva económica

La disponibilidad y el coste de la energía influyen decisivamente en el crecimiento económico debido a la alta dependencia de la energía que presentan las actividades económicas. Por esta razón, el factor económico es el que domina tanto del lado de la oferta como del lado de la demanda. La apertura a un nuevo mercado en el que la inversión pública y la privada intervienen conjuntamente debe marcar la transición hacia una energía eficiente y limpia.

Mediante este tipo de iniciativas se procura blindar el sistema energético y de infraestructura crítica contra riesgos y amenazas. Es evidente la interdependencia económica entre cada uno de los sectores.

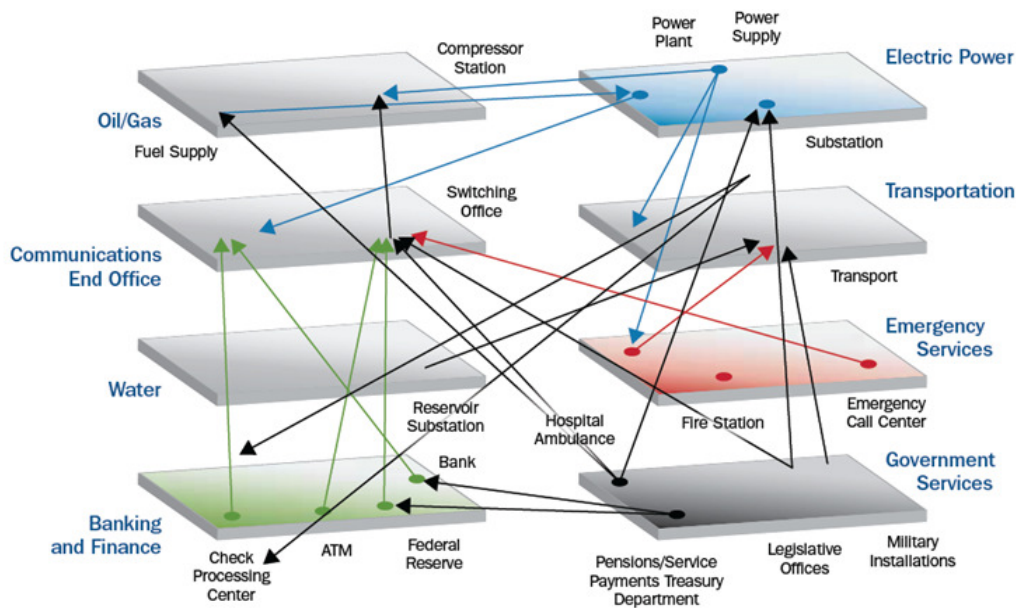


Figura 73: Interdependencias a través de la economía

2. Perspectiva política

El segundo aspecto más relevante en la oferta energética es el político. Los gobiernos tienen en su mano la capacidad de establecer relaciones comerciales duraderas para garantizar la estabilidad del suministro energético. Además, es necesario que comiencen a tomar medidas legislativas para conseguir un mayor apoyo en el desarrollo de las energías limpias sin fomentar la dependencia de combustibles fósiles contaminantes para el medio ambiente.

La recomendación de incluir el tema energético en las agendas de comercio y política exterior, se basa en el hecho que la dependencia de energías importadas aumentará sustancialmente en las próximas décadas [8] y que el flujo ininterrumpido de energía dependerá principalmente de la estabilidad política y económica de las regiones productoras. Sin embargo, la conclusión es que la energía en gran medida determinan las relaciones exteriores en el futuro.

En el caso particular de los países que conforman la Unión Europea la formulación de políticas continentales pueden oponerse a los intereses particulares de una nación, en los que prevalecen compañías nacionales que dominan el sector estratégico de la energía. Por esta razón, la UE debería proceder a desarrollar una comprensión más clara de sus intereses vitales, en el mediano y largo plazo, y definir qué se necesita para servir a estos intereses. Alguna de estas necesidades quedaron incluidas en el libro verde [8].

No todas las regiones consumen lo mismo. De hecho, gran parte del aumento de los últimos años se ha producido en los países en desarrollo, particularmente en Asia. El consumo de energía en China, tras su entrada en la OMC, ha crecido espectacularmente y la economía rusa también ha experimentado importantes aumentos del consumo energético. Por su parte, las economías industrializadas, como la de Estados Unidos y las de los países europeos, representan más del 40% del consumo mundial. [38]

Debido a la dependencia de las importaciones de energía cada vez mayor de otras regiones consumidoras tales como los EE.UU., India, China y otros países asiáticos, las relaciones alrededor del tema energético estarán cada vez más politizadas. En otros países consumidores, la seguridad energética también se convertirá en una parte integral de su política exterior y de seguridad nacional. La competencia entre los países consumidores para el suministro de energía será más intensa que en las dos décadas anteriores. La

circunstancia de cambio tendrá necesariamente un impacto en las relaciones económicas y políticas internacionales en el mundo [8].

En consecuencia, la generación de políticas comerciales, deberán orientarse a facilitar una mayor integración de los mercados. En cumplimiento de este propósito es fundamental mantener buenas relaciones con países productores de gas, petróleo, lo cual constituye una condición importante en el logro de un nivel aceptable de seguridad para el abastecimiento energético. [8]

En el rumbo geopolítico hacia el 2020, es probable que aumente la probabilidad de acontecimientos que afectan a la seguridad energética, dada la mayor vulnerabilidad percibida a nivel social [29]. Como elementos fundamentales de seguridad energética, se cuentan las reservas estratégicas, la política exterior y la estrategia de seguridad.

La efectividad de las herramientas de políticas depende no sólo de la capacidad para usar la infraestructura energética nacional, de los factores técnicos y operacionales, de las instalaciones de transporte, del clima de inversión, ni la disponibilidad de gas y petróleo extranjero. Esta efectividad también depende del entorno geopolítico, pues dada la rápida evolución en las relaciones políticas y económicas, no es suficiente con un simple enfoque estático a la seguridad energética.

El aseguramiento del suministro energético requiere un comercio externo muy dinámico. En el caso europeo, esta política exterior y de seguridad está particularmente orientada hacia el norte de África, el Golfo Pérsico, la región del Mar Caspio y Rusia y demás regiones productoras, con las cuales es posible fortalecer la oferta de petróleo y gas a largo plazo. Cabe anotar la dificultad que esto representa, dado actual panorama de inestabilidad asociado a estas regiones.

3. Perspectiva Tecnológica

La tecnología también tiene un papel relevante en cuanto a su impacto en la mejora del suministro energético actual: nuevos avances tecnológicos permiten alargar el tiempo estimado de las reservas de combustibles fósiles, pero esto es tan sólo una solución temporal; el mayor reto al que se enfrenta la tecnología es desarrollar nuevas fuentes que permitan el abastecimiento energético mundial respetando el medio ambiente.

En concepto de la IEA [40], aunque la tecnología plantea enormes posibilidades de cara al futuro, si queremos aprovechar el potencial de las tecnologías actuales y emergentes y reducir el impacto de la dependencia en los combustibles fósiles sobre la seguridad energética y el medio ambiente, es necesario actuar ya. Los *Escenarios de Tecnologías Aceleradas* (ACT) demuestran que, empleando tecnologías existentes o emergentes, el mundo se podría encaminar hacia un futuro energético mucho más sostenible. Los escenarios demuestran cómo se puede lograr que las emisiones de CO₂ relacionadas con la energía disminuyan a los niveles registrados actualmente en el horizonte de 2050 y cómo se puede moderar el crecimiento de la demanda de petróleo.

Existen muchas dudas sobre los próximos 50 años. Los escenarios ACT ilustran una serie de posibles resultados basados en supuestos que son más o menos optimistas con respecto a las reducciones en los costos alcanzadas por tecnologías como las fuentes renovables, la energía nuclear y el Ciclo Combinado en la generación de electricidad. A pesar de estas incertidumbres, para la IEA existen dos conclusiones principales: [40]

- **La primera**, que existen tecnologías que pueden hacer una diferencia durante los próximos 10 a 50 años.
- **La segunda**, que ninguna de dichas tecnologías puede hacerlo por sí sola. Perseguir el desarrollo de un abanico de tecnologías reducirá enormemente el riesgo y posiblemente los costos, si una o más tecnologías no lograsen el resultado esperado.

Las tecnologías clave que identifica la IEA por los escenarios que contribuyen a crear una

gama adecuada para asegurar un futuro energético sostenible, son: [40]

- **Eficiencia energética en los edificios, la industria y el transporte.**

En muchos países, se podría conseguir que los nuevos edificios fuesen 70% más eficientes que los actuales. Algunas de las nuevas tecnologías que pueden contribuir a dicha transformación todavía no se han comercializado, pero la mayoría sí. Actualmente, existen ventanas con un valor de aislamiento equivalente al triple del que lograban sus predecesoras. Las estufas de gasoil y de gas modernas han alcanzado una eficiencia del 95%. Los aparatos de aire acondicionado eficientes consumen entre 30 y 40% menos de energía que los modelos existentes hace diez años. La calefacción urbana, las bombas de calor y la energía solar permiten ahorrar energía. La mejora de la iluminación podría reportar rentables ahorros de entre 30% y 60%.

En la industria, hay enormes posibilidades de reducir la demanda energética y las emisiones de CO₂ mediante mayor eficiencia de los motores, las bombas, las calderas y los sistemas de calefacción; el aumento de la recuperación de energía en los procesos de producción; el incremento del reciclaje; la adopción de materiales y procesos nuevos y más avanzados; y el mejor uso de materiales. La IEA reporta que las fuentes más importantes de emisiones de CO₂ industriales son [40]: la industria del hierro y la del acero (26%), la producción de otros minerales como el cemento, el vidrio y la cerámica (25%), y los productos químicos y petroquímicos (18%).

- **Tecnologías limpias de tratamiento de carbón y de captura y almacenamiento de CO₂**

La aplicación principal de la captura y almacenamiento de CO₂ que provienen de la producción de electricidad a partir de combustibles fósiles. Aunque también se puede aplicar a otros sectores con altas emisiones, como la industria cementera, las refinerías, la siderurgia, la industria petroquímica, el sector de transformación del petróleo y del gas, etc.

La IEA predice un incremento importante de la demanda de energía primaria hasta 2030. En el sector de la generación eléctrica se espera que la demanda mundial se duplique, previendo la instalación de unos 5000 GWe de potencial adicional a la actual. Esta demanda que será cubierta con otras opciones (eficiencia energética y energías renovables), por lo que los combustibles fósiles seguirán siendo necesarios.

El IPCC recomienda la captura y almacenamiento de CO₂ como opción de política energética sobre acciones de mitigación de los gases de efecto invernadero, por su importante papel en la reducción de emisiones y por el desarrollo tecnológico y económico del sistema energético de los combustibles fósiles.

La Comisión Europea verá favorablemente el uso de ayudas estatales que cubran los costes adicionales debidos a la captura y almacenamiento de CO₂.

Hay una iniciativa del Parlamento europeo quiere que el CAC sea obligatorio para las nuevas plantas antes del 2030. Sin embargo, hasta el 2030 posiblemente no habrá instalaciones funcionando regularmente sino de demostración.

- **Generación de electricidad a partir de gas natural**

El porcentaje de gas natural utilizado en la generación de electricidad sigue siendo relativamente elevado en todas los escenarios de tecnologías aceleradas (ACT), representando entre 23% y 28% de la generación total en 2050. Esto supone un aumento superior al doble de la generación de electricidad a partir de gas respecto a los niveles de 2003. Hay amplias reservas de gas para satisfacer la demanda, pero muchos factores influirán en su disponibilidad real y en el precio. El gas natural emite sólo la mitad de CO₂, aproximadamente, que genera el carbón por kWh.

- **Generación de electricidad a partir de energía Nuclear**

La energía nuclear es una tecnología que no genera emisiones y que ha pasado por varias “generaciones”. En la década de los noventa, se desarrolló la “tercera generación”, con una serie de avances de seguridad y de economía, entre los que se incluye la “seguridad pasiva”. Once países, incluidos aquellos de la OCDE que cuentan con mayor generación nuclear, se han unido para desarrollar centrales nucleares de “cuarta generación”. Los tres obstáculos más importantes para seguir explotando la energía nuclear son sus elevados costos de capital; la oposición pública debido al peligro de accidentes nucleares y a las amenazas percibidas de los residuos radioactivos; y la posible proliferación de armas nucleares. El desarrollo de reactores de cuarta generación tiene por objeto resolver dichos problemas.

Suponiendo que se superen tales obstáculos, el aumento del consumo de energía nuclear puede ofrecer importantes reducciones de las emisiones de CO₂. En los escenarios tecnologías aceleradas (ACT), la energía nuclear representa entre 16% y 19% de la generación de electricidad mundial en 2050. El aumento en el uso de la energía nuclear en relación con el escenario base representa entre 6% y 10% de la reducción de emisiones en 2050. [40]

- **Generación de electricidad a partir de fuentes renovables**

Fuente de energía como la hidráulica, la eólica, la solar y la biomasa para generar energía contribuye entre 9% y 16% a la reducción de emisiones de CO₂ en los escenarios ACT.

El porcentaje de las energías renovables en la generación energética total aumenta desde 18% en la actualidad hasta 34% de cara a 2050. [40]

- **Biocombustibles y pilas de hidrógeno en el transporte por carretera**

Lograr que los biocombustibles de la segunda generación, provenientes de cultivos altamente energéticos, como la caña de azúcar o las palmas aceiteras, constituyen una verdadera alternativa competitiva a los combustibles fósiles, manteniendo al mismo tiempo la sostenibilidad de su producción. Los cultivos energéticos comercialmente viables (Caña de azúcar y palma aceitera) sólo se pueden cultivar en países tropicales como Brasil, Indonesia, Malasia o Colombia.

El uso de hidrógeno, procedente de fuentes totalmente libres de carbono o con un contenido muy bajo, en vehículos con pilas de combustible podría eliminar el dióxido de carbono prácticamente en su totalidad del sector del transporte a largo plazo. Sin embargo, la adopción del hidrógeno requiere enormes inversiones en infraestructuras. Además, a pesar de que los recientes avances en tecnologías de pilas de hidrógeno, y nuevas tecnologías como el uso de hidruros, éstas siguen siendo muy caras. Paradójicamente la principal fuente de hidrógeno comercial actualmente viable, es el proveniente del gas natural, el cual tiene un alto impacto ecológico.

4. Perspectiva medioambiental y social

Desde el lado de la demanda, los aspectos medioambientales y sociales adquieren especial protagonismo. La concienciación social ante los desafíos energéticos es el primer paso para que comience el giro hacia la eficiencia energética. Y estos dos aspectos pueden verse directamente afectados por las medidas que los poderes públicos tomen en este terreno.

Las tecnologías de generación con energías renovables, las plantas de energía nuclear y las de Ciclo Combinado, representarán en el 2030 el 60% de la generación de electricidad en todo el mundo, contribuyendo de esta manera a cumplir con la meta de mantener bajo control el impacto del calentamiento global. Este objetivo es conocido por la IEA como “Escenario de 450 ppm de CO₂”. [42]

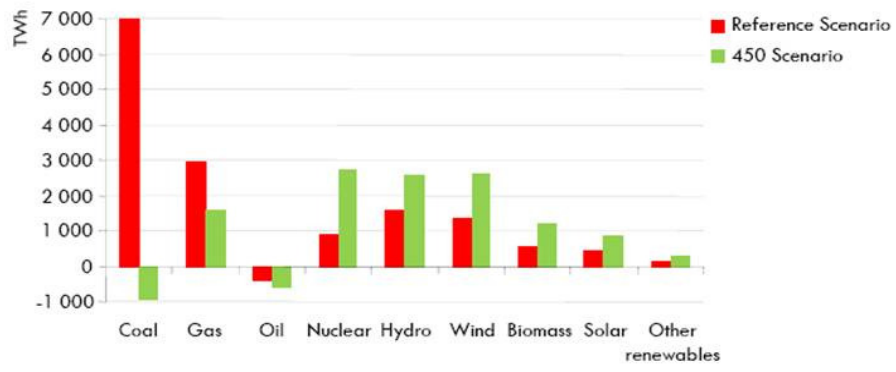


Figura 74: Producción mundial de electricidad en escenario 450 ppm. Fuente: IEA [42]

19. ANEXO 10: PLANES DE PROTECCIÓN DE INFRAESTRUCTURAS

Los acontecimientos de principios del siglo XXI, que afectaron e impactaron notablemente a la opinión pública, en países como EE.UU, la Unión Europea, donde se fraguaron los atentados terroristas del en New York (11 de Septiembre de 2001), en Madrid (11 de Marzo de 2004) y Londres (7 de Julio de 2005) han puesto de manifiesto el riesgo de atentado terrorista contra las infraestructuras energéticas. En todos los casos, los gobiernos de EE.UU y de la UE coinciden en que la respuesta debe ser rápida, coordinada y eficaz. [8].

Tanto los países que conforman la Unión Europea, como los Estados Unidos de América, instauraron comités y mesas de trabajo, sobre prevención, preparación y respuesta a los ataques terroristas y en los programas de solidaridad sobre las consecuencias de las amenazas y ataques terroristas, y como resultado, en el año 2005 se emitió en Bruselas, el Libro Verde: Sobre un Programa Europeo para la Protección de Infraestructuras Críticas. [8]. Posteriormente, en Diciembre de 2008 la comisión europea emitió la directiva 2008/114 [21]. Por su parte, a partir del año 2009 en los EE.UU se declaró el Plan Nacional de Protección de Infraestructura (NIPP) [68].

En todos los casos se respalda el propósito de lanzar un Programa de protección de infraestructuras críticas, así como la conformación de una Red de información sobre alertas en infraestructuras críticas, con la premisa que la responsabilidad principal y última de proteger las ICE corresponde a los Estados miembros y a los propietarios u operadores de tales infraestructuras.

Estos programas proporcionan a los gobiernos y al sector privado la oportunidad de aprovechar la experiencia colectiva para definir más claramente los sistemas de alertas en infraestructuras críticas, su protección, la planificación, así como las actividades continuidad y confiabilidad de dichas infraestructuras. Dichos programas de protección de infraestructura se concentran en los sectores de la energía, de transportes, tecnologías de la información y las comunicaciones.

A. EL PROGRAMA NIPP DE ESTADOS UNIDOS

El NIPP es un Plan Nacional de Protección de la Infraestructura Crítica y de los Recursos Clave de gran amplitud e integrado para la determinar metas, objetivos, eventos importantes, e iniciativas clave. Este plan proporciona un marco global y unificado para la protección de Infraestructura Crítica y Recursos Claves (IC/RC), a través de entidades federales, estatales, territoriales, locales, tribales y el sector privado [87], incluidos los sectores específicos y el Estado, y los socios del sector privado en materia de seguridad.

El NIPP fue desarrollado como un proceso colectivo entre el Departamento de Seguridad Nacional de los Estados Unidos,

Se distribuyó para ser examinado en todos los sectores y todos los ámbitos del gobierno y el sector privado y al público para obtener comentarios y aportes individuales:

El NIPP se concibe a partir de la directiva de la presidencia de EE.UU HSPD-7 (Homeland Security Presidential Directives) y que rige la elaboración del Plan de Protección de la Infraestructura Nacional (NIPP). [90]

En el NIPP se identificaron tres áreas específicas de interés: Las interdependencias entre los sectores, la seguridad cibernética, y el carácter internacional de las amenazas sobre las infraestructuras críticas. [16]

- El primer ámbito, correspondiente a la interdependencia entre sectores, según el documento de la NIPP se establece que la infraestructura crítica se constituye por una

red que ejecuta funciones críticas.

- La segunda área de preocupación en el documento del NIPP es la dimensión cibernética. El NIPP identifica la infraestructura cibernética global como la columna vertebral de la economía de EE.UU. y un elemento fundamental de la seguridad nacional. También establece que la infraestructura crítica no es independiente de los sistemas informáticos que la controlan.
- La tercera área de preocupación señala el carácter internacional de las amenazas sobre la infraestructura crítica (energía, transporte y telecomunicaciones) y requieren un análisis especial dentro de la gestión de riesgos y vulnerabilidades. El reto específico de la protección internacional de infraestructura crítica se debe realizar en colaboración con entidades que no están bajo el control del gobierno de los EE.UU. [87]

1. Sectores y agencias designadas

El Departamento de Seguridad Nacional de los Estados Unidos se encarga de coordinar la labor nacional para proteger la infraestructura crítica y los recursos clave en 17 sectores, identificados como estratégicos para la economía y la seguridad nacional.

Al designar dichos sectores se propone trabajar con los departamentos y agencias federales, con los gobiernos estatales y locales, con el sector privado, con el exterior y con las organizaciones internacionales. Para el efecto, se identifican, se establecen prioridades y se coordina la protección de la infraestructura crítica y de los recursos clave (IC/RC) incluyendo la manera en que el Departamento de Seguridad Nacional de los Estados Unidos (DHS)

El Plan incluye los siguientes elementos [16]:

ELEMENTO	SECTOR	SECRETARÍA/DEPARTAMENTO
Infraestructura crítica	Agricultura, Alimentos	Agricultura
Infraestructura crítica	Salud Pública, Cuidados de la Salud, Alimentos	Sanidad Pública
Infraestructura crítica	Agua potable, Tratamiento del agua	Medio Ambiente
Infraestructura crítica	Base industrial de la defensa	Defensa
Infraestructura crítica	Energía	Energía
Infraestructura crítica	Bancos y Finanzas	Tesoro
Infraestructura crítica	Monumentos y Símbolos nacionales	Interior
Infraestructura crítica	Sistemas de transporte	Seguridad nacional
Infraestructura crítica	Tecnología de la Informaicón	Seguridad nacional
Infraestructura crítica	Telecomunicaciones	Seguridad nacional
Infraestructura crítica	Químicos	Seguridad nacional
Infraestructura crítica	Servicios de emergencia	Seguridad nacional
Infraestructura crítica	Servicios de correo y envíos	Seguridad nacional
Recursos clave	Instalaciones comerciales	Seguridad nacional
Recursos clave	Instalaciones de gobierno	Seguridad nacional
Recursos clave	Represas	Seguridad nacional
Recursos clave	Reactores, materiales y desechos nucleares comerciales	Seguridad nacional

En total, el NIPP fue distribuido a los siguientes socios en materia de seguridad: [22]

Gobierno Federal: Departamento de Seguridad Nacional: agencias específicas del sector, Departamentos y Agencias de la Directiva Presidencial 7 de Seguridad del

Territorio Nacional HSPD-7; consejos de coordinación gubernamental

Gobiernos estatales, locales, territoriales y tribales: Asesores en materia de seguridad interna; agentes administrativos del estado y gerentes para emergencias

Consejos Asesores: Consejo Asesor de Infraestructura Nacional; Comisión de Telecomunicaciones en materia de Seguridad Nacional; Comisión de Asesoramiento para la Seguridad del Territorial Nacional

Socios del Sector privado: Consejos de coordinación sectorial; socios del sector privado en materia de seguridad

2. Intercambio y protección de la información

El NIPP utiliza un enfoque de redes para el intercambio de información que:

- Permite el intercambio seguro de información entre y a través del gobierno y de los propietarios y operadores de la infraestructura crítica y los recursos clave en todos los ámbitos. [22]
- Ofrece mecanismos de uso de protocolos que se basan en la “necesidad de estar enterado” según se requiera, para prestar apoyo en la elaboración e intercambio de evaluaciones de peligros específicos y estratégicos, de informes sobre incidentes y alertas de atentados, evaluaciones de impacto y mejores prácticas. [22]
- Permite que los socios en seguridad evalúen riesgos, conduzcan actividades de gestión de riesgos, asignen recursos y avancen continuamente en la posición del país de protección de la infraestructura crítica y de los recursos clave. [22]
- El Departamento Nacional de los Estados Unidos y los otros organismos del gobierno federal utilizan una serie de programas y procedimientos establecidos en el NIPP, para garantizar que la información sobre infraestructura crítica/recursos clave se proteja adecuadamente. [68]

3. Propuesta de valor del NIPP

Los recursos deben estar dirigidos a las áreas de mayor prioridad para permitir una gestión de riesgos eficaz. El proceso de asignación de recursos del NIPP describe: [68]

- El enfoque integrado, basado en el riesgo que se utilizará para determinar cómo se establecerán las prioridades y se financiarán a los programas de protección de la infraestructura crítica y recursos clave.
- Cómo la labor de protección de la infraestructura crítica y recursos clave en el ámbito estatal y local estará apoyada por el Departamento de Seguridad Nacional de los Estados Unidos y otros programas de donaciones para la protección de la infraestructura crítica y recursos clave.
- Cómo todas estas inversiones, junto con los correspondientes incentivos, apoyan la colaboración entre socios en materia de seguridad con el objetivo de mejorar la protección de la infraestructura crítica y los recursos clave.

El éxito de la alianza para la protección de la infraestructura crítica y los recursos clave depende de que se integren los beneficios mutuos del gobierno y los socios del sector privado. Esta propuesta de valor: [16]

- Permite que los socios del gobierno federal, estatal, local, tribal y del sector privado entiendan claramente las prioridades nacionales en materia de protección de la infraestructura crítica y recursos clave.
- Permite la planificación de la protección, el intercambio de información, gestión de

riesgo, coordinación de recursos y procesos de implementación de programas de infraestructura crítica y recursos clave.

- Está destinada a ser utilizada como marco de trabajo para la coordinación de la labor de protección de la infraestructura crítica y de los recursos clave para los sectores y los socios en materia de seguridad.

4. Estructura del NIPP

El marco de gestión de riesgos NIPP incluye seis pasos que implican el establecimiento de objetivos de seguridad, activos identificación, sistemas, redes y funciones; evaluación del riesgo; prioridad; la ejecución de programas de protección; y la eficacia de medición. [68]

Se establece el proceso de información para combinar consecuencia, la vulnerabilidad y la amenaza de realizar una evaluación integral, sistemática y racional de los riesgos nacionales o sectoriales. [68]

Se proporciona una mejora continua y retroalimentación, en un marco flexible y adaptable al panorama de riesgo de cada sector.

Se proporciona el marco para dar prioridad a protección de activos, sistemas, redes y funciones en infraestructura crítica y recursos clave (IC/RC), como el que se presenta en la Figura 75.

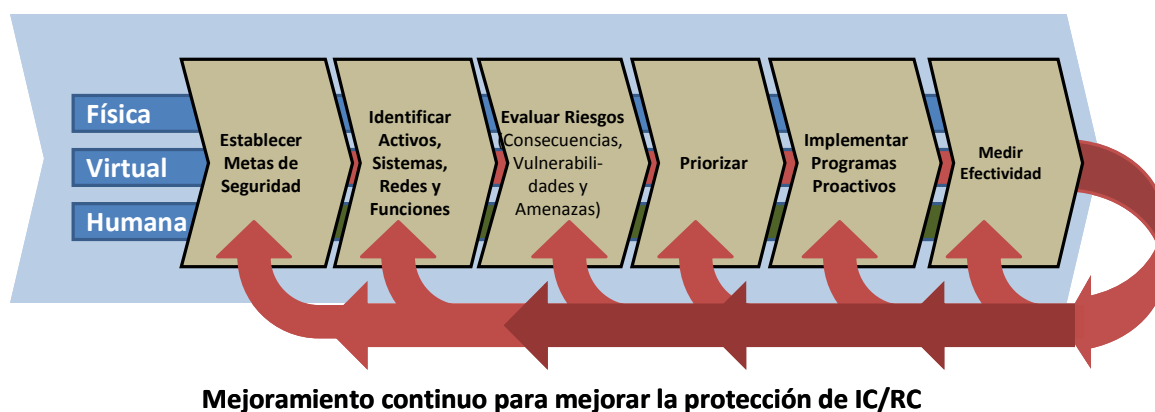


Figura 75: Marco para la protección de IC/RC, propuesta en el NIPP. [68]

Las metas de seguridad representan en su conjunto la posición deseada en materia de seguridad nacional y la posición específica por sector.

Estas metas varían entre los sectores y deben tener en cuenta los elementos físicos, humanos y cibernéticos de la protección de la infraestructura crítica y de los recursos clave.

Desde la perspectiva del sector, el **establecimiento de las metas de seguridad**: [68]

- Definen la posición de protección (y si correspondiera, la respuesta o recuperación) que los socios en materia de seguridad tratan de lograr.
- Tienen en cuenta distintos recursos, sistemas, redes, procedimientos operativos, medios empresariales y enfoques de gestión de riesgo
- Varían de acuerdo a las características específicas y al escenario de seguridad para el sector, jurisdicción o localidad afectada.

Para la **identificación de recursos, sistemas, redes y funciones** [68]

- Se trata de elaborar un inventario completo que contenga información básica sobre los recursos, sistemas y redes del país.
- Este inventario puede utilizarse para determinar los recursos, sistemas o redes

críticas en el ámbito nacional, estatal o local de acuerdo al perfil de riesgo más reciente.

Para la **evaluación de riesgos** se deben emplear metodologías verosímiles de riesgo, con las características: [68]

- Integridad, que permita abarcar los análisis clásicos de riesgo y de vulnerabilidad de la seguridad.
- Plenitud, de manera que se ofrezcan resultados razonablemente completos mediante un proceso cuantitativo, sistemático y riguroso.
- Justificable, en el sentido que sea una metodología exhaustiva y utilice los métodos reconocidos de las disciplinas profesionales pertinentes al análisis.
- Confrontable con otras metodologías, incluyendo las prestaciones de documentación, transparencia, reproducibilidad y exactitud.

Para el **establecimiento de las prioridades** [68]

- El Departamento de Seguridad Nacional de los Estados Unidos trabaja con los socios en materia de seguridad para establecer prioridades con respecto a las evaluaciones de riesgo a fin de ayudar a identificar dónde la reducción del riesgo es más apremiante y determinar posteriormente las medidas de protección que deben tomarse.
- Este punto requiere una comparación de los niveles relativos de riesgo de los sectores y recursos junto con opciones para lograr las metas de seguridad establecidas.
- De esta manera, las medidas de protección se aplican donde se presente la reducción del riesgo a la seguridad, resultando una mejor relación costo-beneficio.

En la **implementación de los programas de protección** [68], las medidas de protección están dirigidas a reducir el riesgo a través de:

- Desalentar los atentados
- Desvalorar el atractivo de los recursos, sistemas o redes
- Detectar los posibles atentados
- Defender el recurso, sistema o red para retrasar o prevenir un atentado

Los programas de protección pueden incluir también medidas que reduzcan las consecuencias si ocurriera un atentado, tales como:

- Mitigar la gama de posibles atentados
- Responder y recuperarse eficaz y eficientemente

La **medición de la eficacia**, se establece a partir de un sistema de indicadores para aportar información sobre el logro de metas específicas sobre seguridad, que están definidos en el NIPP [68], los cuales son del tipo Descriptivos, de Procesos (o productos) y de Resultados.

Los indicadores ofrecen una base para establecer la responsabilidad, documentar el desempeño real, facilitar diagnósticos, promover una gestión eficaz y reexaminar metas y objetivos en el ámbito nacional y sectorial.

B. PEPIC: PROGRAMA EUROPEO PARA LA PROTECCIÓN DE INFRAESTRUCTURA

En diciembre de 2005, el Consejo de Justicia y Asuntos de Interior pidió a la Comisión

Europea que le presentara una propuesta de Programa Europeo para la Protección de Infraestructuras Críticas (PEPIC). A raíz de esta petición, la Comisión una propuesta de Directiva sobre la identificación y designación de las infraestructuras críticas europeas, destinada a mejorar su protección, que posteriormente se denominó como directiva 114 de 2008. [21]

El Consejo Europeo de 17 y 18 de junio de 2004 pidió a la Comisión que elaborase una estrategia global para una mayor protección de las infraestructuras críticas. En respuesta a dicha petición la Comisión publicó, el 20 octubre 2004, la siguiente Comunicación: *“Protección de las infraestructuras críticas en la lucha contra el terrorismo”*.

El proyecto de la Comisión encaminado a proponer un programa europeo de protección de las infraestructuras críticas (PEPIC) y una red de alerta en relación con las infraestructuras críticas (CIWIN) fue aceptado en el Consejo Europeo de 16 y 17 de diciembre de 2004, tanto en las conclusiones del Consejo relativas a la prevención, preparación y respuesta ante ataques terroristas, como en el programa de solidaridad que el Consejo aprobó el 2 de diciembre de 2004.

La elaboración del programa PEPIC fue preparada minuciosamente a lo largo de 2005. El 17 de noviembre de 2005, la Comisión adoptó el Libro Verde sobre un programa europeo para la protección de infraestructuras críticas.

El 15 de septiembre de 2005, se adoptó la Decisión C/2005/3179 sobre la financiación de un proyecto piloto que incluía acciones preparatorias destinadas a reforzar la lucha contra el terrorismo. A esta le siguió, el 26 de octubre de 2006, una segunda Decisión (C/2006/5025) sobre la financiación del proyecto piloto sobre el PEPIC. [27]

El 12 de diciembre de 2006 la Comisión presentó una propuesta de Directiva del Consejo sobre la identificación y designación de las infraestructuras críticas europeas y la evaluación de la necesidad de mejorar su protección. El mismo día, la Comisión adoptó también la presente Comunicación. Estos documentos dan una idea precisa de cómo la Comisión propone abordar el tema de la protección de infraestructuras críticas en la UE.

Por último, el Programa específico *“Prevención, preparación y gestión de las consecuencias del terrorismo y de otros riesgos en materia de seguridad”* se adoptó el 12 de febrero de 2007.

En dicha Comunicación se exponen los principios, procedimientos e instrumentos propuestos para aplicar el PEPIC. Las amenazas a las que el programa debería responder no se limitan al terrorismo exclusivamente sino que, con un planteamiento global, incluyen las actividades delictivas, los desastres naturales y otras causas de accidentes.

El objetivo general del PEPIC es mejorar la protección de las infraestructuras críticas (PIC) de la Unión Europea. Este objetivo se alcanzará mediante la aplicación de la legislación europea que se presenta en dicha directiva.

El marco legislativo del PEPIC consta de los siguientes elementos: [27]

- Un procedimiento de identificación y designación de las infraestructuras críticas europeas (ICE) y un enfoque común para evaluar la necesidad de mejorar su seguridad; este último se establecerá mediante una Directiva;
- Medidas destinadas a facilitar la mejora del PEPIC, entre las que figuran un plan de acción, una red de alerta relativa a las infraestructuras críticas (CIWIN), la creación de grupos de expertos de Protección de las Infraestructuras Críticas (PIC) a escala de la Unión Europea (UE), procedimientos para compartir información acerca de la PIC, y definición y análisis de la interdependencia;
- Ayuda a los Estados miembros, a petición estos, en cuanto a la seguridad de las infraestructuras críticas nacionales (ICN), y planes de intervención;

- Una dimensión exterior;
- Medidas financieras complementarias y, en particular, el Programa específico “*Prevención, preparación y gestión de las consecuencias del terrorismo y de otros riesgos en materia de seguridad*” para el período 2007-2013, que facilitará nuevos medios de financiación de medidas relacionadas con la protección de infraestructuras críticas.

1. Plan de acción del PEPIC

El plan de acción del PEPIC se centra en tres aspectos principales:

- El primero se refiere a los aspectos estratégicos y la elaboración de medidas aplicables horizontalmente a todas las actividades en materia de protección de infraestructuras críticas (PIC);
- El segundo se refiere a la protección de las Infraestructuras Críticas de la Unión Europea (ICE) y tiene por objeto reducir su vulnerabilidad;
- El tercero se inscribe en un marco nacional y está destinado a ayudar a los Estados miembros a proteger sus Infraestructuras Críticas Nacionales (ICN).

Este plan de acción es evolutivo y habrá que proceder a revisarlo con regularidad.

2. Red de información sobre alertas en infraestructuras críticas (CIWIN)

Mediante una propuesta distinta de la Comisión, se creará una red de alerta (CIWIN) para facilitar el intercambio de las mejores prácticas y servir de plataforma para el envío de mensajes de alerta rápida, en relación con el sistema ARGUS. [27]

3. Grupo de expertos

Cuando sea necesaria la intervención de expertos en un ámbito determinado de la PIC, la Comisión podrá constituir, a escala de la UE, un grupo de expertos para que procedan al examen de aspectos concretos. Según el sector a que pertenezca la infraestructura crítica y en función de sus características, las funciones de los expertos podrán incluir:

- La identificación de los puntos vulnerables, la interdependencia y las mejores prácticas sectoriales;
- La elaboración de medidas encaminadas a reducir la vulnerabilidad y a concebir indicadores de resultados;
- La elaboración de estudios de casos.

4. Información compartida acerca de la Protección de Infraestructuras Críticas (PIC)

Los agentes interesados deberán compartir la información acerca de la PIC, especialmente las cuestiones relativas a la seguridad de infraestructuras críticas y sistemas protegidos, los estudios sobre interdependencia, la vulnerabilidad en relación con la PIC y la evaluación de amenazas y riesgos. Al mismo tiempo, habrá que velar por que no se revele la información compartida, tanto si es exclusiva como sensible o de carácter personal, y por que todas las personas que trabajen con información confidencial o sensible sean sometidas al oportuno procedimiento de habilitación por parte del Estado miembro de su nacionalidad. [27]

5. Identificación de la interdependencia

Con el fin de mejorar la evaluación de los puntos vulnerables, las amenazas o los riesgos relacionados con las infraestructuras críticas, será necesario identificar y analizar las interdependencias de carácter geográfico o sectorial. [27]

6. Grupo de contacto PIC

La Comisión tiene en proyecto crear un grupo de puntos de contacto para la protección de las infraestructuras críticas. Cada Estado miembro deberá designar los puntos de contacto que se encargarán de coordinar, junto con el Consejo, la Comisión y los otros Estados miembros, los asuntos relacionados con la protección de las infraestructuras a escala nacional.

7. Protección de Infraestructuras Críticas Nacionales (ICN)

Teniendo siempre bien presente que la protección de las Infraestructuras Críticas Nacionales (ICN) incumbe a sus propietarios, a quienes las explotan y a los Estados miembros donde dichas infraestructuras críticas nacionales estén situadas, la Comisión, si los Estados lo solicitan, ha previsto ayudas en este ámbito. Además, se insta a los Estados miembros a elaborar un programa nacional de protección que incluya:

- La clasificación de las ICN, en función de las consecuencias de una interrupción de la actividad o de la destrucción de cada infraestructura (amplitud de la zona geográfica afectada y gravedad de las consecuencias);
- La identificación de las interdependencias geográficas y sectoriales;
- La elaboración de planes de intervención.

8. Dimensión exterior

Un aspecto importante del PEPIC es la dimensión exterior de la PIC. Dado el grado de interconexión e interdependencia de las economías modernas, la interrupción de la actividad o la destrucción de una infraestructura europea podría implicar consecuencias para países que no forman parte de la Unión y viceversa. Por consiguiente, es indispensable incrementar la cooperación internacional en este ámbito mediante protocolos de acuerdo sectoriales.

9. Medidas financieras complementarias

El PEPIC será cofinanciado por el programa comunitario "*Prevención, preparación y gestión de las consecuencias del terrorismo y de otros riesgos en materia de seguridad*" durante el período 2007-2013. [27]

C. CNPIC: Centro Nacional de Protección de Infraestructuras Críticas en España

El CNPIC tiene como misión principal coordinar las actividades de los agentes implicados en la protección de las Infraestructuras Críticas, tanto en el sector público como el privado, para la elaboración de planes generales de protección, así como de planes específicos de sector. Para la elaboración e implantación eficaz de dichos planes es necesario fomentar las relaciones entre el sector público y privado (PPPs: Asociación Público-Privada) y la cooperación internacional, estableciendo los mecanismos adecuados para el intercambio de información y conocimiento a todos los niveles.

El Centro Nacional para la Protección de las infraestructuras Críticas (CNPIC) es el órgano director y coordinador de cuantas actividades relacionadas con la protección de las infraestructuras críticas tiene encomendadas la Secretaría de Estado de Seguridad del Ministerio del Interior a la que está adscrito. [12]

La amplitud del concepto de infraestructura crítica, y la multiplicidad de sectores afectados, exige la necesidad de afrontar su protección desde un punto de vista multidisciplinar, con la implicación de numerosos organismos públicos y privados, bajo una dirección única,

encargada del impulso, la coordinación y supervisión de todas las actividades relacionadas con la protección de infraestructuras críticas nacionales.

La coordinación y dirección en materia de Protección de Infraestructuras Críticas recae sobre el Ministerio del Interior, que a su vez ha designado a la Secretaría de Estado de Seguridad como organismo responsable de la dirección, coordinación y supervisión de la protección de infraestructuras críticas nacionales.

El CNPIC tiene las siguientes obligaciones, en España: [12]

- La custodia, el mantenimiento y actualización del Plan de Seguridad de Infraestructuras Críticas y el Catálogo Nacional de Infraestructuras Estratégicas.
- La recogida, análisis, integración y valoración de la información procedente de instituciones públicas, servicios policiales, sectores estratégicos, y de la cooperación internacional.
- La valoración de la amenaza y análisis de riesgos sobre las instalaciones estratégicas
- El diseño y establecimiento de mecanismos de información, comunicación y alerta.
- Soporte de Mando y Control en una Sala de Operaciones, cuya activación deberá estar prevista ante situaciones de activación del nivel que se determine del Plan de Protección de Infraestructuras Críticas.
- Materializar el Punto Nacional de Contacto, en el marco de la Protección de Infraestructuras Críticas de la Unión Europea (Programa Europeo de Protección de Infraestructuras Críticas –PEPIC- y red de información y alerta sobre infraestructuras críticas –CIWIN-), y con otros organismos similares de terceros países.
- Coordinar los trabajos y la participación en los diferentes grupos de trabajo y reuniones en el ámbito de la Comisión Europea.
- Supervisar el proceso de elaboración de planes de intervención en materia de infraestructuras críticas y participar en la realización de ejercicios y simulacros.
- Supervisar y coordinar los planes sectoriales y territoriales de prevención y protección que deban activarse en los diferentes supuestos de riesgo y niveles de seguridad que se establezcan, tanto por las Fuerzas y Cuerpos de Seguridad como por los propios responsables de las operadoras.
- Elaborar los correspondientes Protocolos de Colaboración con personal y organismos ajenos al Ministerio del Interior, y con las empresas propietarias y gestoras de infraestructuras estratégicas.
- Supervisar los proyectos y estudios de interés en la protección de infraestructuras críticas, y coordinar la participación en programas financieros y subvenciones procedentes de la Unión Europea.

El CNPIC mantiene estrechas relaciones tanto con otros departamentos de la Administración española, como con las empresas gestoras y propietarias de infraestructuras, tanto públicas como privadas. Con respecto la Administración del Estado, el CNPIC trabaja conjuntamente con diversos organismos, como las Fuerzas y Cuerpos de Seguridad del Estado (FCSE), el Departamento de Infraestructura y Seguimiento de Situaciones de Crisis (DISSC) de la Presidencia del Gobierno, y la Dirección General de Protección Civil y Emergencias (DGPCE), así como con los Ministerios afectados. El CNPIC trabaja además en el ámbito de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones con el CCN-CERT (equipo de respuesta para emergencias informáticas en el ámbito de la administración española), INTECO-CERT (equipo de respuesta para emergencias informáticas en el ámbito de las pequeñas empresas y los ciudadanos) y con las unidades de las FCSE (Guardia Civil y Cuerpo Nacional de Policía) encargadas de la lucha contra la ciberdelincuencia y el ciberterrorismo. [12]

De la misma manera, tiene previsto establecer las relaciones de cooperación y coordinación con las instituciones y organismos de las distintas administraciones territoriales que conforman el Estado Español.

Dentro del sector privado, el CNPIC mantiene contactos con los propietarios y operadores de infraestructuras críticas, para lo cual en breve se pondrá a disposición de éstos un sistema de comunicación permanente a través de un sistema de información gestionado por este Centro (Sistema de Información HERMES). En base a la información disponible por las FCSE sobre desarrollos, tendencias y variaciones de los modos operandi de delincuentes y terroristas, y el conocimiento existente en el CNPIC, los sectores críticos podrán ajustar y poner en marcha sus medidas de seguridad, con el asesoramiento de este Centro.

Desde el CNPIC se trabaja en la implantación de una legislación específica y una estrategia nacional para la protección de nuestras infraestructuras críticas, determinando la necesaria colaboración entre sector público y sector privado. A estos efectos, se están diseñando una serie de estándares o líneas de acción, así como guías de "buenas prácticas" para compartir con las empresas estratégicas nacionales.

Otra vía de acción es la implantación de metodologías de gestión de riesgos basadas en el análisis de las amenazas, vulnerabilidades (o puntos débiles) y consecuencias (impacto), a partir de las cuales se prioriza la asignación de recursos para la protección. Básicamente, los objetivos de estas metodologías son la identificación de las Infraestructuras Críticas y servicios esenciales, la identificación y evaluación de los riesgos y la priorización de las actuaciones.

El CNPIC ha orientado claramente sus esfuerzos a la protección de las infraestructuras críticas desde un punto de vista integrado. La tendencia actual de los países desarrollados es la integración de la seguridad física con la seguridad cibernética. [12]

D. Estándar Australiano para la Administración de Riesgos

El estándar australiano hace énfasis en la gestión de riesgos a través de la identificación y el tratamiento de esos riesgos para así aumentar la probabilidad de éxito y reducir tanto la probabilidad de fracaso como la incertidumbre de lograr los objetivos y metas generales de la organización. Por esa razón, la administración de riesgos debe estar incorporada dentro de la organización a través de los procesos de estrategia y presupuesto.

El manejo integral de riesgos o Gestión Integral de Riesgos (GIR) ha presentado una gran evolución en los últimos años, como consecuencia de la necesidad de conocer y manejar los niveles de incertidumbre a los que está expuesto durante la ejecución de la estrategia y el cumplimiento de los objetivos, debido en gran parte al proceso de globalización, el cual ha ampliado considerablemente el espectro de oportunidades y también de riesgos a los que se enfrentan las empresas. [26]

Todas las definiciones de riesgo llevan a pensar que en una situación riesgosa existen muchos elementos que es necesario analizar para poder llegar a controlarlo (objetivos, probabilidad, incertidumbre, efectos), y si bien los riesgos pueden traer consecuencias negativas, no tomarlos en algunas ocasiones puede ser un riesgo en sí mismo, pues se pueden perder oportunidades que podrían traer mayores beneficios.

Para la aplicación del estándar australiano, es importante diferenciar entre riesgo e incertidumbre. La incertidumbre existe siempre que no se sabe con seguridad qué ocurrirá en el futuro; el riesgo es la incertidumbre que afecta negativamente el bienestar de la gente.

La Figura 76 presenta las etapas que siguen al proceso de gestión de riesgos de cualquier naturaleza, el cual utiliza la adaptación del Estándar Australiano de Administración del Riesgo AS/NZS 4360:1999. [26]

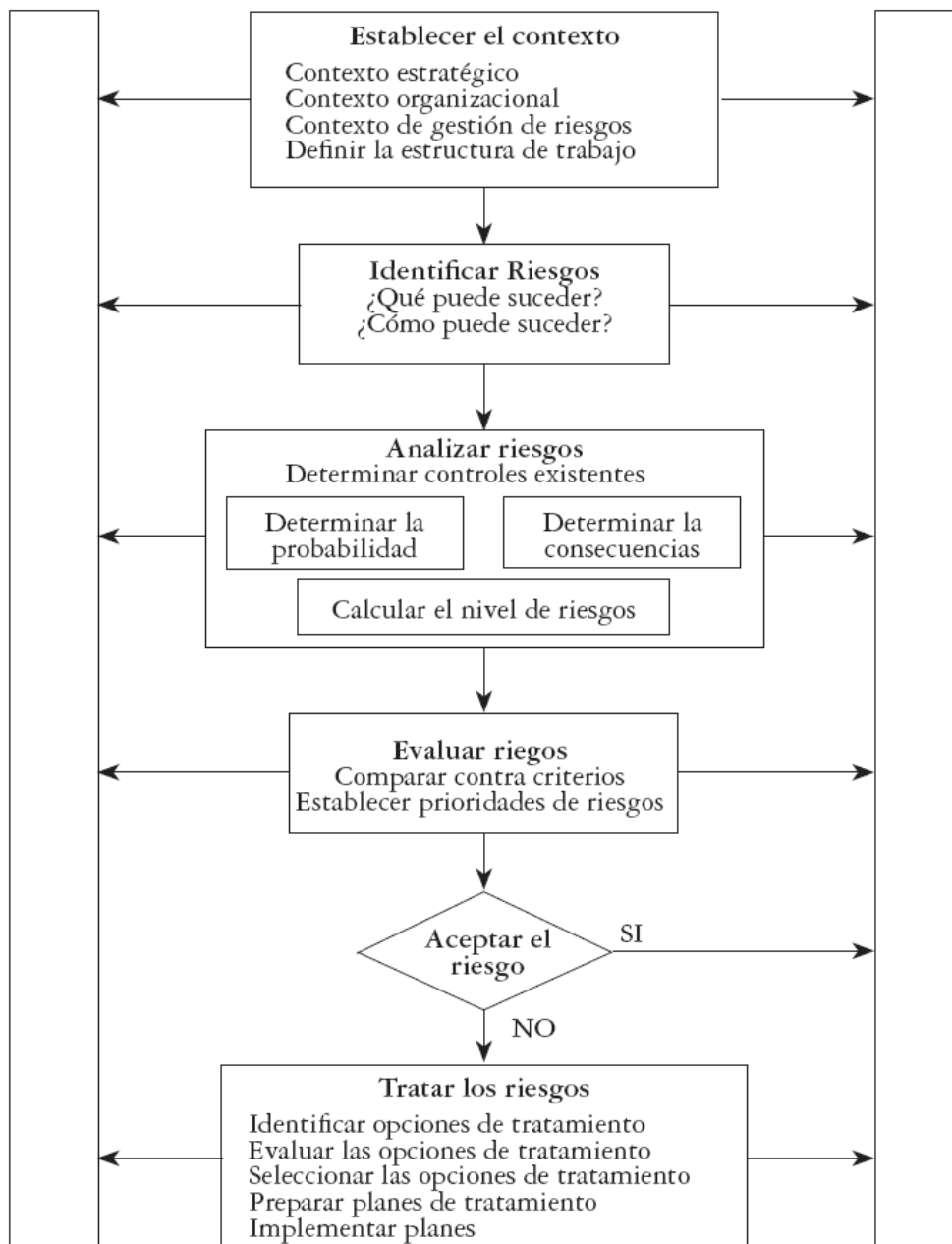


Figura 76: Ciclo de la Administración del Riesgo, según estándar australiano AS/NZS 4360:1999. [26]

El Estándar Australiano AS/NZS 4360:1999, por ser una guía genérica para la implementación del proceso de administración del riesgo, permite involucrar el contexto, la identificación, el análisis, la evaluación, el tratamiento, la comunicación y la monitorización en curso de los riesgos de las empresas energéticas.

El proceso de administración de riesgos ocurre dentro de la estructura del contexto estratégico, organizacional y de administración de riesgos de una organización. El contexto incluye los aspectos financieros, operativos, competitivos, políticos, sociales, de clientes, culturales, legales, etc. Con énfasis hacia la identificación, medición y control de los riesgos financieros, estratégicos y de entorno de las empresas del sector energético. [26]

Los riesgos son del tipo de Entorno, Operacionales, Financieros, Asignación de Recursos y Estratégicos. [37]