The background of the cover is a photograph of a wide waterfall, likely the Iguazú Falls, with water cascading over a rocky ledge. The sky above is filled with soft, grey clouds, and a vibrant sunset or sunrise is visible on the horizon, with orange and yellow light breaking through the clouds. The overall color palette is muted, with greys, blues, and soft oranges.

# Seguridad energética en España

## Análisis económico y propuestas de actuación

[ Informe ]

economics<sub>for</sub>  
energy

## Créditos

El presente informe ha sido preparado por Pedro Linares (Economics for Energy e Instituto de Investigación Tecnológica, U.P. Comillas), Klaas Würzburg (Economics for Energy) y Xiral López Otero (Economics for Energy), con la colaboración de Xavier Labandeira (Economics for Energy y Universidade de Vigo).

Los informes anuales de Economics for Energy son aprobados por la junta directiva del centro, sin que sus opiniones reflejen necesariamente la visión de los socios sobre las cuestiones tratadas.

Diseño y Maquetación    seteseoitodeseño gráfico

ISSN                            2172-8127

Economics for Energy  
Gran Vía 3, 3ºE  
36204 Vigo (España)  
info@eforenergy.org  
www.eforenergy.org

Impreso sobre papel 100% reciclado.

Un año más, nos complace presentar el informe anual de Economics for Energy que, como en ocasiones anteriores, se sitúa en una de sus líneas prioritarias de investigación: el análisis económico de la seguridad energética.

Economics for Energy es un centro de investigación especializado en el análisis económico de las cuestiones energéticas y se constituye como una asociación sin ánimo de lucro participada por universidades, empresas y fundaciones. La misión del centro es crear conocimiento en el ámbito de la economía de la energía y transferirlo de forma eficaz para informar, orientar y asesorar la toma de decisiones de agentes públicos y privados. Con ese objetivo, Economics for Energy sigue los procedimientos académicos habituales, con el rigor y profundidad adecuados. Sus otras líneas de trabajo se centran en el análisis de la demanda de energía, el diseño y evaluación de las políticas energético-ambientales, la innovación en el mundo de la energía y la prospectiva tecnológico-regulatoria en el sector energético. Este conocimiento se transfiere a través de informes de situación, como el que nos ocupa, y la organización de seminarios y jornadas sobre temas relevantes de actualidad para el sector energético.

El informe analiza, a partir de los estudios disponibles, el valor económico de la seguridad energética en España. Para ello, comienza clarificando algunos conceptos, a veces entremezclados, que afectan a la definición correcta de la seguridad energética y a su valoración económica. Posteriormente revisa la literatura existente, en primer lugar evaluando los principales indicadores propuestos hasta el momento para medir la seguridad energética y, a continuación, analizando en mayor detalle las estimaciones realizadas para España en las que se evalúa el coste de la falta de suministro o el coste de la variabilidad de precios del petróleo. Finalmente, tras repasar la estrategia europea y española sobre seguridad energética, el informe propone algunas recomendaciones para tratar de mejorar la situación en España. En particular, el informe plantea unos indicadores que podrían reflejar mejor las implicaciones de la seguridad energética para la economía española.

Este informe aporta información cuantitativa que haga posible la incorporación de la seguridad energética al mismo nivel que otros elementos de decisión para la política energética como los costes de suministro o el impacto ambiental. Así mismo se ocupa de identificar aquellos huecos que aún existen en nuestro conocimiento, y que convendría analizar cuidadosamente para poder ajustar mejor nuestras políticas energéticas y hacerlas más eficientes respecto a este asunto.

Esperamos, como en informes anteriores, que este trabajo pueda contribuir a un mejor entendimiento y difusión de las implicaciones económicas de la política energética española e internacional y que, junto a las otras actividades de Economics for Energy, sea del interés de los decisores políticos y empresariales, expertos en el sector energético y resto de la sociedad española.

Xavier Labandeira y Pedro Linares

Directores de Economics for Energy

Junio 2017

<b>1. Qué es seguridad energética, y qué no es seguridad energética</b> .....	6
1.1. Precio y cantidades .....	10
1.2. El aspecto temporal .....	10
1.3. Vulnerabilidad y resiliencia .....	11
1.4. Seguridad energética y dependencia energética .....	12
1.5. La seguridad energética como externalidad .....	12
<b>2. Indicadores de seguridad energética</b> .....	14
2.1. Metodologías utilizadas .....	15
2.1.1. Aspectos de la seguridad energética: Áreas de interés (AIs).....	16
2.1.2. Interés científico espacial o temporal .....	17
2.1.3. Metodología y complejidad técnica.....	17
2.2. Principales indicadores de seguridad energética .....	19
<b>3. Valoración económica de la seguridad energética</b> .....	33
3.1. Metodologías y principales resultados obtenidos .....	34
3.2. Aplicaciones para España.....	36
<b>4. Estrategias de seguridad energética</b> .....	41
4.1. Estrategia europea de seguridad energética .....	42
4.2. Estrategia española de seguridad energética.....	48
4.3. Reflexión sobre las políticas y estrategias de seguridad energética .....	49
<b>5. Conclusiones y recomendaciones</b> .....	53
<b>Referencias bibliográficas</b> .....	56





# [ 0 1 ]

## Qué es seguridad energética, y qué no es seguridad energética

- 1.1 Precios y cantidades
- 1.2 El aspecto temporal
- 1.3 Vulnerabilidad y resiliencia
- 1.4 Seguridad energética y dependencia energética
- 1.5 La seguridad energética como externalidad
- 1.6 Conclusión: ¿Qué queremos medir exactamente?

La seguridad energética es un concepto tan amplio que puede ser utilizado, y de hecho lo es habitualmente, para justificar casi cualquier decisión de política energética. Como afirmaba Paul Joskow, refiriéndose al comportamiento habitual en política energética desde los años 70 del siglo pasado, “si no puedes pensar en una justificación sensata basada en el razonamiento económico estándar para alguna política, entonces defiende que la política es necesaria para promover la seguridad energética”. (Joskow, 2009, citado en Winzer, 2012). Así, la seguridad energética se ha utilizado habitualmente, en ocasiones erróneamente, para defender tecnologías tan dispares como el carbón, la nuclear, las renovables, o la eficiencia energética o más recientemente, en la discusión sobre mercados de capacidad o sobre la construcción de numerosas infraestructuras.

La amplitud e indefinición del término dificultan entablar una discusión racional sobre sus implicaciones para la política energética, o sobre el papel que debe jugar la seguridad energética como elemento de una política energética adecuada. Por tanto, parece conveniente tratar de acotar lo más posible su significado, y más aun, las consecuencias de distintos niveles de seguridad energética.

Una posible opción para lograr más precisión es estudiar sectores energéticos específicos. Y efectivamente, cuando se aplica al sector del petróleo, o al sector eléctrico, se permite una mayor concreción en la evaluación de la seguridad energética, y en las medidas para mejorarla. Pero, por un lado, la política energética debe considerar todas las fuentes energéticas simultáneamente, ya que pueden ser sustituibles entre sí, sobre todo a largo plazo; y por otro lado, incluso aunque se trabaje a nivel de sector, sigue habiendo cuestiones difíciles de concretar.

Partamos por ejemplo de una de las definiciones más conocidas de seguridad energética, la de la Agencia Internacional de la Energía: “la seguridad energética es el suministro ininterrumpido de fuentes de energía a un precio asequible”. Los dos elementos clave de esa definición son “ininterrumpido” y “asequible”, pero no están definidos con precisión. Si bien el significado de “ininterrumpido” parece relativamente claro, ¿se trata de un término absoluto? ¿es deseable permitir interrupciones? (de hecho, se permiten en el mundo real) ¿cuáles son las consecuencias de una interrupción? ¿con qué alcance temporal? La indefinición se multiplica con el término “asequible”: ¿qué nivel de coste es asequible? o, de nuevo, ¿qué consecuencias económicas tiene que el coste aumente?

Porque, en general, ni la seguridad energética ni otras externalidades asociadas a la producción y consumo de energía pueden tratarse de forma absoluta. Como en cualquier otra decisión sujeta a riesgo o incertidumbre, es imposible garantizar con absoluta seguridad el suministro energético. Así pues, y como en cualquier otra decisión de política energética, deben ponderarse los costes y los beneficios para la sociedad de los distintos niveles de seguridad energética alcanzables y, para ello, es imprescindible tratar primero de traducirlos a términos comparables, relativos y no binarios.

Además, en segundo lugar, deben evaluarse sus costes y beneficios reales para la sociedad y no otros indicadores que no están necesariamente relacionados. Desde este punto de vista, la clave es poder identificar los efectos, esto es, las

consecuencias del grado en que se alcanza (o, más bien, en el que no se alcanza) un determinado nivel de seguridad energética. Desgraciadamente, muchos de los ejercicios realizados hasta el momento, tal y como recoge el capítulo 2, se limitan generalmente a identificar causas y no efectos. Aunque evidentemente reflejan las distintas percepciones al respecto<sup>1</sup>, en ocasiones los estudios incluyen incluso elementos que no tienen nada que ver con la seguridad energética. Solo si es posible medir los efectos económicos o sociales de la falta de seguridad energética podremos entender el papel que puede o debe jugar ésta en la definición de la política energética, y también las medidas que deben introducirse para aumentar o reducir su nivel.

Este es el objetivo de este informe: reflexionar sobre cómo traducir este término impreciso a una medida objetiva u objetivable, que permita introducirla junto con otros elementos relevantes (como el coste, el impacto ambiental, o la equidad) en un análisis de fines, no de medios, de distintas opciones de política energética, o de distintos escenarios posibles para el sector energético, algo particularmente fundamental en el contexto actual de transición energética.

De hecho, en estos momentos hay muchos estudios o análisis de esta cuestión. La Unión Europea, por ejemplo, está preparando una revisión de su Directiva sobre seguridad de suministro eléctrico. El proceso de descarbonización que está teniendo lugar en muchas regiones en este sector, con un cambio tecnológico asociado muy significativo así como un mayor papel de la demanda en términos de flexibilidad, tendrá evidentes consecuencias sobre la seguridad energética, aunque no todas necesariamente en el mismo sentido. Así, es bien conocida la discusión actual sobre el papel de los mercados de capacidad como herramienta para asegurar el suministro eléctrico. De nuevo, la clave es determinar el nivel de seguridad de suministro que deseamos.

Los procesos de adaptación al cambio climático también pueden afectar significativamente a la seguridad de suministro energético (como por ejemplo se menciona en el último Informe de Evaluación del IPCC, o en el informe sobre adaptación al cambio climático del sector energético preparado por el IIT<sup>2</sup>).

Al contrario que otros autores (por ejemplo Cox, 2015) pensamos que sí es posible dotar de un significado inequívoco, y comparable con otros elementos de política, al concepto de seguridad energética. Pero es necesario contar con una medida objetivable de las consecuencias de la falta de seguridad energética. Y para ello, lo primero es tratar de definir cuáles pueden ser estas consecuencias. A este respecto, conviene reflexionar sobre las distintas dimensiones de la seguridad energética, que analizamos a continuación.

## 1.1 Precios y cantidades

En primer lugar, tal como apunta la definición de la AIE, es importante recordar que la seguridad energética tiene dos componentes, uno de precio y otro de cantidad.

Es habitual comenzar asociando la seguridad energética con aspectos de cantidad: asegurar el suministro y disponibilidad de electricidad (y para ello, con los recursos energéticos para producirla), gas, carburantes de locomoción, etc. Evidentemente, el no poder contar con energía produce unas consecuencias que pueden ser relevantes en cualquier economía tal y como recoge la Tabla 1 según Tasgosz y Manson (2007), citado en Linares y Rey (2013).

1 Lo que por otra parte conduce, como veremos en el capítulo 2, a que distintos indicadores midan conceptos distintos, como demuestra Winzer (2012)

2 <https://www.iit.comillas.edu/docs/IIT-15-169A.pdf>

**Tabla 1. Consecuencias de la falta de suministro de energía**

Impactos económicos directos	Impactos económicos indirectos	Impactos sociales
Pérdida de producción Costes de reenganque Daño a equipos Daños a materiales	El coste del ingreso pospuesto El coste financiero de la pérdida de cuota de mercado	Temperaturas no confortables en casa o el trabajo Pérdida de actividad de ocio Riesgos para la salud y la seguridad

De hecho, y como veremos posteriormente, casi todas las políticas de seguridad energética se dirigen precisamente a evitar esa falta de suministro, estableciendo reservas estratégicas o requisitos de diversificación de suministradores. Sin embargo, hay que tener en cuenta que, quizá en parte por estas mismas políticas y salvo en algunos casos puntuales, el riesgo de falta de suministro es muy pequeño (aunque, salvo en el sector eléctrico, no está en general cuantificado).

En cambio, es habitual pasar por alto el componente de 'precio' de la seguridad energética. Y sin embargo este componente puede ser, en un contexto de riesgos bajos de falta de suministro, el principal elemento de seguridad energética por el que habría que preocuparse en términos de costes originados. El precio, a su vez, tiene dos elementos que afectan a la economía: el nivel de precio en sí mismo, y su volatilidad.

El nivel del precio de la energía, si es estable, no supone costes macroeconómicos. Los costes se derivan de aumentos de este nivel, que pueden traducirse en inflación, y también en costes de ajuste de la economía a los cambios. Los primeros, en todo caso, no deben atribuirse a los aumentos de los precios energéticos según muchos autores (véase Toman, 1993), ya que todos los países cuentan con mecanismos para controlar la inflación. De hecho, los fallos de la política monetaria pueden ocasionar mayores costes que el aumento del precio de la energía en sí mismo.

Los costes de ajuste sí son una realidad atribuible a la variación de los precios de la energía. Estas variaciones modifican los precios relativos y requieren cambios en la asignación de recursos para volver a alcanzar un equilibrio eficiente. Es interesante a este respecto subrayar que estos costes de ajuste no solo aparecen cuando hay un "shock" de precios, esto es, una subida inesperada de los mismos, sino que se dan continuamente si hay volatilidad en los precios de la energía. En este caso la economía debe reequilibrarse continuamente, algo que no es inmediato dadas las numerosas rigideces existentes.

Es conveniente indicar aquí que este efecto se produce a nivel de sistema, no necesariamente a nivel de agente individual: los agentes pueden protegerse frente a la volatilidad mediante distintos instrumentos financieros; sin embargo, hay efectos o niveles de riesgo no asegurables a nivel sistema. También es conveniente distinguir entre volatilidad coyuntural, más fácilmente corregible mediante instrumentos financieros, y volatilidad estructural, más compleja de gestionar.

También es necesario señalar a este respecto que, según Toman (1993), las variaciones inesperadas de los precios energéticos suponen pérdidas de bienestar para los agentes aversos al riesgo, que deben soportar la variabilidad de la riqueza. Esto depende de la volatilidad de los precios y de la correlación entre los precios energéticos y la riqueza. Además, la prima de riesgo social asociada a este efecto puede superar la prima de riesgo percibida por los agentes privados porque incluye, entre otras cuestiones, los cambios de rentas indirectamente ocasionados por la volatilidad de los precios energéticos. Esta desviación entre primas de riesgo públicas y privadas implica una cobertura de riesgo inferior a la óptima y, por tanto, una externalidad.

A estos efectos hay que recordar que, en un escenario de precios energéticos globales, el hecho de depender más o menos de las importaciones energéticas no afecta necesariamente a estos efectos de nivel y variabilidad de precio. Lo relevante a efectos de seguridad energética es el nivel de volatilidad a nivel de sistema, si la economía es lo suficientemente flexible como para absorber cambios en los precios sin experimentar consecuencias negativas, o si es posible disponer de un

suministro energético que no sea volátil ni excesivamente gravoso. Teniendo en cuenta que lo segundo está generalmente fuera del control de países medios como España, la clave está en lo primero: la flexibilidad de la economía.

## 1.2 El aspecto temporal

Evidentemente, los efectos mencionados anteriormente (asociados a falta de suministro u oscilación de precios) dependen en gran medida del plazo de tiempo considerado. La flexibilidad de la economía o de los sistemas para adaptarse a una falta de suministro o a un cambio en los precios es mucho menor a corto plazo y, por ello, sus consecuencias negativas pueden ser mucho mayores. Por otro lado, a corto plazo también es más factible protegerse mediante instrumentos financieros, en caso de que sea posible.

También a estos efectos hay que recordar que el consumo de energía no se produce de forma constante en los distintos momentos, sino que tiene carácter estacional e incluso horario. Esto afecta fundamentalmente a las consecuencias de una falta de suministro, que serán mucho mayores en un escenario de punta de demanda. También una subida de precios será mucho más peligrosa en un momento de elevada demanda, en el que los precios ya serán elevados por naturaleza. Y, por supuesto, en todas estas cuestiones es muy relevante la capacidad de almacenar la energía, y así desplazar su consumo de unos momentos temporales a otros; o la capacidad de protegerse utilizando instrumentos financieros.

Como veremos, generalmente los estudios de seguridad energética consideran horizontes temporales largos en los que los aspectos anteriores quedan diluidos. Solo algunos estudios específicos para el sector eléctrico (veáse Rodilla y Batlle, 2012) incorporan esta distinción y tienen en cuenta efectos distintos en función del alcance temporal. Así, los conceptos propuestos por estos autores son:

- Seguridad: de muy corto plazo, definida como la capacidad de soportar alteraciones inesperadas del suministro;
- Firmeza: de corto y medio plazo, o capacidad de las instalaciones existentes de producir energía cuando se necesite. Relacionada por ello con las características técnicas de las instalaciones y de las decisiones de gestión de los recursos;
- Adecuación: de largo plazo, supone la existencia de suficiente capacidad de producción de energía;
- Expansión estratégica: de muy largo plazo, se refiere a la disponibilidad de recursos energéticos e infraestructuras.

Realmente estos conceptos podrían utilizarse también para fuentes energéticas no eléctricas, aunque la capacidad de almacenamiento que presentan hace que los problemas de corto plazo se mitiguen.

## 1.3 Vulnerabilidad y resiliencia

Como se apuntó anteriormente, uno de los problemas que tienen los estudios de seguridad energética basados en indicadores es que generalmente solo recogen causas, no efectos, de la seguridad energética. Pero que exista una causa no quiere decir que se produzca el efecto. Si la economía es lo suficientemente resiliente, robusta o flexible<sup>3</sup>, es decir,

3 Aunque estos tres conceptos no son exactamente iguales, en esta introducción se utilizan de forma equivalente.

si es capaz de recuperarse rápidamente y sin consecuencias de un shock, o si es capaz de adaptarse a la volatilidad de los precios, los efectos se verán muy mitigados. Dicho de otra forma, el sistema será mucho menos vulnerable. En cambio, si el sistema es rígido o sensible, un mismo fenómeno produciría daños mucho mayores. Por lo tanto, la verdadera medida de los costes económicos de la falta de seguridad energética debe incorporar las características del sistema en el que se produce.

A este respecto, un elemento ya mencionado que influye en gran medida en la flexibilidad del sistema energético es la capacidad de almacenamiento. El almacenamiento permite desplazar el consumo de energía de unos momentos temporales a otros, mitigando el riesgo de una falta de suministro a corto plazo (no necesariamente a medio y largo plazo) y aplanando los precios y por tanto los efectos de su variabilidad. Los instrumentos financieros para protegerse frente a variaciones de precio también pueden ser útiles a este respecto, aunque con carácter limitado.

## 1.4 Seguridad energética y dependencia energética

Una cuestión muy importante a la hora de analizar la seguridad energética es establecer sus similitudes y diferencias con la dependencia energética. Porque, aunque generalmente se tratan de forma indistinta, ni son lo mismo ni tienen las mismas consecuencias.

La dependencia energética, o porcentaje de energía que debe importar un país, está evidentemente relacionada con el riesgo de falta de suministro (uno de los dos aspectos de la seguridad energética) pero no de manera absoluta. Evidentemente, el hecho de que la energía deba importarse añade riesgos de interrupción a la cadena de suministro, principalmente geopolíticos<sup>4</sup>. Pero la producción de energía doméstica no elimina totalmente el riesgo de falta de suministro: puede haber rupturas en los procesos de extracción de energía, en su transporte, en su conversión, o en su distribución a los clientes finales. De hecho, incluso en algún caso (por ejemplo, cuando las infraestructuras domésticas están menos desarrolladas que las extranjeras) podría imaginarse que este riesgo de ruptura del proceso fuera mayor en el país importador que en el que importa. En este caso extremo, la dependencia energética podría incluso suponer una mayor seguridad de suministro.

En cuanto al precio, sucede algo similar: salvo excepciones puntuales y parciales, las fuentes energéticas se intercambian en mercados globales y, por ello, el hecho de producirlas domésticamente o importarlas no afecta al precio que paga el país por ellas ni a la variación de los mismos<sup>5</sup>.

Por otro lado, la dependencia energética tiene ciertos efectos sobre la economía que no implican necesariamente cambios en la seguridad energética, ni de cantidad ni de precio. Así, las importaciones pueden afectar al balance comercial del país y, a su vez, al valor de su moneda. La transferencia de rentas asociada a la dependencia energética también puede afectar a la formación de capital a largo plazo. Estos problemas, cuya evidencia empírica por otra parte es más bien dudosa (Toman, 1993), no se deben en todo caso a la seguridad energética en sí misma y por ello no se consideran en este análisis.

4 Estos riesgos geopolíticos son, por otra parte, la razón por la que algunos autores incluyen el gasto militar entre los costes de la seguridad energética. Sin embargo, Bohi y Toman (1996) defienden que este gasto, en todo caso, no sería un coste de la seguridad energética sino de las políticas necesarias para alcanzarla. Además, es complicado separar qué parte de este gasto debe atribuirse a la energía y cuál a otras cuestiones.

5 Es el caso de países medios como España, sin capacidad de influir en los precios del mercado global. No obstante, los grandes países exportadores o importadores sí pueden influir en el mercado. Los segundos se enfrentan a la denominada cuña monopsonista: mayores costes marginales de la energía importada a causa del aumento del precio global de la energía que provoca su mayor demanda.

## 1.5 La seguridad energética como externalidad

De todos los efectos que la falta de seguridad energética produce en la economía, ¿cuáles pueden considerarse externalidades tecnológicas y cuáles puramente pecuniarias?. Esta distinción es relevante, porque afecta a la necesidad de regulación.

Las externalidades tecnológicas se producen cuando las acciones de un agente económico afectan al bienestar de otro, pero no vía precios. Las externalidades pecuniarias tienen lugar cuando las acciones de un agente afectan el bienestar de otro mediante cambios en los precios. Una externalidad pecuniaria no necesita regulación, es una consecuencia natural del mercado que los agentes internalizan inmediatamente, mientras que una externalidad tecnológica es un fallo del mercado que sí debe ser regulado para mejorar la eficiencia económica. Existe una categoría intermedia: las externalidades pecuniarias que no pueden ser correctamente internalizadas por la existencia de otros fallos de mercado.

En general, muchas de las externalidades asociadas con la seguridad energética son pecuniarias (Markandya y Hunt, 2004), si bien en muchos casos requieren intervención pública porque, debido a fallos de información, o a rigideces en los mercados de productos y factores, no pueden ser correctamente internalizadas por los agentes. A este respecto, también es importante señalar que, en ocasiones, la falta de internalización no se debe a fallos de mercado, sino a fallos de regulación. Por ejemplo, los precios regulados (como los de la electricidad o el gas) pueden impedir el ajuste de la economía ante cambios en los precios internacionales de la energía, al igual que los contratos laborales rígidos (Bohi y Toman, 1993).

## 1.6 Conclusión: ¿Qué queremos medir exactamente?

A la vista de lo recogido y argumentado en esta introducción, sí parece teóricamente posible medir con cierta precisión el coste económico de la seguridad energética, entendido como el coste social de una determinada falta de seguridad energética, tanto en cantidad como en precio:

- En términos de cantidad se debe medir el coste causado por una falta de suministro, y multiplicarlo por la probabilidad de su ocurrencia.
- En términos de precio se debe evaluar el coste de ajuste para la economía de la volatilidad en los precios de la energía, multiplicado por una medida de dicha volatilidad.

El coste de una falta de suministro puede evaluarse mediante modelos econométricos (ex-post), mediante encuestas, o mediante modelos de equilibrio general. La probabilidad de ocurrencia puede estimarse mediante evaluaciones probabilistas de riesgo.

En cuanto al coste de ajuste para la economía, generalmente se estiman mediante modelos de equilibrio general o modelos econométricos, tanto para shocks de precios como para indicadores de volatilidad (como por ejemplo la desviación con respecto a la media).

Además, los costes precedentes deben considerar las características del sistema concreto para los que se evalúan, de forma que se recoja la sensibilidad y resiliencia del sistema a estos cambios.

El resto del informe se interesa en la disponibilidad de estudios que midan exactamente este concepto de seguridad energética, o al menos alguno de sus componentes. También se considera la utilidad de estudios de carácter más

general para aproximarse a la medición de la seguridad energética. Así, el capítulo 2 revisa los principales indicadores de seguridad energética propuestos por la literatura, y los clasifica en función del tipo de aspectos de la seguridad energética que incluyen. Además, este capítulo analiza críticamente los componentes que forman parte de los indicadores, separando los que realmente miden causas o efectos de la seguridad energética de aquellos que no lo hacen. Finalmente, el capítulo revisa los principales estudios (alguno de ellos aplicados a España) que utilizan indicadores para evaluar la seguridad energética. Desgraciadamente, casi ninguno de los estudios precedentes mide realmente los beneficios económicos de la seguridad energética. El capítulo 3 identifica los análisis que sí lo hacen y, en particular, recoge los que tratan de cuantificar efectos económicos de cambios en cantidades o precios de la energía.

El cuarto capítulo del informe evalúa, a la luz de los impactos anteriores, las principales estrategias de seguridad energética en la Unión Europea y España. También plantea distintas políticas que se podrían implantar, relacionándolas con los beneficios que pretenden conseguir. Finalmente, el capítulo 5 resume lo presentado en el informe y ofrece algunas conclusiones y recomendaciones de cara al futuro.



[ 0 2 ]

# Indicadores de seguridad energética

**2.1 Metodologías utilizadas**

**2.2 Principales indicadores de seguridad energética**

Crear un indicador sobre seguridad energética consiste esencialmente en buscar un valor o un conjunto de valores simples e intuitivos para su evaluación. Según Cherp y Jewell (2013) cada indicador serviría como una aproximación a ciertas características del suministro energético de una economía, lo que es muy útil porque ya se ha apuntado que la seguridad energética es un concepto muy complejo, con muchos componentes y abundante diversidad en las formas de entenderlo e interpretarlo. En este contexto, disponer de valores numéricos simples facilita considerablemente el ejercicio de definir y evaluar la seguridad energética.

Sin embargo, existe un problema evidente: cualquier tentativa de convertir un concepto complejo en un valor numérico fácil e interpretable es complicada, especialmente si los elementos que se pretenden incluir en el indicador no están necesariamente relacionados con la seguridad energética. A continuación repasamos las principales metodologías e indicadores utilizados en la abundante literatura al respecto.

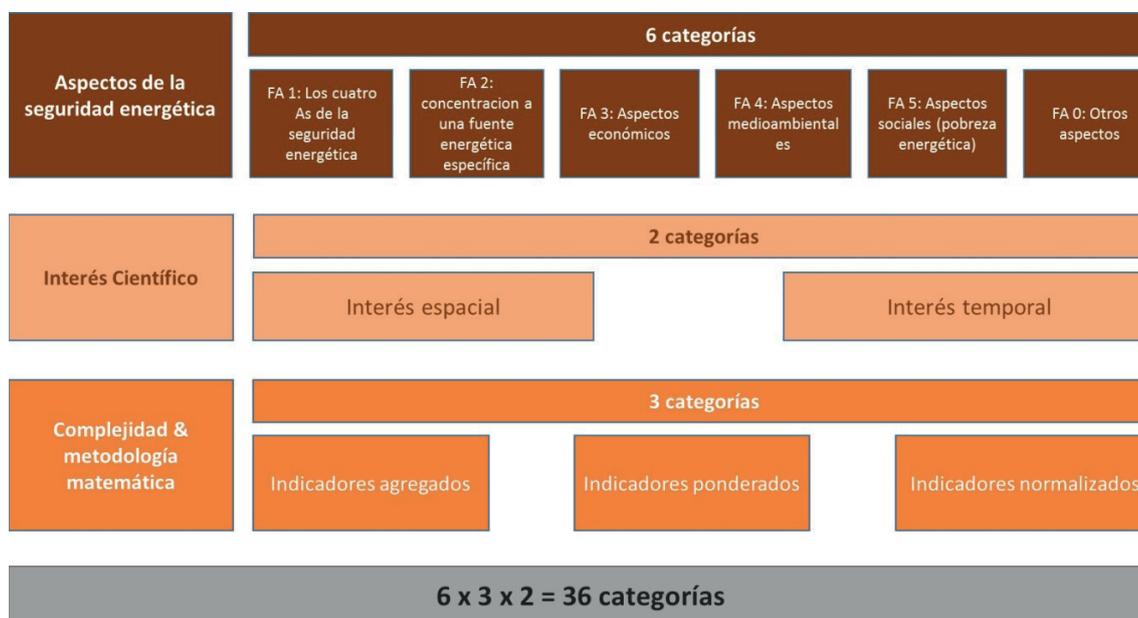
## 2.1 Metodologías utilizadas

A pesar de la numerosa literatura existente, el desarrollo de indicadores de seguridad energética es todavía incipiente y por ello no se puede hablar de una metodología prevalente. Esto lleva a que existan múltiples propuestas de indicadores en la literatura, que en general pueden clasificarse en función de varios criterios:

- *Focalización en distintos aspectos de la seguridad energética*, incluyendo tanto aspectos que realmente se refieren a la seguridad energética como otros que más bien tratan temáticas relacionadas.
- *Metodología de investigación*, en función esencialmente de que el objetivo sea una comparación entre zonas geográficas (países) o en el análisis de la evolución en el tiempo.
- *Complejidad técnica en la combinación de diversas variables*, esto es, número y elección de variables para elaborar el indicador a través de diversos métodos.

Cada categoría recoge un número elevado de opciones, lo que determina una gran cantidad de metodologías y propuestas de indicadores sobre la seguridad energética. Para un resumen exhaustivo de los trabajos académicos con indicadores sobre la seguridad energética véase Ang et al. (2015).

Figura 1. Estructura de la tipología de indicadores sobre seguridad energética en la literatura



Fuente: Elaboración propia a partir de Ang et al. (2015)

Siguiendo la clasificación recogida en la Figura 1, existirían 36 ( $6 \times 2 \times 3$ ) posibles tipos de indicadores de seguridad energética. A continuación se describen las distintas categorías en detalle.

### 2.1.1. Aspectos de la seguridad energética: Áreas de interés (AIs)

Ang et al. (2015) definen distintas temáticas en las que suelen centrarse los distintos estudios dentro del concepto de seguridad energética o vinculado a la seguridad energética. Esto es especialmente relevante porque, tal y como se apuntó en el capítulo precedente, la seguridad energética es un concepto amplio que requiere una definición clara de lo que incorpora. En este sentido, es posible clasificar los estudios que emplean la metodología de indicadores en función de sus áreas de interés.

- AI 1 – Las cuatro As de la seguridad energética (*Availability Disponibilidad*, *Affordability Asequibilidad*, *Accessibility Accesibilidad*, y *Acceptability Aceptación*). Esta temática está relacionada con la disponibilidad física de la energía, de modo que los indicadores de esta categoría están diseñados para medir este aspecto de la seguridad energética. Dentro de este ámbito también se incluyen indicadores sobre la disponibilidad de recursos energéticos, el acceso (o falta de acceso) por razones geográficas, geopolíticas o tecnológicas, el coste y precio de la disponibilidad de energía, y cuestiones relacionadas con la aceptación por parte de la población de ciertas fuentes de energía. Los estudios en esta categoría suelen ser de naturaleza espacial y, además de conformar las primeras aproximaciones dentro de la literatura (ver por ejemplo Deese 1979 o Yergin 1988), en la actualidad siguen conformando una parte sustancial de análisis.
- AI 2 – Recursos energéticos específicos. Los indicadores de esta categoría se suelen centrar en el análisis específico de un tipo de recurso energético, identificando y cuantificando ‘amenazas’. En algunos casos los trabajos construyen posteriormente un indicador común de varias fuentes energéticas mediante un índice ponderado (véase la sección correspondiente de este informe). Estos estudios suelen centrarse en los recursos energéticos fósiles, en particular petróleo y gas natural, aunque también hay estudios para energía

nuclear. Por ello esta metodología ha sido aplicada principalmente para el análisis de la seguridad energética en países que dependen altamente de ese tipo de recursos.

- AI 3 – Aspectos económicos. Esta área de interés se solapa parcialmente con las consideraciones sobre costes/precios energéticos de la primera categoría. No obstante, según Ang et al. (2015) aquí se incluyen múltiples estudios cuyos indicadores pretenden analizar los aspectos económicos de una manera elaborada y extensa.
- AI 4 – Aspectos ambientales. Hay una creciente literatura sobre indicadores de aspectos ambientales y de sostenibilidad. En cualquier caso, estas cuestiones presentan características propias que, a pesar de compartir algunos puntos en común, no deberían confundirse con la seguridad energética.
- AI 5 – Aspectos sociales. Este es el componente fundamental de los estudios sobre seguridad energética en países poco desarrollados, donde el acceso a la energía es problemático por falta de infraestructura y/o por el bajo poder adquisitivo de los ciudadanos que puede llevar a fenómenos de pobreza energética.
- AI 0 – Otros indicadores. Aquí se incluyen todos los trabajos de elaboración de indicadores energéticos que no se encuentran en las categorías anteriores, en particular indicadores coyunturales y sobre oferta y demanda.

Teniendo en cuenta el capítulo introductorio y la definición elaborada sobre qué es y qué no es seguridad energética, las tres primeras áreas de interés son las que realmente se deberían asociar a la seguridad energética. Las restantes tratan temáticas relacionadas con la seguridad energética y tienen una interacción clara con ella, pero recogen conceptos con una entidad propia e independiente.

### 2.1.2. Interés científico espacial o temporal

Como ya se avanzó, un indicador de seguridad energética puede ser comparado en el tiempo o entre diversas realidades geográficas o económicas. Los estudios temporales analizan el valor del indicador a lo largo del tiempo, analizando e interpretando posibles cambios en el indicador en un mismo entorno. Habitualmente los estudios temporales emplean un intervalo mínimo de dos años y, en ocasiones, buscan suministrar predicciones del indicador para el futuro a través de los escenarios de referencia del *World Energy Outlook* de la Agencia Internacional de la Energía o similares.

Por su parte, los estudios espaciales intentan analizar las diferencias en los valores del indicador por regiones geográficas, lo que habitualmente implica la exploración de posibles factores (económicos, infraestructurales, políticos, etc.) que inciden en estas diferencias. En cualquier caso, la distinción entre indicadores temporales o espaciales es meramente temática ya que la metodología de construcción del indicador puede coincidir en ambos casos.

### 2.1.3. Metodología y complejidad técnica

El indicador más simple y más frecuentemente utilizado es el NEID (Net Energy Import Dependency – *Dependencia Neta de las Importaciones Energéticas*). Recoge el ratio entre el valor de las importaciones energéticas y una variable que cuantifica el poder adquisitivo de la economía, habitualmente el PIB. Sin embargo ya se ha apuntado que la dependencia energética es un concepto distinto de la seguridad energética.

En muchos casos los indicadores se elaboran a partir de variables de características muy distintas: cuantitativas o cualitativas, con valores económicos reales o evaluaciones de expertos. Asimismo, el origen y las fuentes de información pueden ser muy diversos, lo que complica el ejercicio de integrar y homogenizar las variables para elaborar un indicador intuitivo y coherente. A este efecto la literatura ha empleado una serie de técnicas que se detallan a continuación.

- Indicadores normalizados. Es habitual que los indicadores se compongan de variables de distintas escalas y definiciones. La normalización pretende homogeneizar estos valores para conseguir un grado aceptable de comparabilidad, aunque esto convierte a los indicadores en medidas relativas. Existen varias técnicas de normalización:
  - La metodología 'max-min' emplea el rango entre el valor mínimo y máximo que puede tomar una variable, transformando los valores para que éstos se encuentren dentro del intervalo 0-1.
  - La metodología de 'distancia a la referencia' requiere la definición de valores de referencia, sobre los que se calcula posteriormente la distancia con el valor observado. Es evidente que en este caso la definición y elección adecuada de las referencias es clave.
  - La metodología de 'estandarización' aplica los algoritmos matemáticos de la transformación Z. Esta aproximación define la escala y el valor de los indicadores a través de su desviación con respecto al promedio, siendo necesario para un adecuado funcionamiento un elevado número de observaciones y una recalibración cuando se disponga de nuevos datos<sup>1</sup>.
  - Otras metodologías de normalización, menos habituales en la literatura (véase, por ejemplo, Augutis et al. 2012).
- Indicadores ponderados. Esta metodología se aplica principalmente cuando el indicador se construye a partir de *inputs* de terceros, por ejemplo información de expertos o encuestas. En estos casos es preciso ordenar y agregar en un único valor los datos obtenidos. La mayoría de los trabajos académicos emplean la misma ponderación para cada observación, si bien en algunos casos se lleva a cabo una aproximación más elaborada como con el denominado Análisis de Componentes Principales (ACP).<sup>2</sup> En estudios sobre fuentes energéticas específicas también se utiliza como ponderación el porcentaje que suponen las importaciones.
- Otros indicadores. Entre los indicadores no reseñados que se utilizan con más frecuencia se encuentran el Índice de Shannon (véase Jansen et al., 2004), que analiza la diversificación del suministro combinando cuatro índices diseñados para medir diversidad; el Índice de Seguridad Energética (ESI por sus siglas en inglés: véase IEA, 2007), que puede aplicarse a cuestiones de diversificación de suministro o a precios energéticos; o las metodologías del análisis financiero como el *Mean Portfolio Analysis*, aplicado en estudios de seguridad energética y que calcula la media de todos los posibles resultados ponderándolos por la probabilidad su ocurrencia y considerando las correlaciones entre eventos (Awerbuch y Berger, 2003). Otra metodología importada desde otros ámbitos de la ciencia económica es el índice de Hirschmann-Herfindahl, que ha sido adaptado para analizar la dependencia de importaciones energéticas, por ejemplo dentro del denominado *Energy Security Import Index* (ESMI)<sup>3</sup>.
- Agregación e indicadores compuestos. Muchos estudios usan un conjunto de subíndices que después agregan en un único índice compuesto. La manera más simple de agregación es la adición, pero existen múltiples técnicas matemáticas para agregar según otras reglas, por ejemplo el RSME (*Root Mean Square of Errors*), y también es posible acudir a las técnicas de ponderación (véase categoría previa) para agregar o componer un índice. Un ejemplo de esta categoría es el Índice de Vulnerabilidad del Petróleo (OVI en sus siglas en inglés), calculado por Gula (2008) y que incluye diversos factores relativos al mercado de este bien energético: demanda, geopolítica, infraestructura de distribución, reservas, etc.

1 Véase, por ejemplo, Hazewinkel (2001) para una introducción del concepto.

2 El ACP es una técnica estadística multivariante que permite reducir la dimensionalidad de los datos, transformando un conjunto de  $p$  variables originales en  $q$  variables no correlacionadas ( $q \leq p$ ).

3 Krut et al. (2009) o Couder (2015) ofrecen un resumen de dichos indicadores.

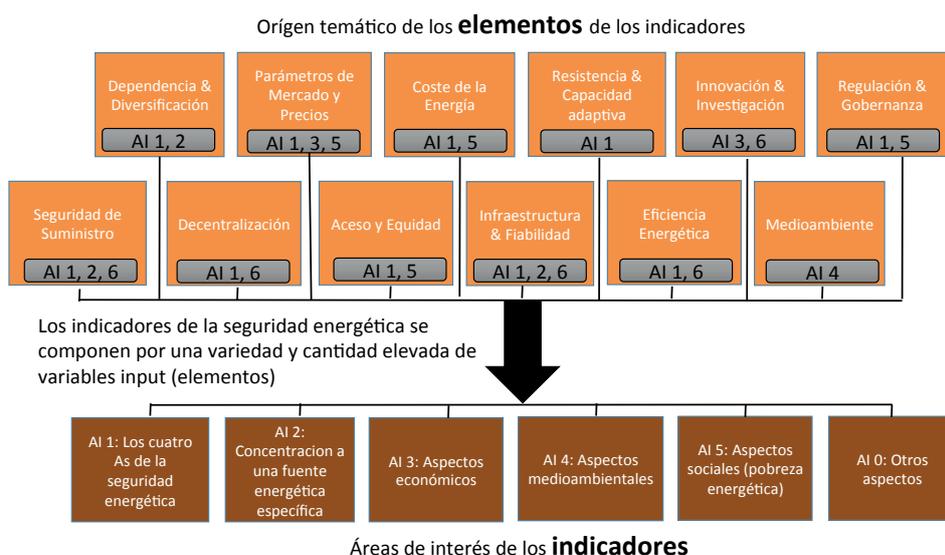
La gran diversidad de variables y metodologías presentadas es problemática, ya que afecta negativamente a la comparabilidad entre indicadores. Winzer (2012) resume las metodologías existentes para cuantificar la seguridad energética y, si bien no produce un indicador propio, demuestra mediante datos de tres países (Italia, Gran Bretaña, Austria) que la percepción de la seguridad energética depende en gran medida de la metodología utilizada en cada indicador. De hecho, considerando ocho alternativas para construir un indicador de seguridad energética en los países citados, apunta que el nivel relativo de seguridad energética depende del indicador utilizado (lo que demuestra que en cada caso se están midiendo cosas distintas).

## 2.2 Principales indicadores de seguridad energética

En este apartado se recogen algunos de los indicadores más interesantes y representativos en los estudios sobre la seguridad energética, con las variables utilizadas en su elaboración. A pesar de haber avanzado las Áreas de Interés de los indicadores en el apartado precedente, estas categorías no pueden usarse para las variables empleadas porque los indicadores se componen de varios elementos (en algunos casos más de veinte)<sup>4</sup>. De hecho, es perfectamente posible que dos indicadores distintos y pertenecientes a distintas AIs se elaboren con algunos elementos similares.

La Figura 2 recoge esta situación, donde los denominados elementos se usan para elaborar los indicadores sobre seguridad energética siguiendo alguna de las metodologías descritas con anterioridad. Básicamente, cualquier elemento podría formar parte de un indicador en cada AI y cada indicador está compuesto por muchos elementos (20 o más). No obstante, es posible asignar grupos de elementos a algunas AIs de los indicadores finales al existir una cercanía temática, esto es, para elaborar un indicador sensato en ciertas AIs es necesario utilizar determinados tipos de elementos. Tal "cercanía" temática está representada en la Figura 2 mediante rectángulos grises que conectan los grupos de elementos con algunas áreas de interés.

Figura 2. Indicadores de seguridad energética y variables (elementos) empleadas para elaborarlos



Fuente: Elaboración propia

4 Estas variables empleadas para elaborar los indicadores de seguridad energética pueden considerarse como sus "componentes".

A continuación analizamos los elementos utilizados para construir los indicadores, y posteriormente presentamos los indicadores más utilizados.

### 2.2.1. Variables

Cada indicador está compuesto por varias variables, empleando una serie de *inputs* que dependerán de la metodología empleada. La Tabla 2 suministra un listado de las variables que han sido utilizadas en la literatura de indicadores de seguridad energética. Son aproximadamente 150 variables, lo que apunta a una elevada variabilidad y dispersión.

Estas variables tienen una clara temática original, a diferencia de los indicadores finales que pueden estar formados por varios elementos de distintas temáticas. Por ello, también se analizan las variables en función de su grado de adecuación para medir correctamente la seguridad energética. Así, dado que algunos estudios incluyen variables como componentes de la seguridad energética que realmente no lo son<sup>5</sup>, en cada variable se emplean distintos colores para indicar si consideramos que está o no realmente representando algún componente de seguridad energética:

- En negro señalamos variables que no tienen, en nuestra opinión, nada que ver con la seguridad energética
- En azul señalamos las variables que son realmente útiles para medir algún componente de la seguridad energética
- Finalmente, en naranja indicamos aquellas variables que miden realmente la seguridad energética y que además tienen implicaciones económicas

**Tabla 2. Variables usadas en la literatura sobre indicadores de seguridad energética**

**Negro:** variables que no tienen nada que ver con la seguridad energética

**Azul:** variables que son realmente útiles para medir algún componente de la seguridad energética

**Naranja:** variables que miden realmente la seguridad energética y que además tienen implicaciones económicas

Disponibilidad Seguridad de suministro		FA 1, FA 2, FA 6
OTEP (Oferta total de energía primaria) (en niveles o per cápita)	Consumo total de energía final (en niveles o per cápita)	Ratio recursos/producción y ratio reservas/producción (petróleo, carbón, gas, uranio)
Ratios medios reservas/producción para los cuatro productos energéticos primarios (uranio, carbón, gas natural y petróleo) en los años restantes	Demanda eléctrica total	Capacidad de generación eléctrica instalada total
Demanda pico	Demanda base	Capacidad de generación eléctrica per capita
Reserva de control de frecuencia secundaria y terciaria	Capacidad de generación térmica	Proporción de petróleo crudo en la producción offshore
Volatilidad de la producción doméstica de petróleo crudo	Volatilidad anual de la producción hidroeléctrica	Capacidad de refinado/procesamiento (como fracción de la OTEP, porcentaje de producción,
Proporción de la minería que está bajo tierra	Capacidad de envío diario de los depósitos subterráneos y de gas licuado	Proporción de gas de producción offshore

<sup>5</sup> Por ejemplo, la eficiencia energética es un elemento relacionado con la seguridad energética, en cuanto que puede contribuir a su consecución, si bien no debería entenderse como un componente intrínseco de ésta.

<b>Disponibilidad Dependencia y Diversificación</b>		<b>FA 1, FA 2</b>
Ratio de dependencia de las importaciones: proporción de importaciones netas en el consumo total (petróleo, carbón, gas, uranio)	Importaciones netas de electricidad	Cambio anual en las importaciones netas de electricidad
Proporción de recursos energéticos importados en el portfolio de generación eléctrica (carbón, gas natural, fueloil pesado y nuclear)	Cambio anual en las importaciones netas de combustibles	Dependencia de las importaciones de combustibles sólidos
Proporción de la energía de los sectores de uso final procedente de combustibles importados	Dependencia de las importaciones de los vectores energéticos: proporción de vectores energéticos (productos petrolíferos, combustibles sintéticos, hidrógeno, electricidad, biocombustibles) producidos con fuentes importadas	Autosuficiencia energética: ratio producción/consumo domésticos (petróleo, gas, carbón, uranio)
Diversificación por fuentes de la oferta de energía primaria	Diversificación (por rutas de transporte)	Estatus de la generación con fuentes renovables excluyendo la gran hidráulica
Peso de las renovables en la oferta total de energía primaria	Peso de las renovables en el consumo final de energía	Peso de las renovables en la producción eléctrica
Diferenciación del combustible energético (calefacción y refrigeración)	Peso de las centrales multicombustible en la capacidad total de generación térmica	Diversificación de la generación eléctrica (por tipo de combustible)
Diversidad de fuentes de energía primaria en los sectores de uso final (Transporte, industrial, residencial y comercial)	Diversidad de vectores energéticos en el sector de uso final (productos petrolíferos, combustibles sintéticos, hidrógeno, electricidad, biocombustibles)	Peso de la energía nuclear en la oferta total de energía primaria
Peso de Oriente medio en las importaciones totales de petróleo Share of the Middle East in total oil imports	Dispersión geográfica de las instalaciones energéticas	
<b>Disponibilidad Descentralización</b>		<b>FA 1, FA 6</b>
Tasa de generación distribuida	Proporción de necesidades energéticas cubiertas por generación distribuida (unidades de menos de 1 MW)	Número de sistemas de energía solar fotovoltaica residencial instalados
Capacidad instalada de pilas de combustible	Capacidad instalada de microturbinas	Número de hogares atendidos por microrredes
<b>Asequibilidad Parametros de mercado y precios</b>		<b>FA 1, FA 3, FA 5</b>
PIB (Producto interior bruto), RNB (Renta nacional bruta) (en niveles o per cápita)	Ratio coste de las importaciones energéticas/Ingresos totales de las exportaciones	Ratio ingresos de las exportaciones de combustibles/PIB
Tipo de cambio (volatilidad)	Volatilidad del Índice del Dólar	
Elasticidad precio de la demanda de energía	Renta del hogar (total y del 20% de la población más pobre)	Renta del hogar gastada en combustibles y electricidad
World oil price	Average household expenditure on energy	Calificación del riesgo geopolítico

Coste medio de oferta de la energía importada	Precios finales de la energía con y sin impuesto/subsidio por combustibles y sectores (residencial, comercial, industrial)	Tendencia histórica de los precios de los combustibles, fluctuaciones (después de inflación) y volatilidad
Precios de mercado y en el mercado mayorista de petróleo, gas, carbón, uranio, electricidad(industrial y residencial) y carbono	Precios de venta al público de la gasolina	Volatilidad del gasto energético
Cuota de mercado de los tres mayores suministradores por fuentes	Porcentaje del uso energético cubierto por contratos a largo plazo	Coste marginal de la generación eléctrica
Coste del combustible en la generación eléctrica	Costes de transporte y distribución de la electricidad	Liquidez del mercado (petróleo, carbón, gas, uranio): ratio de las importaciones mundiales de cada fuente en relación a las importaciones netas de la fuente de un determinado país

<b>Asequibilidad Acceso y equidad</b>		<b>FA 1, FA 5</b>
Hogares (o población) sin electricidad o energía comercial	Hogares (o población) altamente dependientes de la energía no comercial	Fracción de la población con acceso a los servicios energéticos básicos
Porcentaje de la población con conexión a la red eléctrica de alta calidad	Viviendas con acceso continuo a la electricidad	Tasa de electrificación, expansión/número de nuevos clientes atendidos
Consumo doméstico anual de electricidad	Porcentaje de la población dependiente de carbón, estiércol y biomasa para cocinar	Horas diarias con electricidad

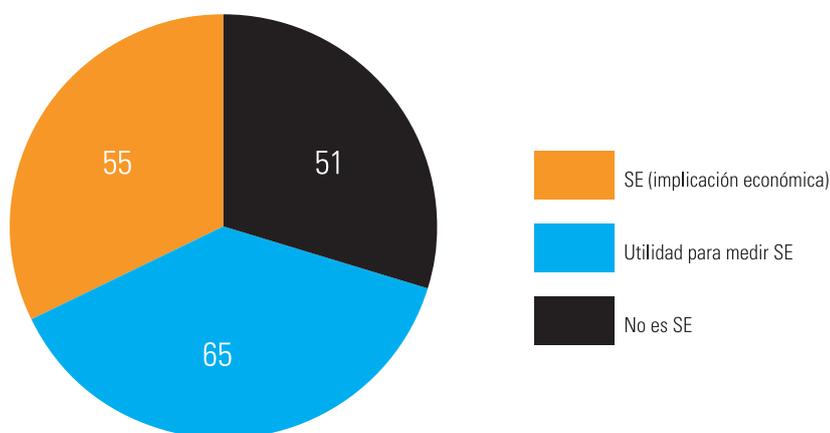
<b>Asequibilidad coste de la energía</b>		<b>FA 1, FA 5</b>
Coste medio de oferta de la energía importada	Precios finales de la energía con y sin impuesto/subsidio por combustibles y sectores (residencial, comercial, industrial)	Tendencia histórica de los precios de los combustibles, fluctuaciones (después de inflación) y volatilidad
Precios de mercado y en el mercado mayorista de petróleo, gas, carbón, uranio, electricidad(industrial y residencial) y carbono	Precios de venta al público de la gasolina	Volatilidad del gasto energético
Cuota de mercado de los tres mayores suministradores por fuentes	Porcentaje del uso energético cubierto por contratos a largo plazo	Coste marginal de la generación eléctrica
Coste del combustible en la generación eléctrica	Costes de transporte y distribución de la electricidad	Liquidez del mercado (petróleo, carbón, gas, uranio): ratio de las importaciones mundiales de cada fuente en relación a las importaciones netas de la fuente de un determinado país
Calificación de riesgo geopolítico		

<b>Tecnología y eficiencia Infraestructura y fiabilidad</b>		<b>FA 1, FA 6</b>
Eficiencia de la transformación y distribución de energía (pérdidas en los sistemas de transformación incluyendo pérdidas en la generación, transporte y distribución de electricidad)	SAIDI de la electricidad (índice de duración media de las interrupciones del sistema)	SAIDI de la electricidad excluyendo eventos excepcionales
SAIDI de la calefacción	SAIFI (Índice de frecuencia media de las interrupciones del sistema)	Éxito en el cumplimiento del objetivo previsto de oferta energética doméstica
Pérdida en el PIB debido a las interrupciones eléctricas	VOLL (Valor de la carga perdida)	Capacidad de generación eléctrica renovable intermitente
Exposición de la infraestructura energética fundamental a riesgos militares/de seguridad relacionados con la energía (p.e. terrorismo, conflictos sobre los recursos, piratería, proliferación de armas nucleares)	Puntos de entrada: puertos, tuberías, vías férreas (petróleo crudo y productos petrolíferos, gas, gas licuado, carbón)	Antigüedad media de las centrales nucleares
Diversidad de modelos de reactor	Número de centrales nucleares	Frecuencia de los cortes eléctricos: ratio de la frecuencia de los apagones por año en relación a número de clientes
Duración de los cortes eléctricos: Ratio de la duración acumulada de los apagones en relación al número de clientes	Capacidad de reserva de las principales tuberías	Estrés del sistema: período en el que la demanda alcanza el 85% de la capacidad total del sistema eléctrico
Capacidad total de interconexión eléctrica	Número de interconexiones eléctricas en las fronteras nacionales	Cantidad de electricidad comercializada a través de las interconexiones
<b>Asequibilidad Resistencia y capacidad adaptiva</b>		<b>FA 1</b>
Margen de reserva (electricidad y gas) (Capacidad total/demanda máxima)	Ratios entre la carga máxima y la carga base	Perfiles de generación en verano/invierno
Reservas de emergencia (petróleo, carbón y gas natural) expresadas en porcentaje de las importaciones y del consumo, y en días de demanda que cubren	Porcentaje de la capacidad de generación realmente utilizada	
<b>Tecnología y eficiencia Eficiencia energética</b>		<b>FA 1, FA 6</b>
Intensidad energética (Consumo energético/PIB)	Intensidades energéticas por sector (Industrial, Agrícola, Servicios/comercial, Hogares, transporte)	Intensidad petrolífera (PIB)
Intensidad gasística(PIB),	Consumo eléctrico per cápita	Crecimiento del consumo energético/ crecimiento económico
<b>Tecnología y eficiencia Innovación e Investigación</b>		<b>FA 3, FA 6</b>
Gasto total en I+D relacionado con la energía/PIB	Diversidad del gasto en I+D relacionado con la energía	Inversión en transporte de electricidad
Intensidad de la investigación pública (gasto público en investigación energética en relación al gasto público total)	Presupuestos de investigación en renovables	Gastos industriales en I+D en energía
Coste per cápita de los subsidios energéticos		

Medio Ambiente		FA 3, FA 6
Emisiones de GEI de la producción energética per cápita	Emisiones de GEI de la producción energética por unidad de PIB	Emisiones de GEI en relación a la OTEP
GEI de la producción de electricidad y vapor	Peso de las emisiones del país en las emisiones globales de CO <sub>2</sub>	Toneladas de SO <sub>2</sub> por persona
Tasa de deforestación atribuida al uso de energía	Ratio de residuos sólidos generados en relación a las unidades de energía producida	Residuos nucleares
Ratio de residuos radiactivos sólidos generados en relación a las unidades de energía producida	Ratio de residuos radiactivos sólidos pendientes de eliminación en relación al total de residuos radiactivos sólidos generados	Tierras utilizadas para la conversión de electricidad en las centrales de carbón
Descargas contaminantes de vertidos líquidos procedentes de los sistemas energéticos	Agua utilizada para la generación de electricidad	Volumen medio de aguas residuales procedentes de las centrales de carbón
Concentraciones ambientales de contaminantes atmosféricos en áreas urbanas	Emisiones de contaminantes atmosféricos procedentes de los sistemas energéticos	
Regulación y Gobernanza		FA 6
Estabilidad política de los suministradores	Índice de percepción de la corrupción de Transparency International	Imperio de la ley
Derechos políticos	Tasa de demanda contractualmente flexible (contratos de interrumpibilidad, cambios de combustible por orden gubernamental)	Existencia de política de seguridad energética
Transparencia de la política de seguridad energética	Revisiones periódicas de la política	Problemas de abastecimiento abordados en la política
Cuestiones de gestión de la demanda abordadas en la política	Cuestiones de eficiencia abordadas en la política	Cuestiones económicas abordadas en la política
Cuestiones ambientales abordadas en la política	Cuestiones de seguridad humana abordadas en la política	Cuestiones militares/de seguridad abordadas en la política
Cuestiones socio-culturales y políticas abordadas en la política	Cuestiones tecnológicas abordadas en la política	Cuestiones de cooperación internacional abordadas en la política
Relaciones históricas con los suministradores clave	Proporción de los ingresos públicos dependientes de la energía	Índice de percepción de la corrupción de Transparency International
Indicadores de gobernanza mundial (Banco Mundial)	Presencia de metas u objetivos de cambio climático	

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 2 indica claramente que muchas de las variables empleadas para construir los indicadores de seguridad energética en la literatura no representan realmente los elementos clave de este concepto (ver capítulo 1). De las 171 variables solo 120 pueden considerarse como buenas aproximaciones a la seguridad energética y un número aún menor tiene implicaciones económicas (55). La Figura 3 resume esta información de forma gráfica.

**Figura 3. Distribución de los elementos de los indicadores de seguridad energética según relevancia**

Fuente: Elaboración propia

### 2.2.2. Indicadores de seguridad energética

Ya se avanzó con anterioridad que las variables se combinan en forma de distintos tipos de indicadores de seguridad energética. La Tabla 3 resume los índices más frecuentemente utilizados por la literatura en este ámbito.

**Tabla 3. Índices de seguridad energética más frecuentes**

Nombre	Descripción	Origen del índice	Descr. detallada
Herfindahl–Hirschman index (HHI)	Suma de los cuadrados de las cuotas de mercado de cada suministrador o de cada país suministrador. (El índice tiene su origen en la medida de la competitividad en un mercado.)	Herfindahl & Hirschmann	Kruyt et al. 2009 p.2178
Shannon Index	Indicador alternativo al HHI: en este caso se multiplica cada cuota por su propio logaritmo natural.	Shannon 1948	Kruyt et al. 2009 p.2178
Energy Security Market Concentration (ESMC)	Para cada fuente energética se calcula el índice de Hirschmann-Herfindahl.	IEA	IEA 2007 p.55
Political Energy Security Market Concentration (ESMCpol)	Variación de ESMC según la seguridad política por país suministrador (en vez de por suministrador individual)	IEA	IEA 2007 p.57
Energy Security Index (ESI)	Exposición de un país a los riesgos de ESMC o ESMCpol. Se multiplican los ESMC de cada fuente energético por su importancia en el mix energético.	IEA	IEA 2007 p.58
Energy Security Import Index (ESMI)	Cuota de las importaciones netas energéticas de una región en su consumo energético total.	n.a.	Couder 2015 p.21
Oil Vulnerability Index (OVI)	Se determinan relaciones lineales con cinco indicadores de seguridad energética para componer el nuevo índice.	Gula 2008	Gula 2008 p. 1201

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, se resumen otros estudios relevantes que han elaborado indicadores de seguridad energética, aplicando en algunos casos las metodologías y elementos mencionados en los apartados anteriores.

**Avedillo y Muñoz (2008)** construyen dos indicadores para 27 países<sup>6</sup>, uno de dependencia y otro de vulnerabilidad energética. Para ello emplean la metodología de Análisis de Componentes Principales (ACP) a través de fórmulas concretas para la dependencia y la vulnerabilidad<sup>7</sup>. El cálculo de los indicadores se realiza utilizando datos de Eurostat, Agencia Internacional de la Energía, BP Statistical Review, y el *Energy Inquiry* de la Dirección General de Competencia de la Comisión Europea. La Tabla 4 recoge los resultados de sus cálculos.

**Tabla 4. Indicadores de dependencia y vulnerabilidad energética**

Dependencia			Vulnerabilidad		
1	Hungría	100.0%	1	Irlanda	100.0%
2	Suiza	96.6%	2	Holanda	83.5%
3	R. Eslovaca	94.3%	3	Grecia	81.4%
4	Italia	93.5%	4	Italia	80.9%
5	Austria	89.5%	5	Japón	79.7%
6	Turquía	88.2%	6	Corea	73.7%
7	Portugal	86.5%	7	Reino Unido	72.6%
8	Bélgica	84.1%	8	<b>España</b>	<b>68.3%</b>
9	Bulgaria	81.9%	9	Portugal	68.2%
10	Grecia	80.5%	10	EEUU	62.9%
11	Finlandia	79.4%	11	Rep Checa	61.5%
12	Rep Checa	78.9%	12	Bulgaria	61.1%
13	<b>España</b>	<b>78.9%</b>	13	Alemania	61.1%
14	Alemania	78.4%	14	Turquía	59.8%
15	Polonia	73.8%	15	Bélgica	58.8%
16	Francia	72.5%	16	Hungría	57.0%
17	Holanda	72.2%	17	Dinamarca	51.7%
18	Corea	69.7%	18	Francia	48.6%
19	Irlanda	69.0%	19	Polonia	45.6%
20	Japón	64.8%	20	Australia	43.8%
21	Suecia	60.6%	21	R. Checa	42.3%
22	EEUU	50.5%	22	Austria	40.6%
23	N. Zelanda	50.5%	23	N. Zelanda	38.1%
24	Reino Unido	38.8%	24	Suecia	27.2%
25	Dinamarca	32.8%	25	Finlandia	23.9%
26	Australia	12.9%	26	Suiza	15.5%

Fuente: Avedillo y Muñoz (2008)

**Loeschel et al. (2010)** resumen y detallan, en primer lugar, los fundamentos de algunos indicadores de seguridad energética a corto y largo plazo, como por ejemplo ES, ESMC, ESI ya avanzados con anterioridad. A continuación proceden a la creación de indicadores propios mediante un análisis espacial y temporal que se aplica para cuatro países (España, Holanda, Alemania, y Estados Unidos) en el año 2005 y una predicción para 2030. El indicador considera tanto la concentración de los suministradores como la diversificación de fuentes de energía, respondiendo así a las ideas básicas formuladas tanto por la Agencia Internacional de Energía como por la Comisión Europea. Asimismo, su

6 Alemania, Australia, Austria, Bélgica, Bulgaria, Corea, Dinamarca, EE.UU., Eslovaquia, España, Finlandia, Francia, Grecia, Holanda, Hungría, Irlanda, Italia, Japón, Nueva Zelanda, Polonia, Portugal, Reino Unido, República Checa, Suecia, Suiza y Turquía.

7 Índice de dependencia:  $-0.499^* \text{ Cobertura de energías primarias} - 0.455^* \text{ Estabilidad Geopolítica} - 0.547^* \text{ Poder de Negociación} - 0.024^* \text{ Cobertura eléctrica} + 0.007^* \text{ Diversificación de energías primarias} + 0.188^* \text{ Conectividad eléctrica} - 0.456^* \text{ Conectividad Gasista}$ . Índice de vulnerabilidad:  $-0.187^* \text{ Cobertura de energías primarias} + 0.251^* \text{ Estabilidad Geopolítica} + 0.003^* \text{ Poder de Negociación} - 0.684^* \text{ Cobertura eléctrica} - 0.559^* \text{ Diversificación de energías primarias} - 0.315^* \text{ Conectividad eléctrica} - 0.153^* \text{ Conectividad Gasista}$

propuesta tiene en cuenta el riesgo político de cada país. La Tabla 5 recoge sus principales resultados (cifras elevadas indican menor SE).

**Tabla 5. Indicador espacial-temporal de seguridad energética**

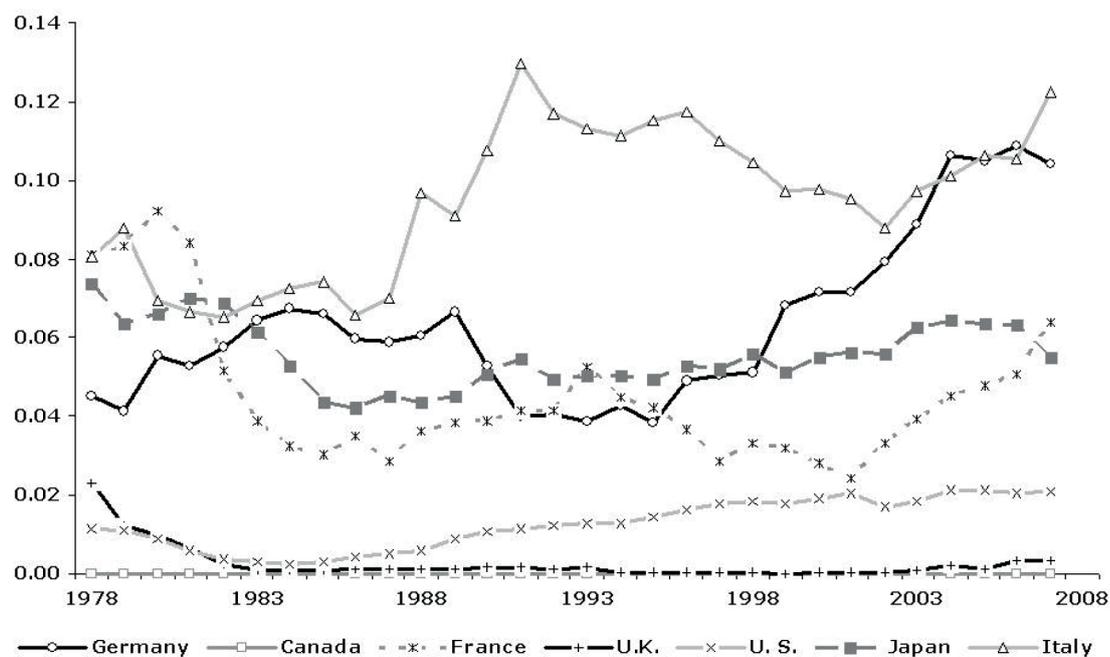
	2005	2030
Alemania	0,675	0,545
Holanda	0,582	0,610
España	0,740	0,733
Estados Unidos	0,660	0,695

Nota: Versión considerando riesgo político.

Fuente: Loeschel et al. (2010)

**Frondel et al. (2009)** aplican una metodología estándar para evaluar la seguridad energética de los países de G7 desde el punto de vista de la diversificación y el riesgo de suministro de combustibles fósiles (petróleo, gas natural, carbón). Su análisis cubre el período 1978-2007, por lo que se trata de un análisis espacial y temporal. A este efecto se define una metodología para medir el riesgo de suministro energético, considerando tanto el país de origen como el porcentaje de importaciones de ese país para cada fuente energética. El resultado son series temporales de indicadores sobre la seguridad/riesgo de suministro de cada país, tal y como se recoge en la Figura 4. Como puede observarse, los resultados de Frondel et al. (2009) muestran un aumento (reducción) del riesgo de suministro en Alemania y Italia (Japón y Francia).

**Figura 4. Indicadores de seguridad de suministro energético de miembros del G7 para 1978-2007**

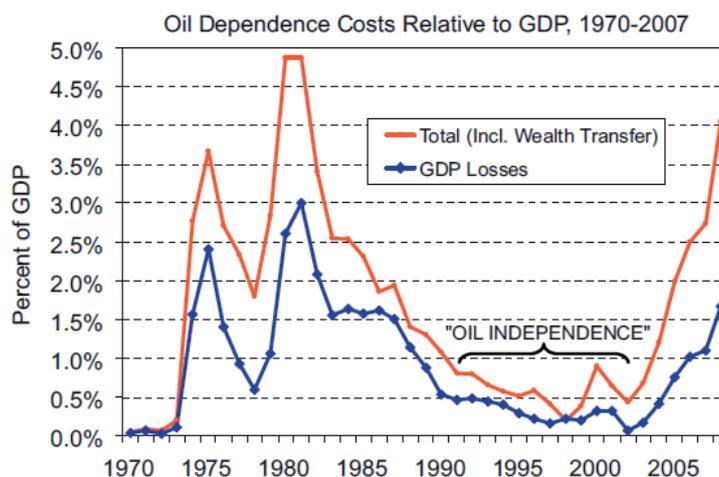


Nota: Indicadores homogenizados: 100 = valor de Alemania 1980

Fuente: Frondel et al. (2009)

**Greene (2010)** se interesa, de forma retrospectiva, por los costes de la dependencia del petróleo en Estados Unidos. Aplicando una metodología desarrollada con anterioridad (Greene y Leiby, 2006), el coste de la dependencia se define como la pérdida de bienestar en relación al PIB y se calcula con datos de la Energy Information Administration para el período 1970-2007. A este efecto se consideran dos alternativas que se recogen en la Figura 5: costes con transferencia de bienestar (relocalización de rentas de consumidores a productores, en naranja), o sin ella (en azul).

**Figura 5. Costes de la dependencia del petróleo en relación al PIB de EE.UU. entre 1970 y 2007**



Fuente: Greene (2010)

**Le Coq y Paltseva (2009)**, por su parte, construyen un índice de seguridad de suministro en el que consideran elementos como la cantidad de energía suministrada domésticamente o importada, la concentración de los proveedores, la estabilidad política en los países de suministro y en los países de tránsito, o la infraestructura energética. Estos factores se combinan aplicando, entre otras, la metodología de concentración de Hirschmann-Herfindahl. De este modo, empleando datos que proceden fundamentalmente de las bases de datos de la Agencia Internacional de la Energía, obtienen indicadores para las tres principales fuentes de energía (carbón, petróleo y gas natural) en los principales países de la UE. La Tabla 6 resume los resultados de su aplicación.

Tabla 6. Indicadores de seguridad energética para petróleo, gas natural y carbón en la UE

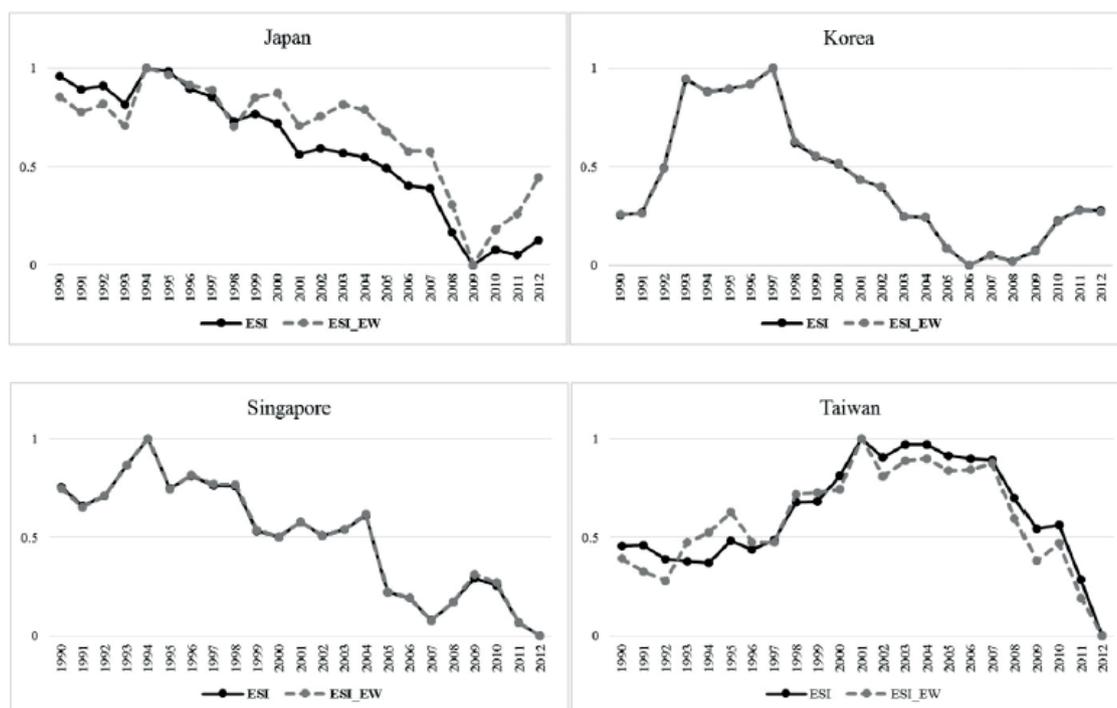
Country		Oil	Gas	Coal
Austria	AT	1.4	16.7	0.0
Belgium	BE	4.7	0.6	1.3
Bulgaria	BG	10.4	17.5	1.2
Czech Republic	CZ	4.9	12.4	0.0
Denmark	DK	0.1	0.0	5.0
Estonia	EE	1.9	10.3	0.3
Finland	FI	4.8	7.1	1.3
France	FR	1.7	0.9	0.5
Germany	DE	2.4	5.5	0.6
Greece	EL	8.4	8.0	0.1
Hungary	HU	18.3	33.6	0.3
Ireland	IE	0.0	0.0	4.7
Italy	IT	3.3	7.5	1.8
Latvia	LV	2.1	21.0	0.6
Lithuania	LT	10.2	20.1	1.0
The Netherlands	NL	4.3	0.0	2.0
Poland	PL	6.1	3.9	0.6
Portugal	PT	3.5	6.6	6.4
Romania	RO	5.8	15.2	0.6
Slovakia	SK	10.8	39.4	0.9
Slovenia	SI	0.0	5.4	4.1
Spain	ES	3.4	3.3	1.5
Sweden	SE	1.4	0.0	0.5
United Kingdom	UK	0.7	0.1	2.8
Average		4.4	9.8	1.6
Standard deviation		4.4	10.6	1.7

Nota: valores altos corresponden a mayor riesgo.

Fuente: Le Coq y Paltseva. (2009)

**Li et al. (2016)** aplican el análisis de componentes principales para elaborar un indicador novedoso que pretende incluir aspectos de vulnerabilidad, eficiencia y sostenibilidad. El índice está especialmente construido para analizar aquellas economías avanzadas de Asia con una gran dependencia energética del exterior y/o que están geográficamente aisladas. En particular su trabajo se refiere a Japón, Singapur, Corea del Sur y Taiwan para el período 1990-2012, por lo que nos encontramos frente a indicadores de naturaleza espacial y temporal. Sus indicadores ESI agregados, tal y como recoge la Figura 6, señalan cambios significativos durante el período analizado. Nótese, en cualquier caso, que los indicadores utilizados engloban varios aspectos de la seguridad energética (AIs) a la vez, así como algunos aspectos que no pueden considerarse en puridad seguridad energética.

Figura 6. Indicadores de seguridad energética para economías avanzadas de Asia



Nota: Valores altos corresponden a mayor riesgo

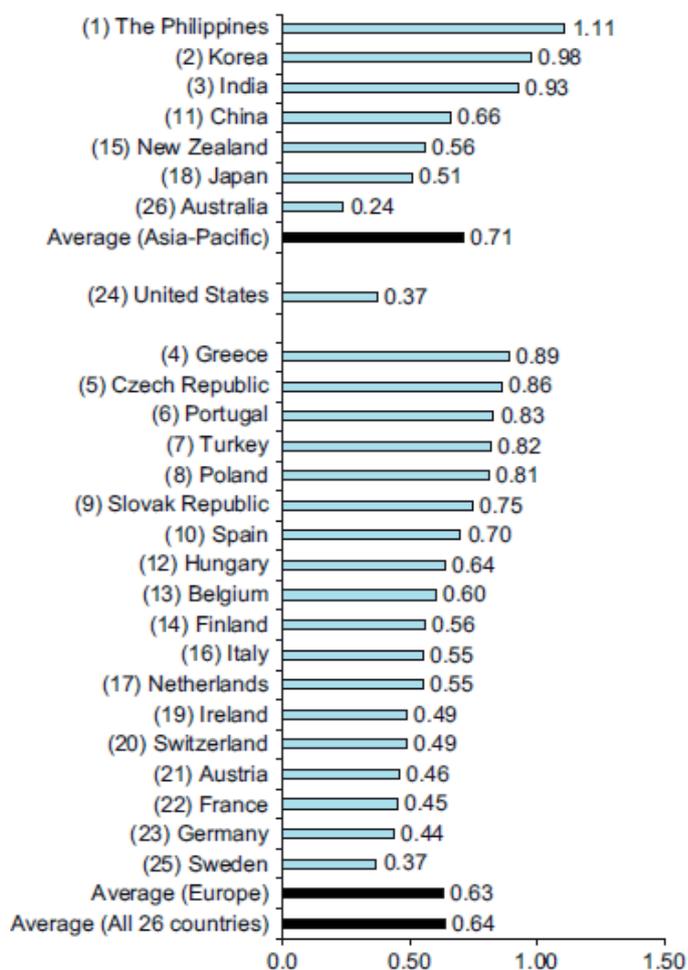
Fuente: Li et al. (2016)

**Gula (2008)** estudia la vulnerabilidad de 26 países importadores netos de petróleo de Europa, Norteamérica y Asia con respecto al suministro de este producto energético. A tal efecto emplea la metodología de componentes principales para crear un indicador compuesto que considera diversos asuntos relacionados con la seguridad energética:

- Relación entre el valor de importaciones de petróleo y el PIB
- Peso del petróleo en las importaciones energéticas y la diversificación del mix energético
- Relación entre las reservas domésticas y el consumo de petróleo
- Exposición al riesgo geopolítico en el mercado global energético
- Liquidez del mercado

Este trabajo, tal y como se recoge en la Figura 7, apunta a diferencias sustanciales en la vulnerabilidad del suministro de petróleo entre los países objeto de estudio.

Figura 7. Índices de vulnerabilidad del petróleo en el mundo desarrollado



Nota: Valores mayores reflejan una vulnerabilidad mayor-

Fuente: Gula (2008)

**Leiby et al. (1997)** emplean una estrategia novedosa para medir la seguridad energética a través de la denominada prima de petróleo. Su objetivo es cuantificar, para la economía estadounidense, los beneficios de reducir las importaciones de petróleo en un barril. De este modo, tratan de aproximarse a aquellos costes de seguridad energética que no se reflejan en los precios de mercado. En Leiby (2007) se actualiza este cálculo, obteniendo una prima del petróleo de 13.58 US\$, muy por encima de la valoración del estudio original (3.59 US\$).

**Vanhoorn y Faas (2009)** analizan la seguridad de suministro del gas natural en relación al conflicto entre Ucrania y Rusia de 2009, que llevó a una caída del suministro de este producto en torno al 20% en los países de la UE. Para ello emplean nueve indicadores basados en múltiples categorías de seguridad energética, buscando evaluar las alternativas utilizadas para gestionar la menor disponibilidad de gas natural. El trabajo concluye que los países que mejor gestionaron la pérdida de suministro fueron aquellos que disponían de infraestructuras de reservas significativas (Austria, Alemania, Francia, Polonia, y la República Checa), frente a aquellos que se vieron obligados a buscar fuentes alternativas de suministro (Hungria, Rumanía, Grecia, Bulgaria y Eslovaquia).

**Markandya y Pemberton (2010)**, por su parte, no crean un indicador de seguridad energética, sino que estiman el nivel óptimo de imposición energética. No obstante, es importante recoger su trabajo en esta revisión bibliográfica porque, entre los factores que señalan como relevantes para determinar dicho nivel óptimo, destacan la sensibilidad tanto a los costes de interrupción, como a la probabilidad de interrupción y a la elasticidad precio de la demanda, además de la aversión al riesgo. Es evidente que todos los factores anteriores tienen una vinculación elevada con los elementos fundamentales de la seguridad energética.

Como puede observarse, la gran mayoría de estos indicadores utilizados hasta el momento y presentados en este resumen evalúan básicamente la dependencia energética (que no necesariamente coincide con la seguridad), y en particular la diversificación de fuentes energéticas. La diversificación puede ser un indicador del nivel de probabilidad de falta de suministro, o una política para protegerse, pero no un efecto económico de la seguridad energética. Vemos pues que la literatura de indicadores de seguridad energética no aporta demasiado sobre los beneficios reales de una mayor seguridad, más allá de algunas indicaciones sobre probabilidad de falta de suministro. Por ello, en la siguiente sección, analizamos más en detalle otro tipo de literatura que, en lugar de construir indicadores, trata de evaluar los costes económicos de la falta de seguridad energética.



[ 03 ]

**Valoración  
económica de  
la seguridad  
energética**

- 3.1 Metodologías y principales resultados obtenidos**
- 3.2 Aplicaciones para España**

A pesar de que, como apunta el capítulo 2, existe una abundante literatura relacionada con la definición e indicadores de seguridad energética, la atención que se le ha prestado a su valoración económica ha sido relativamente escasa, aun cuando es fundamental para poder cuantificar su importancia. En esta sección se presentan las principales metodologías y resultados obtenidos, con un énfasis particular en los análisis realizados para España.

Es preciso señalar que casi todos estos estudios cuantifican sin embargo sólo uno de los términos necesarios para poder estimar el impacto económico de la seguridad energética: el coste para la economía de una cierta falta de seguridad. Para poder completar el cálculo sería necesario disponer del segundo término: la probabilidad de una interrupción en el suministro (y su duración y otras características), la probabilidad de un shock de precios, o la volatilidad de los mismos. Desgraciadamente, no hemos encontrado estudios fiables que cuantifiquen este término, fuera del sector eléctrico en el que sí hay algunos indicadores de probabilidad de fallo.

### 3.1 Metodologías y principales resultados obtenidos

Existen dos grandes tipos de metodologías para valorar la seguridad energética desde el punto de vista económico: métodos basados en precios y métodos basados en cantidades. Los métodos basados en precios consisten en medir la vulnerabilidad de la economía ante movimientos en los precios de la energía, cambios que pueden ser bruscos (shock de precios) o pueden ser continuos en el tiempo (volatilidad). Por su parte, los métodos basados en cantidades consisten en medir el coste económico de una interrupción en la oferta de energía, calculando la pérdida de bienestar resultante de un cambio en la disponibilidad de energía.

La literatura que estudia el impacto económico de los movimientos en los precios de la energía se ha centrado fundamentalmente en analizar los efectos de los shocks de precios. Cuando se produce un incremento súbito e inesperado en el precio de un producto energético, la economía puede salirse del equilibrio si no es capaz de responder lo suficientemente rápido, dando lugar a tres tipos de pérdidas económicas: pérdidas de potencial para producir (al incrementarse el precio de un *input* fundamental), costes de ajuste macroeconómico y, en caso de países importadores, exceso de transferencias de riqueza a los países productores (Mansson et al., 2014). La cuantificación de estos impactos económicos se ha venido realizando desde la década de los ochenta del siglo pasado, aunque curiosamente no vinculada explícitamente con la seguridad energética, dentro de la literatura que estudia los shocks de los precios del petróleo. Así, a partir del trabajo seminal de Hamilton (1983) en el que muestra que los cambios en los precios del petróleo tienen un impacto en la actividad económica, han ido apareciendo en la literatura distintos trabajos que utilizan la

econometría para tratar de estimar dicho impacto, empleando distintas metodologías (véase Markandya y Hunt, 2004, o Kilian, 2014). Los resultados de esa literatura muestran impactos importantes sobre el PIB, llegando incluso hasta el -5% (Greene, 2010), siendo, en general, el efecto de los shocks de precios del petróleo sobre la economía muy importante durante la década de 1970, para luego ir reduciéndose gradualmente, si bien desde el 2000 su influencia ha vuelto a cobrar importancia (Gadea et al, 2016).

Alternativamente, aunque mucho menos desarrollada, existe una literatura que cuantifica el impacto de la volatilidad de los precios de los productos energéticos. La volatilidad de los precios se puede definir como la desviación típica del precio, que mide el grado de dispersión de los precios en la realidad con respecto a su media. Cuanto mayor sea la volatilidad, menor será la capacidad de los agentes para anticipar los precios futuros, lo que, debido a la aversión al riesgo, por una parte desincentiva las inversiones relacionadas con el sector energético (Markandya y Hunt, 2004) y, por otra, reduce el consumo (Fernández-Villaverde et al., 2011), produciéndose de este modo una pérdida de bienestar<sup>1</sup>. Así, la literatura que examina la relación entre la volatilidad de los precios del petróleo y la actividad económica (véase Ebrahim et al., 2014) sugiere que la volatilidad afecta negativamente al output en el corto y medio plazo, reduciendo la demanda agregada, la inversión y el nivel de producción. En este sentido, los estudios econométricos en este campo estiman reducciones en la tasa de crecimiento del PIB de hasta -1.21% (Rahman y Serletis, 2012), mostrando además que un incremento del 1% en la volatilidad del precio del petróleo está asociada con una reducción de hasta el -0.11% en la inversión (IEA, 2001) o de hasta el -0.08% en la producción industrial (Bredin et al., 2011)

Con respecto a los métodos basados en cantidades, principalmente existen tres tipos de metodologías para aproximar el valor de la seguridad de suministro (Linares y Rey, 2013): analizar las preferencias de los consumidores mediante encuestas, recopilar los costes reales de interrupciones pasadas, y calcular las consecuencias de las interrupciones de oferta mediante funciones de producción. Generalmente se calcula el denominado Valor de la Energía no Suministrada (VoLL por sus siglas en inglés), que indica el coste de oportunidad de una unidad de energía no servida. Esta medida se puede calcular para cualquier producto energético, si bien generalmente se utiliza para la electricidad, debido a la mayor frecuencia y duración de sus interrupciones<sup>2</sup>, al tratarse de un producto muy difícil de almacenar (a diferencia de otros productos energéticos como el gas natural o el petróleo).

Las encuestas para conocer las preferencias de los consumidores son el método más utilizado y tienen como finalidad obtener una valoración directa o indirecta de los costes de interrupción del suministro. Se pide a los consumidores que identifiquen los impactos y evalúen los costes asociados a una interrupción, empleando métodos indirectos (como la disponibilidad a pagar para evitar interrupciones o la disponibilidad a aceptar una compensación por tener más interrupciones) cuando los impactos son menos tangibles. Los resultados de esta literatura (véase Praktijnjo et al., 2011) muestran que el coste de las interrupciones se encuentra en un rango de entre 0,20-21,6 €/kWh. De todos modos, al ser la seguridad de suministro un bien público, los consumidores tienden a sobreestimar los costes, aunque también podrían infraestimarlos si su contribución para financiar los costes de seguridad de suministro es mayor que su coste de interrupción.

La segunda alternativa consiste en utilizar los costes de interrupciones pasadas para cuantificar el coste de la seguridad energética. Este método presenta la ventaja de que sus estimaciones se basan en eventos reales y no en escenarios hipotéticos, pero se ve limitado por las características específicas de la interrupción estudiada, con lo que es

1 Esta pérdida de bienestar dependerá de la rigidez de la economía, de modo que será mayor cuanto menor sea la capacidad de hogares y empresas para sustituir energía por otros bienes (Manzano y Rey, 2012). Por el contrario, si la economía fuese perfectamente elástica para acomodar los cambios, la volatilidad no sería tan problemática, más allá de la aversión al riesgo.

2 Así, por ejemplo, en Holanda en 2014 la duración media anual de las interrupciones de electricidad fue de 20 minutos por cliente, mientras que para el gas natural fue de tan solo 194 segundos por cliente (Alliander, 2016). En España, el TIEPI fue de 1,06h en 2015 para todo el sector eléctrico.

difícil generalizar sus resultados. De este modo, el rango de costes con esta metodología es muy amplio dependiendo del evento considerado, con resultados que van desde entre 193-397 millones de euros en la crisis eléctrica de Chipre en verano de 2011 (Zachariadis y Poullikkas, 2012), hasta 40.000 millones de dólares en la crisis eléctrica de California en 2000-2001 (Weare, 2003).

Finalmente, la tercera opción, denominada enfoque de la función de producción, consiste en estimar las consecuencias económicas de los apagones mediante las pérdidas de producción, en el caso de las empresas, o las pérdidas de tiempo, en el caso de los hogares (de Nooij et al., 2007), empleando datos estadísticos. Esta metodología calcula el coste de interrupción por sector mediante un indicador que cuantifica la relación entre una medida económica (por ejemplo el PIB o el valor de la producción) y una medida del consumo eléctrico, presentando la ventaja de no depender de las valoraciones de los clientes ni de la ocurrencia de apagones pasados, si bien tiene el problema de asumir que la electricidad es esencial para la producción, y que ésta no puede desplazarse, lo que no siempre es cierto, y por tanto tiende a sobreestimar los costes de las interrupciones. Así, los resultados de esta literatura (véase Schröder y Kuckshinrichs, 2015, o Castro et al., 2016) muestran un coste medio de los apagones de entre 5-17 €/kWh, si bien dicho coste varía mucho dependiendo del sector considerado.

## 3.2 Aplicaciones para España

A continuación presentamos un pequeño resumen de las principales valoraciones de la seguridad energética para España existentes en la literatura, cuyos resultados se resumen en la Tabla 7<sup>3</sup>.

Para los estudios sobre shocks de precios se considera el impacto de un incremento del 10% en el precio del petróleo (un incremento por otra parte relativamente frecuente). Las cantidades están expresadas en euros del año 2010. En el caso del estudio de Linares y Rey para la electricidad el coste mostrado es el resultado de multiplicar el coste de la falta de suministro eléctrico por el riesgo (para el que se ha utilizado el TIEPI de 2015<sup>4</sup>).

Desgraciadamente, y como hemos señalado, no conocemos estudios públicos sobre la probabilidad de una falta de suministro de petróleo o de gas (a pesar de que, en este último caso, ya se han producido algunos incidentes, y de que hay una importante concentración en el suministro)<sup>5</sup>.

En la Tabla 7 se puede observar cómo cuando se tiene en cuenta el riesgo de ocurrencia, el efecto de los shocks o de la volatilidad del petróleo supone un porcentaje mayor sobre el precio final de la energía que el impacto de una falta de suministro de electricidad. Por su parte, la rigidez de la economía provoca que el coste derivado de la volatilidad sea, en media, mayor que el coste asociado al incremento en el precio del petróleo.

Sin embargo, como se verá posteriormente, en términos absolutos el coste de las interrupciones eléctricas es muy superior tanto al coste del incremento en el precio del petróleo como al coste asociado a su volatilidad. Esto se debe

3 La Tabla 7 recoge una comparación de los impactos estimados en estos estudios, expresados en las mismas unidades. Se trata de una aproximación para intentar determinar el orden de magnitud del coste externo provocado por la inseguridad energética, tratando de ver también su importancia en relación al precio de la energía.

4 El TIEPI es el tiempo de interrupción equivalente de la potencia contratada en media tensión. Su valor para 2015 fue de aproximadamente 1 hora, relativamente bajo, aunque hay que recordar que esto se logra gracias a internalizar en la retribución del sistema el coste de la calidad del servicio. Arcos-Vargas et al (2017) estiman el coste de esta calidad de servicio para España.

5 A este respecto, es interesante señalar que en 2015 el 50% de la demanda de gas natural en España procedió de gasoductos con origen en Argelia. Sin embargo, existe capacidad instalada suficiente de regasificadoras como para poder abastecer totalmente la demanda actual mediante gas natural licuado.

a la mayor elasticidad de la demanda de productos petrolíferos en relación a la demanda de electricidad<sup>6</sup>, que indica que los agentes tienen mayor capacidad de ajuste ante variaciones en el precio del petróleo y, consecuentemente, el impacto negativo sobre el sistema económico será menor (Costantini y Graceva, 2004).

**Tabla 7. Coste de la inseguridad energética en España**

Estudio	Producto	Metodología	Período	Impacto	
				€/tep	% precio final energía
Jiménez-Rodríguez (2008)	Petróleo	Precios (shock)	1980-1998	[66,45 ; 98,87]	[28 ; 42]
Álvarez et al. (2011)	Petróleo	Precios (shock)	1997-2007	[-1,73 ; 46,59]	[-1 ; 21]
Gómez-Loscós (2011)	Petróleo	Precios (shock)	1970-2009	[-15,98 ; 47,95]	[-7 ; 20]
Manzano y Rey (2012)	Petróleo	Precios (volatilidad)	1970-2007	[0,16 ; 249,35]	[0 ; 106]
Peersman y Van Robays (2012)	Petróleo	Precios (shock)	1986-2010	[-73,74 ; 173,82]	[-33 ; 77]
Linares y Rey (2013)	Electricidad	Cantidad	2008	[8,1 ; 8,6]	[0,66 ; 0,71]

Fuente: Elaboración propia

Notas:

Para calcular el impacto en €/tep se consideró el PIB real medio (obtenido del Banco Mundial) y el consumo final medio de petróleo (obtenido de la Agencia Internacional de la Energía) durante el período muestral.

Como precio final de la energía se considera, para el petróleo, el precio medio internacional del petróleo crudo (obtenido de BP), mientras que para la electricidad se utiliza el precio medio de la electricidad en España (obtenido de la CNMC).

A continuación revisamos con más detalle cada uno de los estudios presentados en la Tabla 7.

#### a) Jiménez-Rodríguez, 2008

Analiza el impacto macroeconómico de los shocks de precios del petróleo sobre la industria manufacturera en seis países de la OCDE, incluyendo España. Mediante la estimación de un modelo autorregresivo para el período 1980-1998 obtiene ante un incremento del 1% en el precio del petróleo la producción en España se reduciría entre [-0,06%; -0,04%] si se considera la producción agregada, mientras que para las manufacturas disminuiría entre [-0,07%; -0,04%], si bien varía entre los distintos subsectores manufactureros en un rango de [-0,20%; 0,09%]. Los subsectores manufactureros más afectados serían el de minerales no metálicos, el de maquinaria, el de papel y la alimentación; mientras que los menos afectados serían el textil (que incluso incrementaría su producción), la madera y los metales comunes (véase Tabla 8).

**Tabla 8. Elasticidad del output con respecto a un shock del precio del petróleo**

	Después de 1 año	Después de 2 años	Después de 3 años
Producción agregada	-0,041	-0,055	-0,061
Manufacturas	-0,048	-0,065	-0,073
Alimentación	-0,126	-0,127	-0,117
Textiles	0,036	0,076	0,090
Madera	-0,012	-0,013	-0,012

6 En un metaanálisis de la reacción de los agentes ante variaciones en el precio de la energía para la Unión Europea y España, Labandeira et al. (2016) obtienen, para el caso español, una elasticidad precio de -0,25 a corto plazo y de -0,9 a largo plazo para la gasolina, y de -0,20 (c/p) y -0,74 (l/p) para el diésel, mientras que las elasticidades precio de la electricidad son de -0,20 (c/p) y -0,71 (l/p)

Papel	-0,124	-0,133	-0,126
Industria química	-0,055	-0,071	-0,079
Minerales no metálicos	-0,107	-0,149	-0,171
Metales comunes	-0,011	-0,023	-0,024
Maquinaria	-0,143	-0,188	-0,201

Fuente: Jiménez-Rodríguez (2008)

### b) Álvarez et al., 2011.

Evalúan el impacto de los cambios en los precios del petróleo sobre la economía española. A diferencia del trabajo anterior, consideran un período muestral más reciente (1997-2007) y sus resultados indican un impacto menor de los shocks de precios del petróleo. Así, en primer lugar emplean un modelo macroeconómico para estimar el impacto sobre la actividad, los precios y costes, el desempleo y el nivel de renta de un incremento del 10% en el precio del petróleo. Sus resultados muestran que este aumento provocaría un ligerísimo incremento en el PIB (0,01%) el primer año, si bien el segundo año se reduciría un -0,21% y el tercer año un -0,27%. Por su parte, los precios se incrementarían entre un 0,20% y un 0,38% y la renta disponible caería hasta un -0,25%, mientras que el empleo, si bien aumentaría el primer año, el tercer año se reduciría hasta un -0,35%. A continuación consideran también un modelo de equilibrio general en el que los hogares consumen productos petrolíferos y las empresas utilizan el petróleo como un factor de producción. Los resultados de este modelo (véase Tabla 9) muestran un impacto similar, aunque ligeramente menor, sobre la inflación, mientras que en el caso del PIB el modelo de equilibrio general predice un patrón de ajuste distinto, con un impacto más inmediato. Su conclusión es que el impacto inflacionario de los cambios en los precios del petróleo en España es limitado, aunque mayor que en la zona euro.

**Tabla 9. Principales efectos de un incremento en el precio del petróleo**

	Crecimiento del PIB		Inflación	
	Año 1	Año 2	Año 1	Año 2
Modelo macroeconómico	0,01%	-0,22%	0,25%	0,13%
Modelo de equilibrio general	-0,20%	-0,04%	0,20%	0,04%

Fuente: Álvarez et al. (2011)

### c) Gómez-Loscos et al., 2011

Analizan el impacto de los shocks de precio del petróleo sobre el crecimiento del PIB y la inflación en España empleando un período muestral amplio (1970-2009) que abarca el de los dos trabajos anteriores, estudiando también los efectos por Comunidades Autónomas en los años 1980-2009. Sus resultados indican un impacto ligeramente menor que el obtenido por Álvarez et al. (2011), mostrando además que el impacto de los shocks de precios del petróleo sobre las variables macroeconómicas fue disminuyendo desde la década de 1970 hasta mediados de la década de 1980 para luego volver a incrementarse, especialmente en la segunda mitad de la década de 1990 para el PIB y entre 1986-1994 y en la década de 2000 para la inflación. Por regiones, la influencia de los shocks de precios sobre el PIB desaparece progresivamente mientras que su impacto sobre la inflación disminuye a partir de 1986 pero vuelve a ser significativo diez años después.

**d) Manzano y Rey, 2012**

Cuantifican el coste de la inseguridad energética mediante un modelo de equilibrio general que utilizan para estimar el impacto de la volatilidad de los precios de la energía sobre el bienestar de los hogares españoles. Considerando las fluctuaciones en los precios del petróleo en el período 1970-2007, sus resultados muestran que en los últimos 30 años la pérdida anual de bienestar derivada de la inseguridad energética se situó en torno al 0,84% del consumo en términos del PIB, lo que implica que los hogares españoles estarían dispuestos a renunciar al 0,84% del consumo en términos del PIB para evitar fluctuaciones en los precios de la energía o, alternativamente, que en ausencia de estas fluctuaciones la utilidad de los hogares se incrementaría en un 0,84% en términos del consumo medio.

**e) Peersman y Van Robays, 2012**

Realizan una comparación de las consecuencias macroeconómicas de distintos tipos de shocks de petróleo en una serie de países industrializados, incluyendo España. Distinguen entre incrementos en el precio del petróleo derivados de un aumento en la actividad económica global, incrementos asociados a un aumento en la demanda de petróleo y shocks de precios exógenos, estimando un modelo autorregresivo para el período 1986-2010. Sus resultados para España (véase Tabla 10) muestran que un incremento del 10% en el precio del petróleo tiene un impacto negativo sobre el PIB y el IPC si está asociado a un incremento en la demanda de petróleo, mientras que si se deriva de un shock de oferta o de un aumento en la actividad económica global el impacto es positivo<sup>7</sup>. De todos modos, el impacto máximo sobre el PIB varía entre períodos, siendo más negativo (o menos positivo) en 1971-1985 que en 1986-2010.

**Tabla 10. Impactos de un incremento del 10% en el precio del petróleo**

	Shock de oferta	Aumento actividad económica	Aumento demanda petróleo
PIB	0,08	0,42	-0,99
IPC	0,07	0,70	-0,06

Fuente: Peersman y Van Robays, 2012

**f) Linares y Rey, 2013**

Estiman el impacto económico de una interrupción eléctrica en España empleando el enfoque de la función de producción. Sus resultados (véase Tabla 11) muestran que el valor de la carga perdida (VoLL) en la economía española es de 5,98 €/kWh, es decir, considerando todos los sectores España genera 5,98€ con un kWh de electricidad, valor que se eleva hasta 6,35 €/kWh si se excluyen los sectores en los que la electricidad no es esencial. El sector de la construcción es el que presenta un VoLL más elevado (33,37€/kWh), mientras que las manufacturas las que tienen un VoLL menor (1,5 €/kWh). Asimismo, para evitar una sobreestimación de coste de las interrupciones eléctricas, también consideran un escenario en el que las interrupciones eléctricas no paralizan completamente la producción, sino que existe una sustituibilidad parcial entre actividades en algunos sectores. En este contexto, el VoLL de la economía española sería de 4,39 €/kWh. Con respecto a la evolución temporal del VoLL, en el período 2000-2008 se redujo en la mayoría de los

<sup>7</sup> Esto se debe, en el caso del incremento de la actividad económica global, a ganancias indirectas derivadas del comercio con el resto del mundo, mientras que para un shock de oferta no proporcionan una justificación para el caso español, ya que su explicación se basa en las ganancias derivadas de las exportaciones de productos energéticos, pero España es un importador neto de estos productos.

sectores; mientras que por Comunidades Autónomas Madrid, Baleares y Canarias son las que presentan un VoLL más elevado, siendo Asturias, Galicia y Cantabria las que tienen un menor VoLL.

**Tabla 11. VoLL por sectores en España (€/kWh)**

	<b>Escenario 1</b>	<b>Escenario 2</b>
Agricultura	4,40	1,76
Manufacturas	1,38	1,24
Construcción	33,37	13,35
Transporte	8,53	7,68
Servicios	8,47	6,77
Gobierno	6,23	4,98
Hogares	8,11	5,67
<b>Total</b>	<b>5,98</b>	<b>4,39</b>

Fuente: Linares y Rey (2013)

Nota: En el Escenario 1 se considera que las interrupciones eléctricas paralizan completamente la producción, mientras que en el Escenario 2 solo se tiene en cuenta la producción que depende realmente de la electricidad



[ 04 ]

**Estrategias  
de seguridad  
energética**

- 4.1 Estrategia europea de seguridad energética**
- 4.2 Estrategia española de seguridad energética**
- 4.3 Reflexión sobre las políticas y estrategias de seguridad energética**

Los costes de la seguridad energética, reales o percibidos, han dado lugar a distintas estrategias y políticas para lograr mitigarlos. En general, el foco ha estado en la reducción del riesgo de una falta de suministro, promoviendo la creación de reservas estratégicas de petróleo, obligando a un determinado nivel de diversificación en el suministro de petróleo o gas, o imponiendo medidas técnicas en el sector eléctrico. Sin embargo, no han sido tan comunes las medidas dirigidas a reducir la vulnerabilidad del sector ante faltas de suministro o cambios en los precios (por ejemplo, políticas que reduzcan los costes de ajuste en el mercado del trabajo, medidas de flexibilidad y eficiencia energética, o estrategias de cobertura de riesgo de precios).

Además, y dado que los mercados energéticos son globales, las estrategias de seguridad energética son más efectivas si se adoptan a escala al menos regional. De hecho, a eso se debe la creación de la Agencia Internacional de la Energía, o incluso la creación de la Unión Europea (inicialmente la Comunidad Europea para el Carbón y el Acero, CECA).

Por tanto, y dado el foco de este informe, revisamos en primer lugar la estrategia europea de seguridad energética, para luego analizar el caso español.

## 4.1 Estrategia europea de seguridad energética

Más allá del motivo inicial que dio origen a la CECA, el interés europeo por estas cuestiones puede retrotraerse, como en el resto de los países avanzados con elevada dependencia energética, a las sucesivas crisis del petróleo de la década de los setenta. No obstante, las perturbaciones vividas en el suministro de gas ruso durante los fríos inviernos de 2006 y 2009 y la virulencia de la crisis ruso-ucraniana desde 2013 llevaron a un renovado interés en la seguridad de suministro energético en Europa. En particular, la UE llevó a cabo un análisis pormenorizado de la situación energética en cada estado miembro en 2014, cuyos resultados recoge el Cuadro 1.

### Cuadro 1. Diagnóstico sobre la seguridad energética en la UE

#### Cifras básicas relacionadas con la seguridad energética de la Unión Europea en 2014

- La UE importa actualmente el 53 % de la energía que consume. La dependencia de las importaciones afecta al petróleo (casi el 90 %), gas natural (66 %) y, en menor medida, a los combustibles sólidos (42 %) y al combustible nuclear (40 %)
- La seguridad en el abastecimiento de energía es relevante para todos los estados miembros, aunque algunos sean más vulnerables que otros. Este es el caso, en particular, de las regiones menos integradas y conectadas, como los Países Báltico y Europa Oriental.
  - El problema más acuciante de la seguridad del abastecimiento de energía es la fuerte dependencia de un único suministrador externo, especialmente en el caso del gas, pero también de la electricidad:
  - Seis estados miembros dependen de Rusia como único suministrador externo para la totalidad de sus importaciones de gas y tres de ellos utilizan gas natural para más de una cuarta parte de sus necesidades energéticas totales. El suministro de energía desde Rusia representó en 2013 el 39 % de las importaciones de gas natural y el 27 % del consumo de gas de la UE. Rusia exportó el 71 % de su gas natural a la UE, principalmente a Alemania e Italia
- En el ámbito de la electricidad, tres estados miembros (Estonia, Letonia y Lituania) dependen de un operador externo para la operación y el equilibrio de su red eléctrica
- La factura energética externa de la UE asciende a más de 1000 millones de euros diarios (en torno a 400000 millones de euros en 2013) y representa más de una quinta parte de sus importaciones totales. La UE importa más de 300000 millones de euros en petróleo y productos petrolíferos, un tercio de ellos de Rusia
- La seguridad energética de la UE ha de contemplarse también en el contexto de la creciente demanda mundial de energía, para la que se prevé un incremento del 27 % en 2030, con importantes cambios en el abastecimiento energético y los flujos comerciales

Fuente: Comisión Europea (2014)

Dada la elevada dependencia energética de la UE que refleja el Cuadro 1, la inestabilidad política en el este de Europa y las perspectivas de una mayor demanda energética global, los países europeos llevaron a cabo pruebas de estrés relacionadas con la seguridad energética en 2014, simulando dos escenarios de interrupción de suministro energético durante 6 meses:

- Una interrupción completa de las importaciones de gas natural desde Rusia
- Una interrupción de las importaciones de gas natural desde Rusia por la ruta ucraniana

Esas simulaciones demostraron que una interrupción duradera en el suministro de gas natural tendría un impacto sustancial para la UE, en particular para los países de Europa del Este. En consecuencia, la Unión desarrolló una estrategia de seguridad energética con el fin de contrarrestar la dependencia energética y los riesgos y consecuencias de interrupciones de suministro. Este plan se presentó en mayo de 2014 como la "Estrategia Europea de la Seguridad Energética"<sup>1</sup>, incluyendo actuaciones en ocho líneas:

1. Medidas inmediatas para aumentar la capacidad de la UE para hacer frente a problemas graves durante el invierno de 2014/2015
2. Refuerzo de los mecanismos de emergencia y de solidaridad, incluyendo la coordinación de las evaluaciones de riesgos y planes de contingencias, además de protección de las infraestructuras estratégicas
3. Moderación de la demanda de energía
4. Desarrollo de un mercado interior efectivo y plenamente integrado

1 COM(2014) 330 final

5. Incremento de la producción de energía en la UE
6. Intensificación del desarrollo de las tecnologías energéticas
7. Diversificación de las fuentes externas de abastecimiento e infraestructuras energéticas y de reserva correspondientes
8. Mejora de la coordinación de las políticas energéticas nacionales y conformación de una política energética exterior común

La UE subraya que esta estrategia de seguridad energética está totalmente en línea con las demás estrategias europeas relativas a la eficiencia energética, promoción de energías limpias y medidas de reducción de emisiones contaminantes/cambio climático. A continuación se presenta una descripción esquemática de cada una de las líneas de actuación recién enumeradas.

### **1. Medidas inmediatas para aumentar la capacidad de la UE para hacer frente a problemas graves durante el invierno de 2014/2015**

#### **Principales instrumentos**

- Coordinación entre países miembros referente a reservas e infraestructuras de gas
- Evaluación de riesgos y elaboración de planes de contingencia
- Pruebas de resistencia energética en caso de corte de suministro
- Optimizar el potencial de abastecimiento

#### **Legislación/decisiones normativas aplicables**

- Reglamento (UE) 994/2010 sobre medidas para garantizar la seguridad del suministro de gas

### **2. Refuerzo de los mecanismos de emergencia y de solidaridad, incluyendo la coordinación de las evaluaciones de riesgos y los planes de contingencias, y protección de las infraestructuras estratégicas**

#### **Principales instrumentos**

- Normativa vinculante referente a reservas energéticas
- Prevención y atenuación de riesgos de perturbaciones en el abastecimiento de gas
- Protección de las infraestructuras críticas
- Mecanismos de solidaridad entre estados miembros

#### **Legislación/decisiones normativas aplicables**

- Directiva 2009/119/CE de 14 de septiembre de 2009 por la que se obliga a los estados miembros a mantener un nivel mínimo de reservas de petróleo
- Reglamento (UE) nº 994/2010 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 20 de octubre de 2010, sobre medidas para garantizar la seguridad del suministro de gas y por el que se deroga la Directiva 2004/67/CE del Consejo

- Declaración conjunta adoptada el 6 de mayo de 2014 en la Reunión de ministros de energía del G7 celebrada en Roma
- Directiva 2008/114/CE de 8 de diciembre de 2008 sobre la identificación y designación de infraestructuras críticas europeas y la evaluación de la necesidad de mejorar su protección

### 3. Moderación de la demanda de energía

#### Principales instrumentos

- Acelerar las medidas para lograr el objetivo de eficiencia energética para 2020, centrándose en la calefacción y el aislamiento, en particular en los edificios y en la industria.

#### Legislación/decisiones normativas aplicables

- Comunicación de la Comisión «Precios y costes de la energía en Europa»
- Dedicación obligatoria de fondos FEDER a proyectos de eficiencia energética y sostenibilidad energética.<sup>2</sup>

### 4. Desarrollo de un mercado interior de energía efectivo y plenamente integrado

#### Principales instrumentos

- Mejorar el funcionamiento del mercado interior de la energía y gas (integraciones de mercados como por ejemplo Nordpool, el Foro Pentilateral en el Noroeste de Francia, Alemania, Austria y Benelux, o la plataforma PRISMA de subasta transparente de capacidad de interconexión de la red de gas)
- Acelerar la construcción de los interconectores clave
- Coordinación más estratégica de la política de la UE en relación al petróleo. Dada la importancia de Rusia y EE.UU en el suministro de petróleo y gas natural a la UE, la política europea debe intensificar su actuación en ese entorno para proteger los intereses comunes de la UE

#### Legislación/decisiones normativas aplicables

- Comunicación de la Comisión «Realizar el mercado interior de la electricidad y sacar el máximo partido de la intervención pública». COM (2013) 7243.
- Directrices de la Comisión destinadas a racionalizar los procedimientos de evaluación ambiental de los proyectos de infraestructuras energéticas de interés común y sobre las EIA de proyectos transfronterizos de gran escala
- Libro Blanco del Transporte 2011 «Hoja de ruta hacia un espacio único europeo de transporte: por una política de transportes competitiva y sostenible». COM (2011) 144 final
- Comunicación de la Comisión al Parlamento europeo, Consejo, Comité Económico y Social europeo y Comité de las Regiones «Energía limpia para el transporte: Estrategia europea en materia de combustibles alternativos». COM (2013) 17

2 Un mínimo de (12-20%) de las asignaciones del Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) debe invertirse para respaldar el cambio hacia una economía baja en carbono en todos los sectores. Si se emplea el Fondo de Cohesión para estas inversiones, la cuota se incrementa un 15 % para las regiones menos desarrolladas.

## 5. Incremento de la producción de energía en la Unión Europea

### Principales instrumentos

- Continuar el despliegue de las renovables, incluyendo una coordinación y/o extensión de sistemas de apoyo nacionales a nivel europeo, y facilitar el acceso a financiación a inversiones en fuentes energéticas renovables.
- Sustituir el consumo de fuentes fósiles por la electricidad (las fuentes renovables producen electricidad).
- Hidrocarburos y carbón limpio: Exploración del potencial de la fracturación hidráulica de alto volumen en la UE, y respaldo proyectos de demostración de captura de carbono.

### Legislación/decisiones normativas aplicables

- Recomendación 2014/70/UE, para asegurar la aplicación de las normas medioambientales más estrictas
- Programa NER 300 y Programa Energético Europeo para la Recuperación, entre cuyos proyectos destaca el proyecto ROAD
- Comunicación de la Comisión: «Realizar el mercado interior de la electricidad y sacar el máximo partido de la intervención pública». COM (2013) 7243.
- Directiva 2013/30/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 12 de junio de 2013, sobre la seguridad de las operaciones relativas al petróleo y al gas mar adentro, y que modifica la Directiva 2004/35/CE
- Comunicación y Recomendación de la Comisión sobre la exploración y producción de hidrocarburos (como el gas de esquisto) utilizando la fracturación hidráulica de alto volumen en la UE (COM (2014) 23 final y Recomendación 2014/70/UE de 22 de enero de 2014).

## 6. Intensificación del desarrollo de las tecnologías energéticas

### Principales instrumentos

- Papel central a la seguridad energética en las prioridades del Programa Marco Horizonte 2020 para la Investigación y la Innovación (2014-2020)
- Asegurar que la futura Hoja de Ruta Integrada del Plan Estratégico de Tecnología Energética se ajuste a la Estrategia Europea de la Seguridad Energética.

### Legislación/decisiones normativas aplicables

- Programa Marco Horizonte 2020 para la Investigación y la Innovación (2014-2020)

## 7. Diversificación de las fuentes externas de abastecimiento e infraestructuras energéticas y de reserva correspondientes

### Principales instrumentos

- Iniciativas de diversificación dirigidas principalmente a combustibles nucleares y gas natural
- Colaboración de los países miembros para incrementar la transparencia y la información sobre los datos de mercado (incluyendo colaboración con EUROSTAT)

- Respaldo al desarrollo y mantenimiento de la expansión de las infraestructuras de abastecimiento de gas con Noruega, el denominado corredor meridional del gas y el centro de negociación del gas del Mediterráneo

#### **Legislación/decisiones normativas aplicables**

- Escenario de referencia 2013, dentro de las «Tendencias de la energía, el transporte y las emisiones de gases de efecto invernadero en la UE hasta 2050 (Comisión Europea)»
- Informe de la Comisión sobre la aplicación de la Comunicación sobre seguridad del abastecimiento energético y la cooperación internacional y de las Conclusiones del Consejo de la Energía de noviembre de 2011 [COM (2013) 638]
- Informe del Consejo. «Seguimiento del Consejo Europeo de 22 de mayo de 2013: revisión de la evolución de la dimensión exterior de la política energética de la UE», adoptado el 12 de diciembre de 2013.
- Directiva 2012/27/UE relativa a la eficiencia energética, por la que se modifican las Directivas 2009/125/CE y 2010/30/UE, y por la que se derogan las Directivas 2004/8/CE y 2006/32/CE.

## **8. Mejora de la coordinación de las políticas energéticas nacionales y conformación de una política energética exterior común**

#### **Principales instrumentos**

- Aplicación de medidas sobre política energética exterior
- Evaluación de agrupaciones voluntarias de demanda energética para aumentar el poder negociador
- Coordinación de alto nivel entre los países miembros y con la Comisión Europea en relación a las políticas energéticas
- Revisión del mecanismo de intercambio de información entre países miembros y con terceros países en el sector energético

#### **Legislación/decisiones normativas aplicables**

- Informe de la Comisión sobre la aplicación de la Comunicación sobre seguridad del abastecimiento energético y la cooperación internacional y de las Conclusiones del Consejo de la Energía de noviembre de 2011 [COM(2013) 638]
- Informe del Consejo. «Seguimiento del Consejo Europeo de 22 de mayo de 2013: revisión de la evolución de la dimensión exterior de la política energética de la UE», adoptado el 12 de diciembre de 2013.

Algunas de estas medidas han sido actualizadas mediante la 'Estrategia marco para una Unión de la Energía más resiliente con una política climática prospectiva' presentada por la Comisión Europea en febrero de 2015 y en la que se menciona que dicha estrategia 'tiene cinco dimensiones estrechamente relacionadas entre sí y que se refuerzan mutuamente, cuyo objetivo es impulsar la seguridad energética, la sostenibilidad y la competitividad'. Respecto a la primera de estas dimensiones, durante el mandato de la actual Comisión Europea se han adoptado ya distintas iniciativas para mejorar la seguridad de suministro energético en la UE (entre otras la propuesta de revisión del Reglamento de seguridad de suministro de gas y la propuesta de Reglamento de preparación frente a los riesgos en el sector de la electricidad mencionado anteriormente).

## 4.2 Estrategia española de seguridad energética

España ha de seguir la estrategia europea recién descrita en este ámbito, que es de aplicación obligatoria para los estados miembros. Por ello la denominada Estrategia de Seguridad Española<sup>3</sup>, en su apartado sobre seguridad energética, sigue una orientación y procedimientos similares a los establecidos por la estrategia europea. En concreto, los retos de la estrategia española de seguridad energética (ESEE) pueden agruparse en tres grandes áreas: abastecimiento, distribución y consumo de energía. A continuación nos referimos a cada uno de estos aspectos indicando las actuaciones previstas por la ESEE.

### I. Abastecimiento de energía

#### 1. Mix energético

- Ampliación de las fuentes de energía más allá de los combustibles fósiles y de la energía nuclear
  - Apoyo a las energías renovables para que su producción se incremente y sea posible de forma continuada y a precios que faciliten la competitividad española
  - Promover la utilización de fuentes energéticas autóctonas
2. Impulso de una **política común energética europea** que potencie las interconexiones entre territorio español y el resto de la UE. Se considera que un mercado europeo de electricidad y gas natural plenamente integrado es una garantía de abastecimiento, seguridad y calidad energética al reducir la vulnerabilidad física, permitir flexibilidad en las interrupciones de suministro y favorecer la competencia intermodal entre gas y electricidad
3. **Actualización de la gestión de las reservas petrolíferas**
- Impulso a la investigación y explotación de yacimientos de hidrocarburos
  - Diseño de planes de viabilidad para la extracción de estos recursos en el territorio español

### II. Distribución de energía

4. Potenciación de la flexibilidad operativa del sistema nacional de redes de transporte de energía mediante:
- Revisión de los planes de canalización
  - Priorización de la demanda en caso de interrupción o escasez en el suministro de forma coordinada con la Agencia Internacional de la Energía y la UE
5. Refuerzo del control de las comunicaciones marítimas y terrestres
6. Potenciación de las diferentes formas de almacenamiento a través del aumento de la capacidad instalada de bombeo hidráulico y de almacenamiento de gas
7. Mejora de la fiabilidad de las redes de abastecimiento de gas, del sistema de transporte y distribución de petróleo, así como del sistema eléctrico

3 Gobierno de España (2013) Estrategia de Seguridad Nacional.

### III. Consumo de energía

8. Desarrollo de la colaboración público-privada para garantizar el suministro en caso de que las infraestructuras críticas se vean afectadas
9. Fomento del ahorro energético y mejora de la eficiencia energética en la economía española
10. Impulso de la sostenibilidad energética a través de actuaciones que contemplen los aspectos fiscales, ambientales y el uso eficiente de los recursos disponibles
11. Favorecer un marco regulatorio armonizado, transparente y objetivo que incremente la seguridad jurídica y la competitividad de las empresas

## 4.3

### Reflexión sobre las políticas y estratégicas de seguridad energética

Una vez descritas las estrategias europea y española de seguridad energética, este apartado se ocupa de su valoración a la luz de las recomendaciones y reflexiones de los trabajos publicados en este ámbito. En general, puede afirmarse que ambas estrategias (muy relacionadas, por otra parte, como se ha indicado con anterioridad) siguen las conclusiones y recomendaciones plasmadas en la literatura. Sin embargo, a la vista de lo indicado por los expertos, existen algunos puntos abiertos al debate y a la mejora. A continuación presentamos algunas reflexiones agrupadas en dos grandes ámbitos: la mezcla o combinación de instrumentos y la coordinación internacional de políticas y estrategias.

#### Conjunto de instrumentos y medidas

Abundan las críticas al conjunto de medidas que conforma la estrategia europea de seguridad energética. Así, Zachmann et al. (2016) critican que la estrategia se centre en la diversificación del suministro, ya que consideran que el factor determinante para reducir posibles problemas en este campo es la capacidad de los sistemas energéticos para activar fuentes y suministros alternativos en caso de que se produzca la interrupción de una fuente específica. Asimismo, y relacionado con lo precedente, el trabajo señala que es poco adecuado que los esfuerzos se centren casi exclusivamente en evitar una posible interrupción de suministro de gas de Rusia, ya que es posible que se produzcan dificultades con otros proveedores energéticos clave en el futuro, por motivos políticos, tecnológicos o de simple agotamiento de los recursos. Ello refuerza su conclusión favorable a la previsión de fuentes alternativas como solución universal, aplicable independientemente de cuál de los suministradores concretos deje de suministrar y de cuál sea el motivo de la interrupción. Como medida concreta, Zachmann et al. (2016) proponen el establecimiento de un margen de seguridad de gas natural que crearía instrumentos de mercado para que el sector privado identificase y adoptase las medidas óptimas (coste-eficientes) para asegurar y poner a disposición esas fuentes alternativas de suministro.

No obstante, no todos los expertos comparten su idea de que las medidas de diversificación del suministro no sean adecuadas. Avedillo y Muñoz (2008), por ejemplo, consideran que las iniciativas de diversificación de suministro son fundamentales para garantizar la seguridad energética.

Otra crítica relacionada con la combinación de políticas y medidas europeas en este ámbito apunta a la concentración de la estrategia existente en medidas a corto plazo para la gestión de posibles interrupciones. En este caso se subraya

la necesidad de una visión estratégica de largo plazo, con medidas que permitan conseguir una mayor independencia<sup>4</sup> y eficiencia energética en el futuro. Estas medidas incluirían el impulso decidido y continuado a las energías renovables, la eficiencia energética y la creación de capacidades energéticas europeas (véase Jansen y Seebregts, 2010; Jansen et al., 2004; Turton y Barreto, 2006; o Li et al., 2016). En este sentido, Vaanhoorn y Faas (2009) critican la concentración de la estrategia en medidas relacionadas con el gas natural, en vez de desarrollar un programa de largo plazo que permita reducir la dependencia de los combustibles fósiles.

Para lograr un paquete más equilibrado, Gula (2008) propone estructurar las medidas y políticas en función del marco temporal de su implementación (corto, medio, y largo plazo). De esta manera se aseguraría que la estrategia sea capaz de dar respuesta tanto a las interrupciones breves de suministro energético (coyunturales) como a aquellas de tipo estructural o más duraderas. A la vez, este enfoque permitiría abordar de forma más consistente estrategias (de medio/largo plazo) basadas en el desarrollo infraestructural de reservas o de alternativas que puedan facilitar la adaptación de los consumidores energéticos (transporte público, por ejemplo), o la promoción de nuevas tecnologías renovables y de eficiencia energética. Greene (2010) insiste en la necesidad de paquetes sólidos de instrumentos al afirmar que toda estrategia de seguridad energética debe ser completa, robusta y sostenible<sup>5</sup>.

### Coordinación internacional

En general, los expertos valoran positivamente la formulación de una estrategia europea supranacional en este ámbito. Así, LeCoq y Paltseva (2009), Avedillo y Muñoz (2008), Gula (2008), Vaanhoorn y Faas (2009), o Zachmann et al. (2016) destacan la necesidad de coordinar las políticas y estrategias nacionales de seguridad energética porque esto permite acoplar y agrupar demandas, intereses y posiciones de negociación. Además, los mecanismos de diversificación actúan de forma similar a lo que sucede en los mercados financieros, donde la diversificación de una cartera actúa como protección y colchón contra eventos inesperados y la volatilidad.

La agrupación y coordinación también ayuda a los países a enfrentarse mejor a las condiciones del mercado internacional energético, en el que tradicionalmente ha existido poder de mercado por el lado de los (países) suministradores (Avedillo y Muñoz, 2008). De hecho, Leiby (2007) argumenta que esa estructura oligopolística del mercado energético internacional es uno de los mayores problemas y riesgos para la seguridad energética de regiones y países consumidores.

Aunque los expertos coinciden en la necesidad de coordinación internacional, existen algunas críticas con respecto al alcance y a la forma de colaboración que marca la estrategia europea. Vanhoorn y Faas (2009), LeCoq y Paltseva (2009) y Zachmann et al. (2016) argumentan así que esta no considera las posibles tensiones políticas e incentivos adversos que ciertos países puedan tener dadas las asimetrías existentes de partida. Así, la coordinación y conexión de depósitos de reservas, por ejemplo, beneficiaría a algunos países más que otros. En particular, los países que actualmente cuentan con una capacidad de reserva elevada podrían percibir la conexión e integración internacional como una reducción de su propia capacidad para protegerse contra interrupciones de suministro de ciertos bienes energéticos.

Otro ejemplo es la planificación de la infraestructura de gas natural, en la cual la decisión de un país de invertir y construir la infraestructura afecta a la utilidad de inversiones parecidas en países vecinos. En este contexto, es necesaria más coordinación para lograr una planificación y ejecución eficiente de las medidas consideradas. En relación a este punto, ha de apuntarse que la Unión Europea no ha podido hasta ahora elegir y agilizar ninguno de los proyectos de gasoductos que buscan fuentes y rutas alternativas de suministro de gas entre Asia y Europa oriental debido a las ten-

4 Aunque la independencia, como ya se ha mencionado en el informe, no necesariamente implica seguridad energética.

5 En particular, Greene (2010) se refiere a la estrategia de EE.UU para disminuir su dependencia del petróleo foráneo.

siones geopolíticas en la región. En suma, parecen existir claras debilidades en los esfuerzos actuales de coordinación internacional de la estrategia europea de seguridad energética. Esto lleva a Gula (2008) a argumentar a favor de una mayor colaboración en las políticas energéticas entre los principales actores internacionales: Unión Europea, Estados Unidos, India, Japón, y China.

Tanto las dificultades para la cooperación internacional como las dudas sobre la combinación adecuada de instrumentos en la estrategia europea, abordadas en la sección precedente, llevan a diversos autores (véase, por ejemplo, Zachmann et al. (2016)) a dudar sobre la efectividad del actual esquema europeo para aumentar la seguridad energética y particularmente de la regulación UE994/2010.



[ 05 ]



## Conclusiones y recomendaciones



Este trabajo ha tratado de aportar algo de luz sobre ese concepto tan amplio como es la seguridad energética, revisando la literatura existente acerca de la evaluación de la seguridad energética y de las estrategias para mejorarla.

La primera conclusión del análisis es que, en general, los distintos métodos de evaluación de la seguridad energética planteados hasta el momento no terminan de medir con precisión este concepto. De hecho, tal como nos recuerda Winzer (2012), muchos de los indicadores desarrollados miden cosas distintas, no necesariamente relacionadas con la seguridad energética. Así, de las más de 170 variables utilizadas en estudios previos, sólo 55 tienen que ver realmente con el concepto real de seguridad energética: la capacidad de disponer de un suministro de energía ininterrumpido a costes accesibles.

Y es que muchos de los estudios realizados tienden a confundir seguridad energética con dependencia de otros países, o a analizar posibles causas de la falta de seguridad (centrada además en la falta de suministro), pero no sus efectos, que, al fin y al cabo, es lo que debería tenerse en cuenta para poder tomar decisiones. Efectivamente, si el objetivo es poder incorporar la seguridad energética al diseño de políticas eficientes en esta materia, lo que debemos hacer es evaluar sus consecuencias:

- En términos de cantidad, debemos medir el coste causado por una falta de suministro, y multiplicarlo por el riesgo de su ocurrencia.
- En términos de precio, el objetivo es fundamentalmente evaluar el coste de ajuste para la economía de la volatilidad en los precios de la energía, multiplicado por una medida de esta volatilidad.

El coste de una falta de suministro puede evaluarse mediante modelos econométricos (*ex-post*), mediante encuestas, o mediante modelos de equilibrio general. La probabilidad de ocurrencia puede estimarse mediante evaluaciones probabilistas de riesgo.

En cuanto al coste de ajuste para la economía, generalmente se estiman mediante modelos de equilibrio general o modelos econométricos, tanto para shocks de precios como para indicadores de volatilidad (como por ejemplo la desviación con respecto a la media).

Además, los costes precedentes deben considerar las características del sistema concreto para los que se evalúan, de forma que se recoja la sensibilidad y resiliencia del sistema a estos cambios.

Sólo de esta forma seremos capaces de comparar los beneficios de una mayor seguridad energética con los costes que esto supone, o con los beneficios de otras políticas alternativas u otros objetivos de política energética (como el coste, o el impacto ambiental).

A estos efectos, el informe ha recopilado la evidencia existente en cuanto a los costes de una falta de suministro, o de modificaciones en los precios de la energía, particularmente para el caso de España. No hemos encontrado desgraciadamente estudios que midan el coste económico de una interrupción de suministro de gas o petróleo, ni trabajos que evalúen el impacto de la volatilidad de los precios de la electricidad, lo que evidentemente dificulta la integración de todos los aspectos que conforman la seguridad energética. A este respecto, sería muy recomendable promover la realización de estudios rigurosos que permitieran obtener una panorámica completa de los costes de la seguridad energética en España.

En todo caso, y basándonos en supuestos razonables, la conclusión fundamental es, en un contexto de alta seguridad de suministro, debida a la actual regulación y gestión de los sistemas, el mayor coste para la economía española se debe a la volatilidad de los precios de los combustibles fósiles (en particular petróleo y gas), seguido por el efecto de los shocks de precios de estos combustibles. Este coste puede situarse en una cuantía similar al del precio de la energía, lo cual indica la relevancia del mismo.

Por esta razón, aunque el coste económico de una falta de suministro eléctrico es muy alto por unidad energética (cercano a los 6.000 €/MWh), su baja probabilidad hace que su relevancia práctica sea muy inferior, suponiendo menos de un 1% de su coste.

A la vista de los costes estimados, parece conveniente, por un lado, mantener las estrategias que permiten minimizar el riesgo de falta de suministro, que por otra parte son las más habitualmente utilizadas; pero por otro lado interesa progresar más en aquellas políticas que aumentan la robustez de la economía frente a eventuales problemas, y sobre todo, en las estrategias dirigidas a reducir la volatilidad de los precios de la energía, que como hemos visto son las que más costes suponen en la actualidad para nuestro país.

Y, por supuesto, es necesario diseñar estas políticas de forma que sean eficientes; es decir, que sus costes sean inferiores a los beneficios que pretenden lograr. A este respecto, y llevados en ocasiones por una excesiva aversión al riesgo, tendemos a promover políticas particularmente ambiciosas, que pueden llevar a niveles de calidad de suministro más costosos de lo que realmente estamos dispuestos a pagar. Sería conveniente reevaluar a esta luz algunas de las políticas existentes en la actualidad.

Así, en primer lugar, es preciso mantener las políticas de diversificación de suministro, pero recordando que la diversificación no necesariamente reduce los efectos negativos sobre la economía. Por tanto puede ser conveniente complementarla, siempre que el análisis de rentabilidad social sea positivo, con medidas que aumenten la robustez y flexibilidad de la economía, como la reducción de la intensidad energética; el aumento de opciones alternativas de suministro, incluido el desarrollo de interconexiones, los pagos por capacidad para el sector eléctrico, o el compartir reservas estratégicas con otros países; o la activación de sistemas de almacenamiento o de respuesta de la demanda. También es necesario recordar que, a estos efectos, el hecho de importar o no la energía es sólo un elemento más, pero no necesariamente el más crítico, en términos de riesgo de falta de suministro.

Pero, sobre todo, creemos conveniente desarrollar políticas que permitan reducir el coste debido a la volatilidad de los precios de la energía. A este respecto, el uso de fuentes energéticas menos volátiles en sus precios, y de nuevo, el estímulo del ahorro energético y de la flexibilidad, son fundamentales para mitigar esta amenaza para nuestra economía. Todo ello, combinado con la garantía de continuidad del bajo riesgo de falta de suministro actual.

Estas recomendaciones de hecho coinciden en gran medida con las que se derivan de la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y adaptarse al cambio climático, tanto en el sector energético como en la economía en su conjunto, por lo que puede ser conveniente aprovechar estas sinergias de cara al diseño del sector energético del futuro. Un sector menos dependiente de las energías fósiles, y más basado en energías renovables – por supuesto,

en el que la garantía de suministro esté asegurada; con un mayor grado de interconexión con los países de nuestro entorno y mayor coordinación en las políticas de seguridad energética; asociado a una economía mucho menos intensiva en energía, y mucho más flexible de cara a la reasignación de los inputs de producción. Como en ocasiones anteriores, confiamos en que la información y recomendaciones proporcionadas en este informe contribuyan a alcanzarlo.



# Referencias bibliográficas



- Alliander, 2016. Without energy, nothing works. Annual Report 2015. [https://www.alliander.com/sites/default/files/Alliander\\_Annual\\_Report\\_2015.pdf](https://www.alliander.com/sites/default/files/Alliander_Annual_Report_2015.pdf)
- Álvarez, L.J., Hurtado, S., Sánchez, I., Thomas, C., 2011. The impact of oil price changes on Spanish and euro area consumer price inflation. *Economic Modelling*, 28, 422-431.
- Ang, B.W., Choong, W.L. Ng, T.S., 2015. Energy security: Definitions, dimensions and indexes, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* Volume 42, Pages 1-1474 (February 2015) Pages 1077-1093
- Arcos-Vargas, A., Núñez, F., Ballesteros, J.A., 2017. Quality, remuneration and regulatory framework: some evidence on the European electricity distribution. *Journal of Regulatory Economics*, 51(1): 98-118.
- Augutis, J., Krikstolaitis, R., Martisauskas, L., Peciulyte, S., 2012. Energy security level assessment technology. *Appl Energy*;97:143e9.
- Avedillo Carretero, M., Muñoz Rodríguez, M. A., 2008. Seguridad Energética en Europa: De la Percepción a la Cuantificación; Oficina Económica del Presidente del Gobierno de España.
- Awerbuch, S., Berger, M., 2003. Applying portfolio theory to EU Electricity Planning and Policy making. IEA/EET working paper, IEA Paris.
- Bredin, D., Elder, J., Fountas, S., 2011. Oil volatility and the option value of waiting: an analysis of the G7. *Journal of Futures Markets*, 31, 679-702.
- Bohi, D.R., Toman, M.A., 1996. The economics of energy security. Kluwer Academic Publishers.
- Bohi, D.R., Toman, M.A., 1993. Energy security: externalities and policies. *Energy Policy*, 21, 1093-1109.
- Castro, R., Faias, S., Esteves, J., 2016. The cost of electricity interruptions in Portugal: valuing lost load by applying the production-function approach. *Utilities Policy*, 40, 48-57.
- Cherp, A., Jewell, J., 2013. "Energy Security Assessment Framework and Three Case Studies." In *International Handbook of Energy Security*, edited by Hugh Dyer and Maria Julia Trombetta, 146–73. Cheltenham: Edward Elgar.
- Comisión Europea, 2014. In-depth study of European energy security. CWD(2014) 330 final.
- Constantini, V., Gracceva, F., 2004. Social costs of energy disruptions. Nota di lavoro 116.2004, Fondazione Eni Enrico Mattei.
- Couder, J. 2015. "WP7 Energy system/security: Literature Review on Energy Efficiency and Energy Security, including Power Reliability and Avoided Capacity Costs, D7.1 report (Grant Agreement No. 649724), Antwerp.
- Cox, E., 2015. Opening the black box of energy security: a study of conceptions of electricity security in the UK. SWPS 2015-37. University of Sussex
- de Nooij, M., Koopmans, C., Bijvoet, C., 2007. The value of supply security. The costs of power interruptions: economic input for damage reduction and investment in networks. *Energy Economics*, 29, 277-295.

- Deese, D. A., 1979. Energy: economics, politics, and security. *Int. Secur.* 4(3), p140. <http://dx.doi.org/10.2307/2626698>.
- Ebrahim, Z., Inderwildi, O.R., King, D.A., 2014. Macroeconomic impacts of oil price volatility: mitigation and resilience. *Frontiers in Energy*, 8, 9-24.
- Fernandez-Villaverde, J., Guerron-Quintana, P., Rubio-Ramirez, J., Uribe, M., 2011. Risk matters: the real effects of volatility shocks. *American Economic Review*, 101, 2530-2561.
- Frondel, M., Ritter, N., Schmidt, C., 2009. Measuring energy supply risks: a G7 ranking. *Ruhr Economic Papers*, 104.
- Gadea, M.D., Gómez-Loscos, A., Montañés, A., 2016. Oil price and economic growth: a long story? *Econometrics*, 4, 41.
- Gómez-Loscos, A., Montañés, A., Gadea, M.D., 2011. The impact of oil shocks on the Spanish economy. *Energy Economics*, 33, 1070-1081.
- Greene, D.L., Leiby, P.N., 2006. The oil security metrics model, ORNL/TM-2006/505, Oak Ridge National Laboratory.
- Greene, D.L., 2010. Measuring energy security: can the United States achieve oil independence? *Energy Policy*, 38, 1614-1621.
- Gula, E. 2008. "Oil vulnerability index of oil-importing countries", *Energy Policy* 36, p. 1195–1211.
- Hamilton, J.D., 1983. Oil and the macroeconomy since World War II. *Journal of Political Economy*, 91, 228-248.
- Hazewinkel, M., 2001. Z-transform, *Encyclopaedia of Mathematics*, Springer, ISBN 978-1-55608-010-4
- IEA, 2007. *Energy Security and Climate Change; assessing interactions*. International Energy Agency. Paris.
- IEA, 2001. *Energy price volatility: trends and consequences*. IEA paper, París.
- Jansen, J. C., Seebregts, A. 2010. Long-term energy services security: What is it and how can it be measured and valued? *Energy Policy*, 38: 1654–1664.
- Jansen, J.C., van Arkel, W.G., Boots, M.G. 2004. Designing indicators of long-term energy supply security, ECN-C-04-007; 35p.
- Jiménez-Rodríguez, R., 2008. The impact of oil price shocks: evidence from the industries of six OECD countries. *Energy Economics*, 30, 3095-3108.
- Kilian, L., 2014. Oil price shocks: causes and consequences. *Annual Review of Resource Economics*, 6, 133-154.
- Kruyt, B., vanVuuren, D.P., de Vries, H.J.M., Groenenberg, H., 2009. Indicators for energy security. *Energy Policy* 37; p.2166-2181.
- Labandeira, X., Labeaga, J.M., López, X., 2016. Un metaanálisis sobre la elasticidad precio de la demanda de energía en España y la Unión Europea. *Papeles de Energía*, 2, 65-93.
- Le Coq, C., Paltseva, E., 2009. Measuring the Security of External Energy Supply in the European Union, *Energy Policy* 37, p. 4474-4481.
- Leiby, P.N., 2007. Estimating the energy security benefits of reduced U.S. oil imports. ORNL/TM-2007/028, Oak Ridge National Laboratory.
- Leiby, P. N., Jones, D.W., Curlee, T.R., Lee, R., 1997. Oil imports: an assessment of benefits and costs, ORNL-6851, Oak Ridge National Laboratory.

- Li, Y., Shi, X., Yao, L., 2016. Evaluating energy security of resource-poor economies: A modified principle component analysis approach, *Energy Economics* 58, p211-221-
- Linares, P., Rey, L., 2013. The costs of electricity interruptions in Spain. Are we sending the right signals? *Energy Policy*, 61, 751-760.
- Loeschel, A., Moslener, U., Rübhelke, D., 2010. Indicators of energy security in industrialised countries. *Energy Policy*, 38, 1665-1671.
- Mansson, A., Johansson, B., Nilsson, L.J., 2014. Assessing energy security: an overview of commonly used methodologies. *Energy*, 73, 1-14.
- Manzano, B., Rey, L., 2012. The welfare cost of energy insecurity. WP FA07/2012, Economics for Energy.
- Markandya, A., Hunt, A., 2004. The externalities on energy insecurity. Final Report on Work Package 3, ExternE-Pol Research Project for the European Commission.
- Markandya, A., Pemberton, M., 2010. Energy security, energy modelling and uncertainty. *Energy Policy*, 38, 1609-1613.
- Peersman, G., Van Robays, I., 2012. Cross-country differences in the effects of oil shocks. *Energy Economics*, 34, 1532-1547.
- Praktiknjo, A., Hähnel, A., Erdmann, G., 2011. Assessing energy supply security: outage costs in private households. *Energy Policy*, 39, 7825-7833
- Rahman, S., Serletis, A., 2012. Oil price uncertainty and the Canadian economy: evidence from a VARMA, GARCH-in-mean, asymmetric BEKK model. *Energy Economics*, 34, 603-610.
- Rodilla, P., Batlle, C., 2012. Security of electricity supply at the generation level: problem analysis. *Energy Policy*, 40, 177-185.
- Schröder, T., Kuckshinrichs, W., 2015. Value of lost load: a efficient economic indicator for power supply security? A literature review. *Frontiers in Energy Research*, 3, 55.
- Toman, M., 1993. The economics of energy security: theory, evidence, policy, en Kneese, A.V., Sweeney, J.L. (eds.), *Handbook of Natural Resource and Energy Economics*, vol 3, Elsevier.
- Turton, H., Barreto, L., 2006. Long-term security of energy supply and climate change. *Energy Policy* 34, p.2232–2250.
- Vanhoorn, L., Faas, H., 2009. Short and long-term indicators and early warning tool for energy security, European Commission; JRC - Institute for Energy; Energy Security Unit, Petten (NL)
- Weare, C., 2003. The California electricity crisis: causes and policy options. Public Policy Institute of California.
- Winzer, C., 2012. Conceptualizing energy security. *Energy Policy*, 46, 36-48.
- Yergin, D., 1988. Energy Security in the 1990s. *Foreign Aff.* 67(1), p110–132.
- Zachariadis, T., Poullikkas, A., 2012. The costs of power outages: a case study from Cyprus. *Energy Policy*, 51, 630-641.
- Zachmann, G., Tagliapietra, S., 2016. Rethinking the Security Of The European Union's Gas Supply; Bruegel Policy Contribution; issue 2016/01 January 2016.

## Socios de Economics for Energy



FUNDACIÓN  
RAMÓN ARECES



ferrovial



INDITEX



Universidad de Vigo

economics<sub>for</sub>  
energy

Gran Vía 3, 3ºE

36204 Vigo (España)

Tel: +34 986 128 016

Fax: +34 986 125 404

Mail: [info@eforenergy.org](mailto:info@eforenergy.org)

[www.eforenergy.org](http://www.eforenergy.org)