



RETOS EN LA OPERACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN UN CONTEXTO DE TRANSFORMACIÓN DEL SECTOR ENERGÉTICO

Realizado por Joan Batalla*

Director General de FUNSEAM
Investigador de la Cátedra de Sostenibilidad Energética
Profesor Asociado Universidad de Barcelona

INFORME ESTRÁTEGICO

Septiembre de 2018

FUNSEAM - FUNDACIÓN PARA LA SOSTENIBILIDAD ENERGÉTICA Y AMBIENTAL
C/ John M. Keynes 1-11. Despacho 316 | 08034 Barcelona
Tel. 34 - 93 403 37 66
www.funseam.com

***NOTA DE AUTOR.** Tanto el contenido, como las conclusiones del documento, reflejan la opinión del autor. Estas opiniones no vinculan a las Empresas Patronas de la Fundación.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PRINCIPALES TENDENCIAS ENERGÉTICAS A NIVEL GLOBAL	7
1. La demanda energética a nivel global seguirá creciendo hasta 2040	8
2. Las proyecciones de la demanda se trasladan a incrementos de la demanda de todos los combustibles modernos	10
3. Necesidades crecientes de inversión en el suministro energético mundial	11
4. El acceso universal a la energía sigue sin estar garantizado	13
5. Un futuro cada vez más eléctrico	14
6. Creciente participación de la generación eléctrica renovable y en particular solar fotovoltaica y eólica	16
7. Relevancia de la eficiencia energética	18
8. Mejora en la intensidad energética	19
9. Estancamiento en las emisiones de CO2 asociadas a sector energético	21
10. Necesidad de esfuerzos adicionales para la consecución de los objetivos climáticos	22
TRANSFORMACIÓN EN LA GESTIÓN Y OPERACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO	24
11. Nuevos requisitos de flexibilidad: transformación del sistema eléctrico	25
12. Mecanismos de mejora del grado de flexibilidad	27

RETOS EN LA OPERACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN UN CONTEXTO DE TRANSFORMACIÓN DEL SECTOR ENERGÉTICO

A finales del año pasado, la Agencia Internacional de la Energía (AIE) presentó su *World Energy Outlook* (WEO 2017). Conscientes de la importancia del sector energético en la consecución de los objetivos recogidos en el Acuerdo de París sobre cambio climático, que entró en vigor en noviembre de 2017, y la dificultad de alcanzar las metas planteadas con las actuales políticas, la AIE presenta en este informe los diferentes escenarios en torno a la evolución de la demanda y la oferta energética con previsiones hasta 2040. Más allá de las relevantes conclusiones que se extraen del análisis de la evolución del sector energético, la AIE constata que para alcanzar los objetivos acordados en la Conferencia de las Partes de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático de 2015 (COP 21) es preciso un cambio transformacional del sector energético.

La transformación del sector energético en general, y el eléctrico en particular, liderada por las energías renovables es objeto de un especial análisis por parte de la AIE en su informe. Precisamente vinculado al ámbito de las energías renovables, uno de los aspectos más novedosos de este último WEO radica en el análisis conjunto de la situación y perspectiva de las energías renovables y la eficiencia energética. Desde el convencimiento de que avanzar en ambos ámbitos de actuación constituye un aspecto crucial de toda política de descarbonización, desde la AIE se apunta la necesidad de definir políticas e instrumentos de actuación bajo un enfoque común y no de forma separada, sin tener en cuenta posibles impactos cruzados, como se han venido desarrollando hasta el momento.

Asimismo, dada la relevancia que va a desempeñar el proceso de electrificación y los importantes cambios que se están sucediendo en el funcionamiento y operación del sistema eléctrico, el pasado mes de mayo la AIE presentó el informe *Status of Power System Transformation 2018: Advanced Power Plant Flexibility*. A nivel global, se está produciendo un proceso de transformación del sistema energético, con especial afección al sistema eléctrico, impulsando este proceso de cambio tres factores principales. En primer lugar, la participación creciente de generación eléctrica a partir de fuentes renovables de naturaleza variable tales como la energía eólica y la solar fotovoltaica. En segundo lugar, el despliegue de recursos de energía descentralizados. Y tercero, la difusión de la digitalización, que está

llegando a todos los segmentos de la cadena de valor desde la generación hasta los clientes, generando nuevas oportunidades de negocio y de optimización de los costes operativos.

Estos cambios están impulsando un cambio estructural con especial incidencia en la planificación y en la operación y gestión del sistema eléctrico. Todo ello con implicaciones sistémicas a la hora de garantizar la seguridad de suministro, requiriendo de una respuesta coordinada y proactiva por parte de los responsables de la formulación de políticas y las partes interesadas pertinentes en el sector energético.

Con la voluntad de participar en la búsqueda de soluciones a este nuevo paradigma energético, en el que los diferentes retos planteados presentan mayor interrelación, desde la AIE se aboga por la necesidad de un enfoque global que tome en consideración las importantes y significativas interdependencias que se producen. Dada la relevancia de las cuestiones planteadas, este Informe FUNSEAM pretende aportar una síntesis de aquellos aspectos más relevantes recogidos — con especial énfasis en aquellos que conciernen al sector eléctrico — en los citados informes de la AIE, tanto en su *World Energy Outlook (WEO 2017)* como en su *Status of Power System Transformation 2018: Advanced Power Plant Flexibility*. Tras un primer apartado centrado en el análisis de las tendencias energéticas globales con el horizonte del 2040, centrándose en aquellas que conciernen al sector eléctrico, en la segunda parte se presentan las implicaciones y recomendaciones en el ámbito propiamente de la operación y gestión de los sistemas eléctricos.

PRINCIPALES TENDENCIAS ENERGÉTICAS A NIVEL GLOBAL

La Agencia Internacional de la Energía (AIE), basándose en diferentes escenarios energéticos, ofrece previsiones y análisis hasta 2040, con el propósito de aportar orientación e información que puedan ayudar a mejorar el sistema energético en la consecución de los distintos objetivos de lucha contra el cambio climático. De forma novedosa, en esta nueva edición **se incorpora un nuevo escenario** a los dos centrales o habituales en años anteriores — *New Policies Scenario (NPS)* y *Current Policies Scenario (CPS)*¹—, el ***Sustainable Development Scenario (SDS)***.

Este nuevo escenario, surge de la necesidad de aceptar que minimizar el impacto del cambio climático implica una reducción de emisiones sólo posible con una transformación a partir de una modificación de la actual política energética y medioambiental. Bajo ninguno de los diferentes escenarios con los que había venido trabajando la AIE se puede asegurar la consecución de los objetivos climáticos. Incluso con el cumplimiento de las obligaciones comprometidas por los países firmantes del acuerdo de París (*Intended National Determined Contributions – INDC*), aspecto contemplado en su *Sustainable Development Scenario (SDS)*, no se asegura que se pueda alcanzar la cota de los 2Cº.

Los efectos que se derivan del proceso de calentamiento global son cada vez más evidentes. En este sentido, recientemente la Organización Meteorológica Mundial (OMM) ha señalado que el año 2017 ha sido uno de los tres años más calurosos — junto a 2016 y 2015 — desde que comenzaron los registros en 1880. El análisis de la institución muestra que la temperatura media en la superficie del planeta el año pasado fue 1,1 grados centígrados superior a la del periodo 1880-1900, considerado "preindustrial". El año 2016 mantiene el título de más cálido, con 1,2 grados por encima de esa referencia preindustrial. Más allá del análisis coyuntural de la clasificación de los años individuales, lo más relevante es el análisis

¹ Las predicciones y análisis elaborados por la AIE en su WEO se basan en diferentes escenarios. Hasta la edición 2017 del WEO, el escenario central o base era el *New Policies Scenario (NPS)* donde se asume la aplicación de los compromisos y planes anunciados, incluso de aquellos que todavía no han sido formalmente adoptados. Constituía el escenario base en la medida que proporciona un punto de referencia para evaluar logros y limitaciones en el desarrollo de las actuales políticas sobre el cambio climático y la energía. Por su parte, el *Current Policies Scenario (CPS)* sólo toma en consideración aquellas políticas que hayan sido formalmente adoptadas. En ediciones anteriores, estos dos escenarios venían acompañados del Escenario 450 (*450 Scenario*) presenta una situación energética compatible con el objetivo de limitar el aumento de la temperatura global media a 2°C. En la edición de 2017, conjuntamente con el SDS se presentan las estimaciones correspondientes a 6 escenarios adicionales: *Faster Transition Scenario*, *Low Oil Price Case*, *Energy for All Case*, *450 Scenario*, *Clean Air Scenario* and *Bridge Scenario*.

de la tendencia a largo plazo y su carácter eminentemente ascendente, con repercusiones profundas y duraderas en el nivel del mar y en los patrones climáticos de determinadas regiones del mundo.

Con el fin de ofrecer una orientación hacia donde se deben dirigir las políticas energética y de mitigación del cambio climático, surge por primera vez este nuevo escenario de la AIE a partir de una aproximación conceptual y metodológica totalmente distinta en relación a sus predecesores. Frente a los escenarios centrales previos que, partiendo de determinadas hipótesis y supuestos acerca de los efectos de las diferentes políticas y avances tecnológicos, nos apuntaban una senda de evolución del sector energético, el escenario SDS realiza una aproximación que parte de dónde debemos llegar para después describir cuál debería ser la senda que nos permita alcanzar dicho objetivo. Es por ello que se convierten un escenario de referencia con el que comparar la evolución real del sector energético.

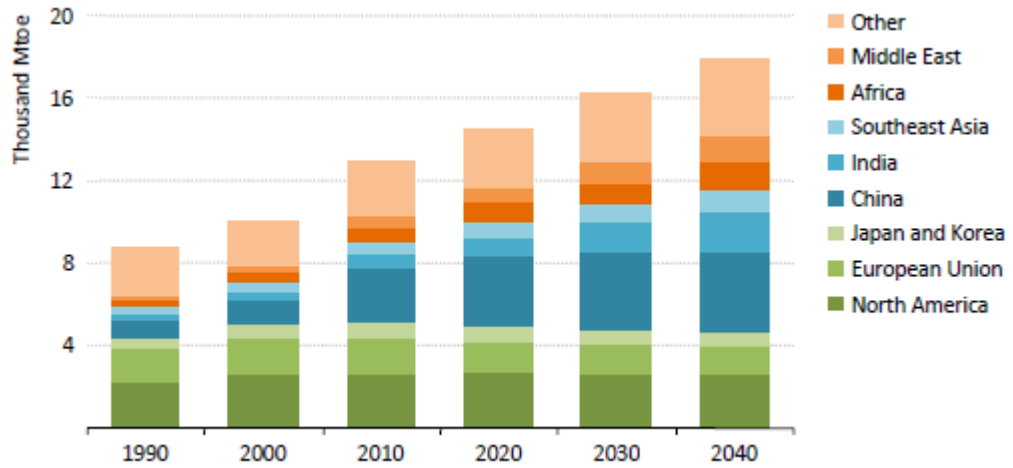
En la presentación de las principales conclusiones y tendencias del sector energético, a no ser que se indique lo contrario, el escenario *Sustainable Development Scenario (SDS)* será tomado como escenario central o base. Adentrándonos en las tendencias, señalar que:

1. La demanda energética a nivel global seguirá creciendo hasta 2040

En el escenario *New Policies* del WEO 2017, la demanda energética mundial experimenta un aumento del 27,8% hasta 2040 impulsada por el crecimiento demográfico y económico global (Gráfico 1). Mientras la demanda total de los países de la OCDE va en descenso, el centro de gravedad de la demanda energética mundial sigue desplazándose hacia zonas y países en fase de industrialización y urbanización como la India, el Sudeste asiático y China, así como hacia determinadas zonas de África, América Latina y Oriente Medio. Las previsiones de crecimiento presentan variaciones en función del escenario tomado en consideración, fluctuando entre un crecimiento del 40,3% en el *Current Policies Scenario (CPS)* hasta el 2,4% con el *Sustainable Development Scenario (SDS)*.

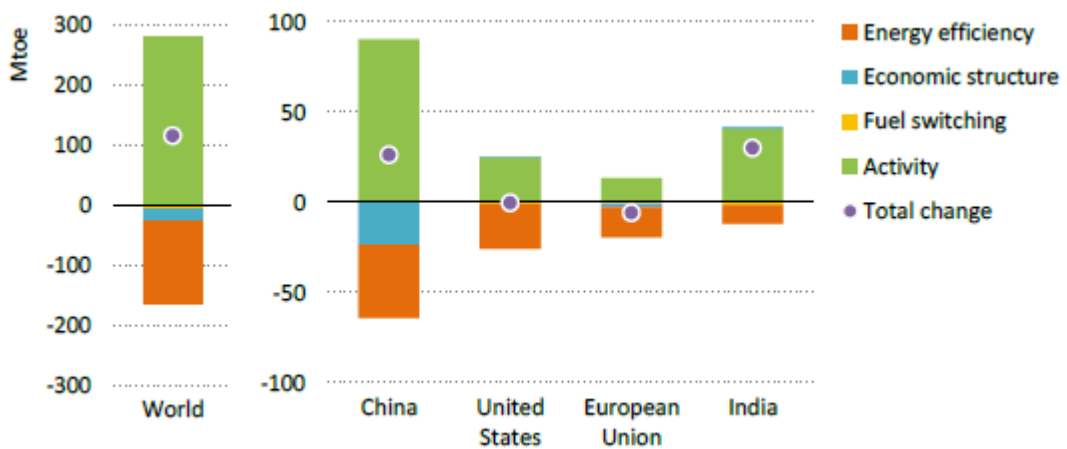
El crecimiento en la demanda de energía primaria es explicado eminentemente por la evolución de la actividad económica. La evolución positiva de la riqueza de las regiones medida en términos de Producto Interior Bruto (PIB) conllevará un mayor consumo energético, si bien compensado por las políticas y medidas de ahorro y eficiencia energética y los cambios previstos en la estructura económica con la consiguiente mejora en los ratios de intensidad energética.

Gráfico 1: Evolución de la demanda energética global, 1990-2040



De acuerdo a las estimaciones de la AIE, un crecimiento acumulado del 80% en el PIB global en las próximas tres décadas, sólo llevará parejo un incremento del 20% en la demanda de energía primaria — en el período 2000-2016 un crecimiento económico de similar magnitud conllevó un crecimiento del 40%—, explicado en gran medida tal como se ve en el siguiente gráfico por la introducción de acciones de eficiencia energética.

Gráfico 2: Evolución anual (Mtoe) en la demanda de energía final por regiones (NPS), 2016-2040



2. Las proyecciones de la demanda se trasladan a incrementos de la demanda de todos los combustibles modernos

El crecimiento global de la demanda energética (27,8% para 2040) se traduce en incrementos de la demanda de todas las fuentes. A pesar de esta tónica generalizada de crecimiento y de la fuerte inercia que caracteriza al mix energético, atendiendo a las tasas de crecimiento anual compuestas (TCAC) entre 2016 y el horizonte 2040 se empiezan a apreciar ciertos cambios en la composición de la demanda.

Tabla 1: Evolución de la demanda de energía primaria a nivel mundial (escenario NPS), 2000-2040

			New Policies		Current Policies		Sustainable Development	
	2000	2016	2025	2040	2025	2040	2025	2040
Coal	2 311	3 755	3 842	3 929	4 165	5 045	3 023	1 777
Oil	3 670	4 388	4 633	4 830	4 815	5 477	4 247	3 306
Gas	2 071	3 007	3 436	4 356	3 514	4 682	3 397	3 458
Nuclear	676	681	839	1 002	839	997	920	1 393
Hydro	225	350	413	533	409	513	429	596
Bioenergy*	1 023	1 354	1 530	1 801	1 507	1 728	1 272	1 558
Other renewables	60	225	490	1 133	441	856	633	1 996
Total	10 035	13 760	15 182	17 584	15 690	19 299	13 921	14 084
<i>Fossil-fuel share</i>	<i>80%</i>	<i>81%</i>	<i>78%</i>	<i>75%</i>	<i>80%</i>	<i>79%</i>	<i>77%</i>	<i>61%</i>
CO₂ emissions (Gt)	23.0	32.1	33.4	35.7	35.4	42.7	28.8	18.3

Tal como se desprende de la Tabla anterior, frente a una tasa de crecimiento media anual a nivel global del 1% para el período 2016-2040, el gas natural logra el mejor resultado entre los combustibles fósiles, viendo aumentar su consumo en un 44% (TCAC del 1,6%). El carbón, a pesar del fuerte crecimiento experimentado en los últimos años, ve cómo su demanda se estanca en los próximos años (TCAC del 0,2%). En este caso concreto, es en el que la AIE constata mayores diferencias entre países y/o regiones geográficas. Mientras que está previsto que la demanda de carbón en la Unión Europea y Estados Unidos caiga de aquí a 2040 en un 47,4% y 16,4% respectivamente, para las economías del Sudeste asiático — especialmente India — que en estos momentos ya representan el 73,8% de la demanda global de carbón, se prevé que su demanda siga incrementando (TCAC del 0,5%). La necesidad de dar satisfacción a un creciente consumo energético se encuentra detrás de

esta situación, no planteándose renunciar a corto plazo a esta fuente energética de bajo coste. En el caso de China, está prevista una reducción en su consumo de carbón, debido a una mayor eficiencia en su uso, así como por una mayor participación de las energías renovables en su matriz energética.

A largo plazo, la demanda de petróleo sigue creciendo (TCAC del 0,4%), si bien a un ritmo inferior al actual. Según las estimaciones de la AIE en su escenario central, la demanda de crudo se concentrará en ámbitos muy concretos — transporte de mercancías, aviación y productos petroquímicos — para los que existen escasas alternativas energéticas. En este punto cabe reseñar que, si bien las fuentes energéticas de origen fósil van viendo reducida su relevancia relativa en la matriz energética, en el año 2040 seguirán ostentando una gran relevancia representando el 61% de la demanda energética global.

Por usos energéticos, las estimaciones de la AIE ponen de manifiesto una reducción del consumo de petróleo en generación eléctrica, en edificios y en vehículos de pasajeros, gracias a las mejoras acaecidas en términos de eficiencia energética, así como por la incorporación creciente de los vehículos eléctricos y los biocombustibles. No obstante, el aumento del consumo de crudo asociado al transporte de mercancías, la aviación y especialmente en el sector petroquímico hace que la demanda de petróleo en términos absolutos siga creciendo en los próximos años y no se alcance el pico de demanda en el periodo temporal objeto de análisis.

Entre las fuentes energéticas, las energías renovables son las que van a experimentar un mayor crecimiento (TCAC del 7%). El sector eléctrico es el sector en el que las renovables están teniendo más impacto, seguido de la generación de calor y el transporte. Las previsiones de la AIE en su escenario central indican que, hasta el año 2040, las incorporaciones de capacidad renovable serán muy importantes en el sector eléctrico, pero menos en los sectores de transporte y de generación de calor, existiendo un gran potencial sin explotar en estos dos últimos sectores.

3. Necesidades crecientes de inversión en el suministro energético

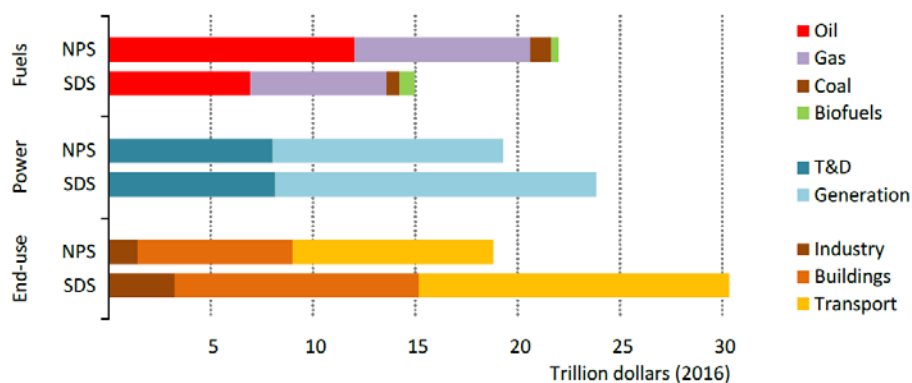
De acuerdo con los diferentes escenarios contemplados, la AIE prevé unas necesidades crecientes de inversión para garantizar el suministro energético global. En el período 2010-16, la inversión media anual correspondiente al conjunto del sector energético ascendió a 1,9 billones de dólares, representando los proyectos vinculados a los combustibles fósiles el 54% de la inversión (Tabla 2).

Tabla 2: Inversión global en el sector energético, 2017-2040 (2016 US \$)

	2010-16	New Policies		Current Policies		Sustainable Development	
	Per year	Cumulative	Per year	Cumulative	Per year	Cumulative	Per year
Fossil fuels	1 103	24 713	1 007	29 932	1 247	15 496	646
Renewables	297	7 950	331	6 350	265	12 828	534
T&D	236	8 025	334	8 524	355	8 145	339
Other low-carbon	14	1 127	47	1 095	46	2 325	97
Supply	1 650	41 276	1 720	45 901	1 913	38 795	1 616
<i>Power sector share</i>	41%		47%		41%		63%
<i>Oil and gas share</i>	54%		50%		55%		35%
End-use	295	18 809	784	11 912	496	30 340	1 264

Frente a esta inversión, en los próximos años se prevé un proceso de reasignación de los recursos económicos. Mientras que en el período 2010-2017, el 56% de la inversión total en el lado de la oferta tuvo como destino los combustibles fósiles, en las próximas décadas las energías renovables, las redes eléctricas, así como otros proyectos bajos en emisiones concentran las nuevas inversiones, variando las cifras en función del escenario en consideración (Gráfica 3). En el caso concreto del escenario de desarrollo sostenible (SDS), el reparto de los cerca de 70 billones de dólares de inversiones acumuladas pone de manifiesto como la inversión destinada a los combustibles fósiles desciende al 22,4%.

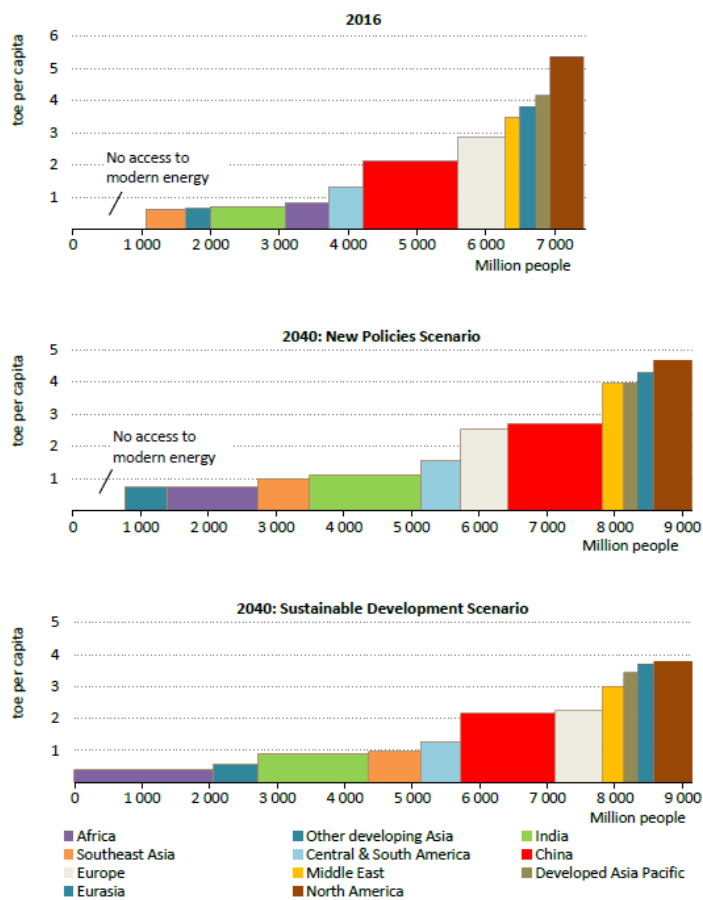
Gráfica 3: Inversión global en el lado de la oferta, 2016-2040 (2015 US \$)



4. El acceso universal a la energía sigue sin estar garantizado

Pese a este incremento en la demanda energética y a los importantes esfuerzos realizados en muchos países, en 2030 todavía existirán amplios sectores de la población mundial que seguirá sin acceso a fuentes modernas de energía. En 2030, cerca de 675 millones de personas — fuertemente concentradas en el África subsahariana — carecerán de acceso a la energía eléctrica y cerca de 1.800 millones de personas seguirán dependiendo de la biomasa sólida para cocinar, con los consiguientes impactos sobre la calidad de vida. Asimismo, se produce una modesta convergencia en términos de consumo energético per cápita, manteniéndose las fuertes diferencias existentes en las regiones con mayores rentas per cápita y aquellas otras con menores recursos (Gráfico 4).

Gráfico 4: Demanda de energía per cápita, 2016-2040



Un segundo aspecto, más allá de las consideraciones cuantitativas acerca del consumo per cápita, radica en considerar dónde se ubican estos consumidores energéticos. En el año 2007, el número de personas que viven en áreas urbanas en todo el mundo superó por primera vez a la población que se encontraba en zonas rurales. En estos momentos, con datos correspondientes a 2016, este porcentaje asciende hasta el 54% representando cerca de dos tercios de la demanda mundial de energía. Para 2040, las proyecciones de la AIE anticipan que la proporción se incrementará en 1.700 millones de personas, concentrándose cerca del 90% del aumento en economías en desarrollo. Un cambio con enormes implicaciones para el uso de energía, en la medida que conlleva una transición de combustibles sólidos (biomasa y carbón) a otras formas de energía (electricidad, gas natural y petróleo principalmente). El impacto de todo este proceso migratorio en términos climáticos va a depender en gran medida de las políticas públicas, tanto en diseño urbano como en el uso de la energía, que se acaben implementando y poniendo en práctica.

5. Un futuro cada vez más eléctrico

El WEO apunta que la electricidad constituye la forma final de energía que va a experimentar un mayor crecimiento en la matriz de energía final, siendo al mismo tiempo, el sector eléctrico el que más contribuye a reducir la participación de los combustibles fósiles en el mix energético global. En este sentido, en el escenario NPS del WEO, se prevé un crecimiento del 60% en la demanda eléctrica de aquí a 2040. Más del 85% de este crecimiento se concentrará en las economías en desarrollo, siendo los sectores de la edificación y la industria los que explican en mayor medida esta evolución creciente.

Aunque la senda de evolución varía en función del escenario contemplado (Gráfico 5), un incremento en la demanda de electricidad constituye un rasgo común en todos los escenarios.

En el escenario de nuevas políticas, la demanda de electricidad alcanza 34.470 TWh en 2040, frente a los 21.375 TWh actuales. En cada uno de los escenarios de WEO, se desprende como nuevos usos en la industria, necesidades de refrigeración, grandes electrodomésticos, tecnologías de la información y la comunicación (TIC) y los pequeños electrodomésticos explican en gran medida este crecimiento en la demanda de electricidad (Gráfico 6).

Gráfico 5: Evolución de la demanda eléctrica, 2000-2040

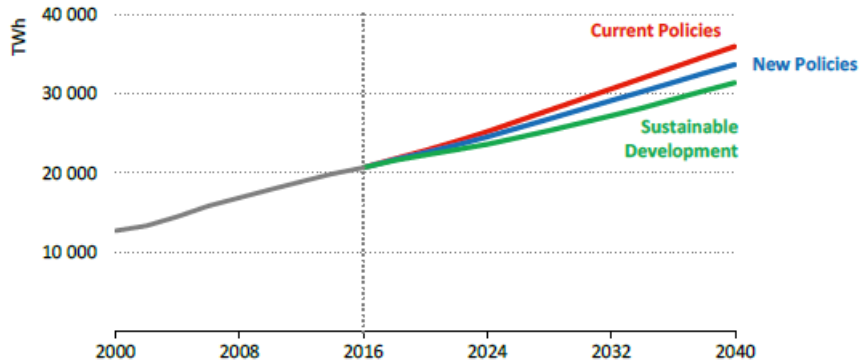
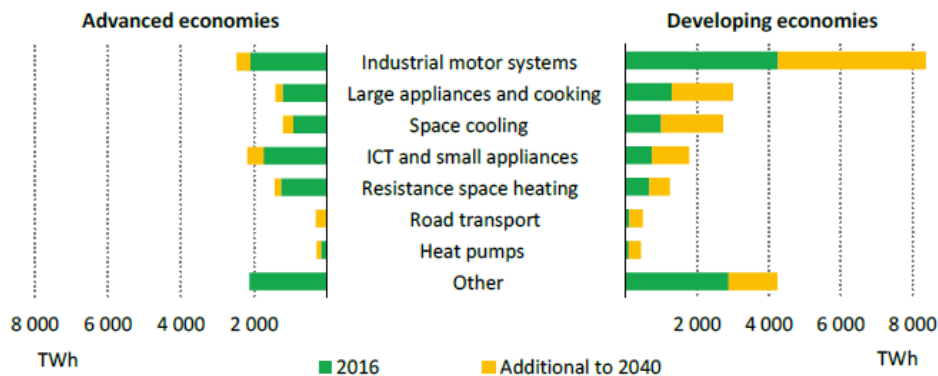


Gráfico 6: Demanda de electricidad por usos finales, 2016-2040



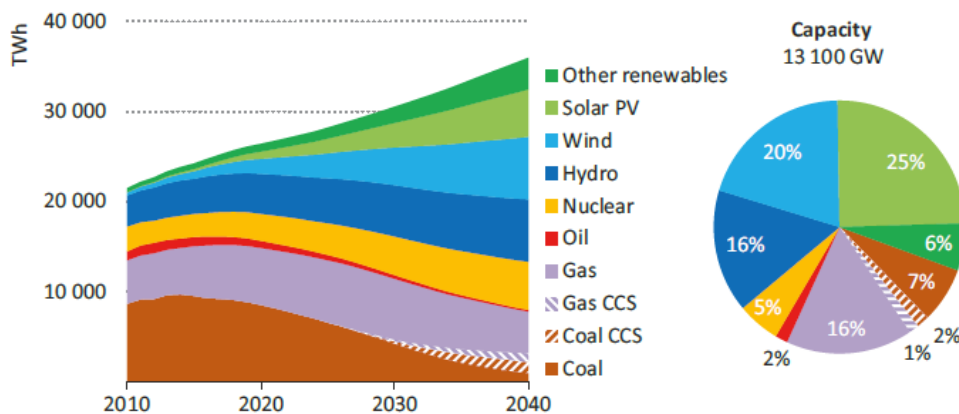
Con todos estos cambios, fruto de un cambio estructural y de la electrificación de nuevos usos finales, se espera que la participación de la electricidad en la demanda final de energía aumentará del 18,7% actual al 23,2% en 2040.

El sector eléctrico, reviste una especial atención, dada su relevancia en la consecución de los compromisos adoptados en la cumbre de París. Un creciente proceso de electrificación acompañado de una creciente participación de las energías renovables en la generación eléctrica sin duda constituye una de las principales líneas de actuación en el proceso de descarbonización de las economías, generando nuevos retos para la operación del sistema eléctrico como se pondrá de manifiesto en el segundo bloque de este informe.

6. Creciente participación de la generación eléctrica renovable y en particular solar fotovoltaica y eólica

Las fuentes de energía renovables, que constituyen un pilar fundamental de un modelo energético bajo en emisiones de CO₂, continúan con su senda de expansión a nivel global. Según la AIE, en 2040 la generación eléctrica a partir de fuentes de origen renovable tendrá un papel protagonista dando cobertura a más del 60% de la demanda eléctrica (Gráfico 7). Un 15% adicional provendrá de la energía nuclear — si bien en las hipótesis contempladas en el SDS el desarrollo de la generación nuclear se limita a las regiones y países donde ya existen centrales nucleares o se encuentran ya planificadas —. De esta forma, es posible afirmar que las energías renovables se convertirán en la opción preferente para satisfacer la nueva demanda de electricidad, desplazando a la actual generación eléctrica a partir de combustibles fósiles. Entre las tecnologías renovables, la eólica y solar fotovoltaica se convertirán en las dos más relevantes en términos de potencia instalada, proporcionando un tercio de toda la electricidad en 2040.

Gráfico 7: Generación eléctrica (izquierda) y potencia instalada (derecha) (NDS), 2040

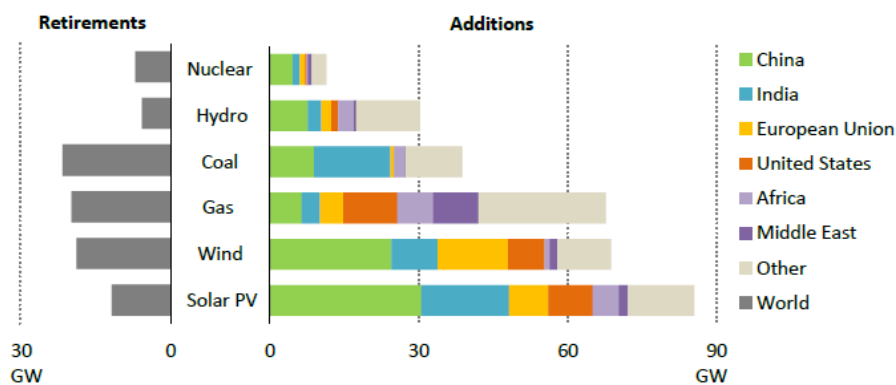


En términos de nueva potencia instalada, ya en 2016 las renovables superaron por primera vez a la generación a partir de combustibles fósiles. Esta realidad se mantiene para todo el período en consideración y para todas las regiones, en los que, de media, cerca del 60% de toda la capacidad de generación eléctrica nueva de aquí hasta 2040 va a provenir de las energías renovables (5.170 GW en 2040 en el NPS), erigiéndose en la principal fuente de producción eléctrica antes de 2030. Dentro de las energías renovables, de acuerdo con las estimaciones de la AIE las tecnologías que van a experimentar un mayor crecimiento serán

la eólica y la solar fotovoltaica. Una reducción en los costes de este tipo de tecnologías explica en gran medida este crecimiento.

De aquí a 2040, China, India, la Unión Europea y Estados Unidos concentrarán más de dos tercios de la nueva capacidad de generación de origen renovable (Gráfico 8). En estos cuatro mercados eléctricos, las energías renovables de carácter intermitente — eólica y solar fotovoltaica principalmente — se convierten en la principal fuente de generación antes de 2040, con las consiguientes implicaciones en el correcto funcionamiento de los sistemas eléctricos.

Gráfico 8: Peso de las tecnologías de generación de origen renovables en la nueva potencia instalada por regiones (NPS), 2017-2040



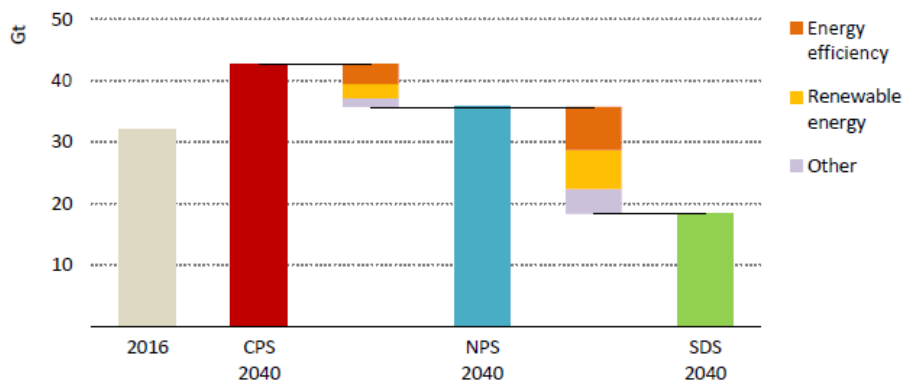
A pesar de este espectacular crecimiento de la participación de las energías renovables, la AIE pone de manifiesto dos cuestiones de gran relevancia que exigen de una revisión de determinados aspectos de la política energética. En concreto, se apunta que, a pesar de la reducción en los costes de las energías renovables, ésta no será suficiente para asegurar una drástica disminución en las emisiones de CO₂ del suministro eléctrico. Aunque se pueden observar las primeras evidencias empíricas del proceso de desacoplamiento entre crecimiento de la demanda eléctrica y emisiones de CO₂, de acuerdo con las estimaciones obtenidas en el NPS, la intensidad media de emisiones de la generación eléctrica pasa de los actuales 515 gCO₂/KWh hasta los 325 gCO₂/KWh en 2040. Alcanzar objetivos más ambiciosos en términos de intensidad media de emisiones pasa por revisar el precio asociado a los derechos de emisión y por potenciar las políticas encaminadas a promover tecnologías de generación bajas en emisiones.

7. Relevancia de la eficiencia energética

En el actual marco de transición energética hacia un modelo de bajas emisiones, será necesaria la confluencia de un amplio abanico de transformaciones en el actual modelo energético. En este sentido, conjuntamente con el creciente papel que en el ámbito energético jugará la generación renovable, en el marco de un proceso creciente de electrificación, desde la AIE se apunta la necesidad de avanzar de forma paralela en otros ámbitos de relevancia, como es el de la eficiencia energética.

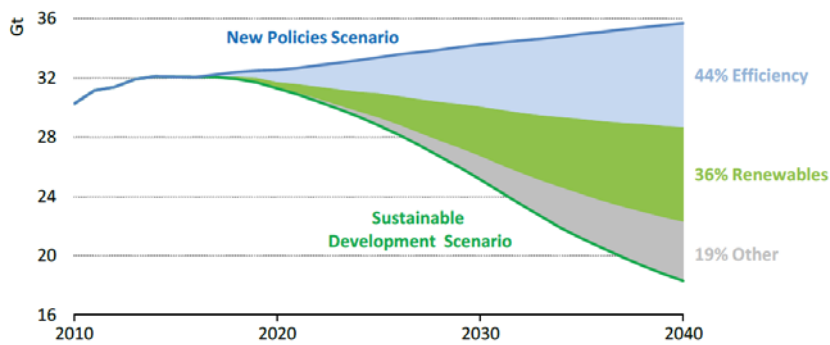
Las energías renovables y la eficiencia energética representan una parte considerable de las reducciones en las emisiones de CO₂ que son necesarias para dar cumplimiento a los objetivos climáticos.

Gráfico 9: Contribución de la eficiencia energética y las energías renovables a las reducciones de emisiones de CO₂ asociadas al sector energético



Sin ir más lejos, avanzar desde el escenario de políticas actuales hacia el escenario sostenible sólo será posible con una contribución significativa — más de tres cuartas partes — de aportaciones en términos de reducción de emisiones explicadas tanto por la eficiencia energética como por las energías renovables. Entre ambas, su contribución a la reducción de las emisiones globales de dióxido de carbono asciende al 80% (Gráfico 10).

Gráfico 10: Contribución de la eficiencia energética y las energías renovables, 2010-2040



Uno de los aspectos más novedosos de este último WEO radica en el análisis conjunto de la situación y perspectiva de las energías renovables y la eficiencia energética. En el convencimiento de que avanzar en ambos ámbitos de actuación constituye un aspecto crucial de toda política de descarbonización, desde la AIE se apunta la necesidad de definir políticas e instrumentos de actuación bajo un enfoque común y no de forma separada, sin tener en cuenta posibles impactos cruzados, como se han venido desarrollando hasta el momento.

En aras de avanzar bajo este nuevo enfoque, por primera vez se realiza el análisis de la situación y perspectivas tanto de la eficiencia energética como de las energías renovables de forma conjunta, dedicando una especial atención a los ámbitos en los que se producen interacciones: *demand side response* (DSR), demanda de calor industrial y códigos técnicos para la edificación – en lo que concierne a energía –.

8. Mejora en la intensidad energética

Los avances en la eficiencia energética que se han producido estos últimos años se han traducido en mejoras de los ratios de intensidad energética, es decir a la cantidad de energía que es necesaria para obtener una unidad de producto a nivel agregado (definida ésta como la relación entre demanda de energía primaria y Producto Interior Bruto). Una mejora significativa que queda perfectamente reflejada si se toma en consideración lo sucedido en el periodo 2000-2016, en el que un crecimiento del PIB global cercano al 80% fue acompañado de un crecimiento del 40% en la demanda de energía primaria. Para un similar nivel de crecimiento económico para el 2040, la AIE estima que irá acompañado de un crecimiento del 20% en la demanda de energía primaria, indicativo de cierto grado de

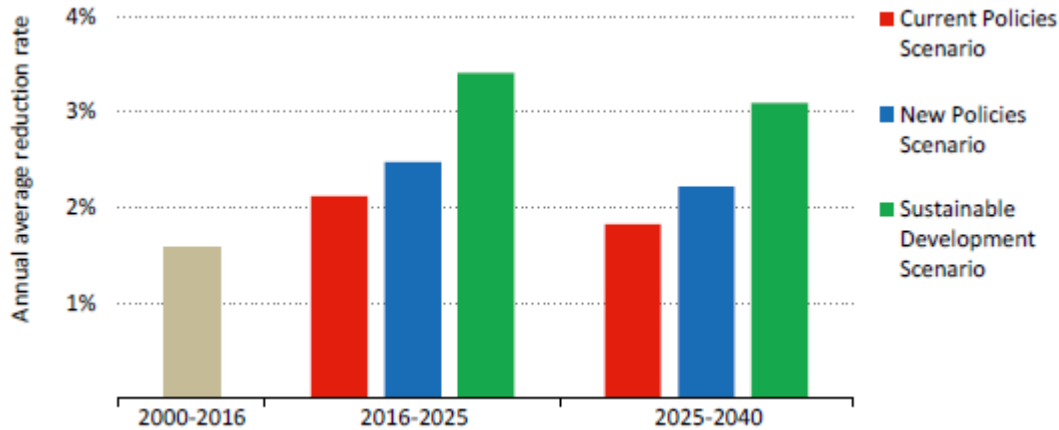
desacoplamiento o como mínimo de debilitamiento del vínculo tradicionalmente existente entre ambas variables.

Este cambio sólo puede ser explicado por las reducciones acaecidas en la intensidad energética. En 2016, este ratio entre energía primaria y Producto Interior Bruto (PIB) se redujo en un 2% — alcanzando las 115 toneladas equivalente de petróleo (toe) por cada millón de dólares de PIB —. Un porcentaje ligeramente superior al experimentado en el conjunto del período 2000-2016 (Gráfico 11) pero inferior al que se produjo en el año 2015 (2,8% de reducción), indicativo de que es necesario renovar esfuerzos si se desea avanzar en el más que necesario proceso de desacoplamiento del binomio existente entre crecimiento económico y consumo energético.

Detrás de esta evolución en la eficiencia energética global se encuentran factores determinantes que difieren en función de la región o fuente de energía tomada en consideración. En China, la intensidad energética en 2016 fue un 5,7% inferior a la de 2015. A pesar del crecimiento económico sostenido que ha caracterizado a la economía china, el ritmo de crecimiento de la demanda energética en 2016 fue diez veces más bajo que la media de la pasada década. En los Estados Unidos, la intensidad energética mejoró un 3% en 2016, por encima de la media mundial pero inferior a la mejora del 3,8% producida en 2015 como resultado, en parte, de los precios del petróleo más bajos que alentó un mayor consumo de gasolina. Oriente Medio fue una de las pocas regiones donde la mejora en el ratio de intensidad energética del 2016 fue superior a la del año anterior.

Mejoras en la eficiencia energética que vienen explicadas por regulaciones específicas de naturaleza obligatoria en ámbitos tan dispares como la construcción, el transporte o la industria y que deberán ser revisadas y posiblemente incrementadas si se desea reducir el montante de energía primaria necesaria para la obtención de una unidad de output. En los diferentes escenarios de futuro contemplados por la AIE — NPS y SDS — las reducciones en la intensidad energética de aquí a 2040 deben ser superiores al 2% anual, con un esfuerzo más significativo en la primera etapa que finaliza en 2025. En este primer período, en el escenario de desarrollo sostenible se apuntan reducciones del orden del 3,2% anual, una cifra que duplica la media experimentada en el período 2000-2016, indicativo de la exigencia del esfuerzo necesario.

Gráfico 11: Reducción en la intensidad energética global por escenarios

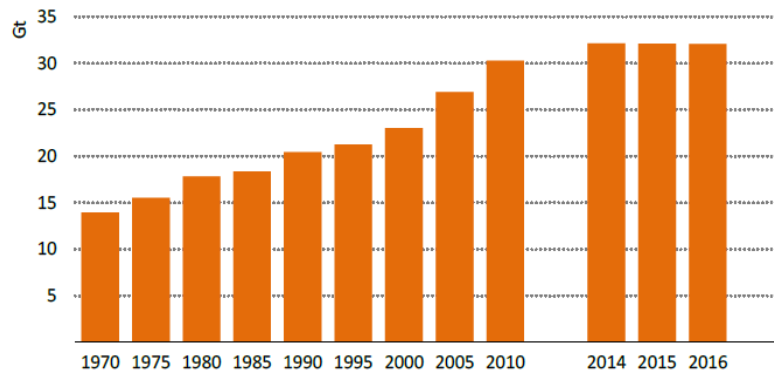


9. Estancamiento en las emisiones de CO₂ asociadas a sector energético

En los últimos tres años se ha producido un cierto estancamiento en las emisiones asociadas al sector energético, ligeramente por encima de las 30 Gt de CO₂, tras una senda de crecimiento continuado que se remonta a la década de los años setenta (Gráfico 12). Esta excelente noticia viene explicada por la confluencia de diversos factores: expansión de la generación baja en emisiones (solar y fotovoltaica principalmente), reducción a nivel global de la intensidad energética o la caída en la demanda global de carbón que se deriva de los cambios producidos en la política energética de China y por la transición del carbón al gas en el caso de los Estados Unidos.

Ante esta evolución, existen dudas e incertidumbre sobre si hemos alcanzado un genuino punto de inflexión o por el contrario se trata de la mera confluencia de factores coyunturales de naturaleza temporal que se puede revertir en cualquier momento, ocasionando que se vuelva a un periodo de crecimiento en la senda de emisiones de dióxido de carbono.

Gráfico 12: Emisiones de CO₂ en el sector energético (Gt), 1970-2016



10. Necesidad de esfuerzos adicionales para la consecución de los objetivos climáticos

A pesar de los importantes avances realizados en estos últimos años, la transición del sector energético hacia un futuro modelo bajo en emisiones compatible con el objetivo de limitar el calentamiento global a menos de 2°C exige de esfuerzos adicionales. Con los acuerdos planteados de forma voluntaria por los países firmantes del Acuerdo de París (NDCs) sería posible reducir el aumento previsto de las emisiones mundiales de CO₂, pero no bastaría para limitar el calentamiento a menos de 2°C.

En este sentido, a pesar de que se está produciendo un cierto desacoplamiento entre crecimiento económico y emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) vinculadas al consumo de energía (Gráfico 13), la AIE apunta que es preciso cambiar radicalmente el ritmo de reducciones de CO₂ con actuaciones adicionales.

En el escenario de nuevas políticas, los resultados de las diferentes iniciativas en el ámbito climático y energético de la mano con el progreso tecnológico no son suficientes para ofrecer una transición energética global que logre alcanzar un máximo en sus emisiones de CO₂ antes de 2040. De acuerdo con estas estimaciones, las emisiones totales de GEI relacionadas con la energía siguen creciendo, a pesar de la disminución que se prevé en las economías desarrolladas o el estancamiento previsto en las correspondientes China. Detrás de esta evolución esperada a nivel global se encuentran las emisiones asociadas a las economías emergentes y en desarrollo que van a experimentar incrementos en sus consumos energéticos asociados al incremento de su riqueza (Gráfico 14).

Gráfico 13: Relación entre PIB real y emisiones contaminantes, 2010-2016

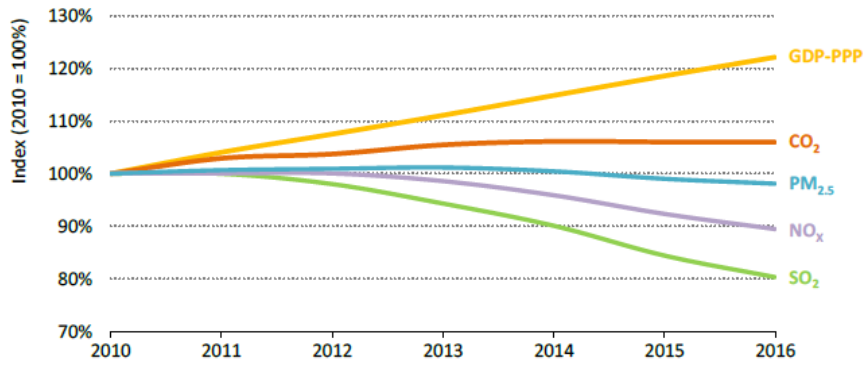
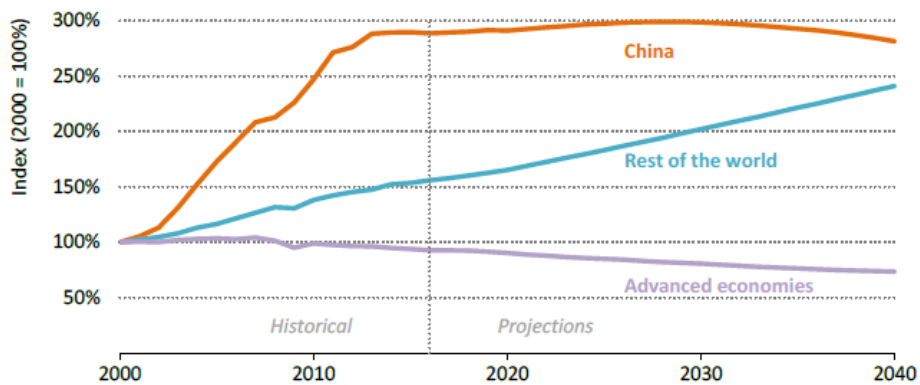


Gráfico 14: Evolución de las emisiones de CO₂ por regiones, 2000-2040



TRANSFORMACIÓN EN LA GESTIÓN Y OPERACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO

Las energías renovables ocupan un papel protagonista en la configuración de los distintos modelos energéticos tanto a nivel europeo como mundial. Esta creciente participación de las energías renovables en el mix de generación eléctrica, fomentada por las innumerables ventajas que conlleva, no está exenta de retos de diferente naturaleza en lo que respecta a la operación y gestión del sistema eléctrico.

Para todo sistema eléctrico, un principio básico de funcionamiento es la garantía de suministro, entendida ésta como la capacidad de asegurar la continuidad del suministro a los consumidores. Sin duda una cuestión de gran relevancia, más si se tiene en cuenta que en todo momento la producción eléctrica debe igualarse a su consumo de forma precisa e instantánea y la energía eléctrica no se puede almacenar en grandes cantidades. La garantía y fiabilidad del suministro constituye un elemento clave para el correcto funcionamiento de una sociedad cada vez más electrificada.

La integración de las energías renovables en los respectivos sistemas eléctricos plantea diferentes retos en función del horizonte temporal que se tome en consideración. En el corto plazo, la garantía de suministro implica disponer de capacidad de producción suficiente y procedimientos de operación para garantizar una operación segura del sistema eléctrico — seguridad —. En el medio plazo, implica gestionar la capacidad de producción instalada orientada a garantizar un margen de reserva adecuado — firmeza —, mientras que en el largo plazo implica asegurar la existencia de suficiente capacidad instalada con el fin de responder a la demanda prevista en los próximos años — suficiencia —.

Retos todos ellos de gran relevancia, pero con distintas problemáticas, que exigen mecanismos diferenciados de respuesta a nivel técnico y regulatorio.

Dada la relevancia de todas estas cuestiones, están siendo objeto de análisis y debate por parte de la AIE, recogiendo este informe de FUNSEAM una síntesis de aquellas más destacadas del reciente estudio *Status of Power System Transformation 2018: Advanced Power Plant Flexibility*.

De la mano del *National Renewable Energy Laboratory* (NREL), uno de los aspectos más destacables de este reciente estudio de la AIE radica en definir los ámbitos de actuación a tener en cuenta a la hora de incrementar la flexibilidad de todo sistema eléctrico. A continuación, se presentan las conclusiones de mayor interés.

11. Nuevos requisitos de flexibilidad: transformación del sistema eléctrico

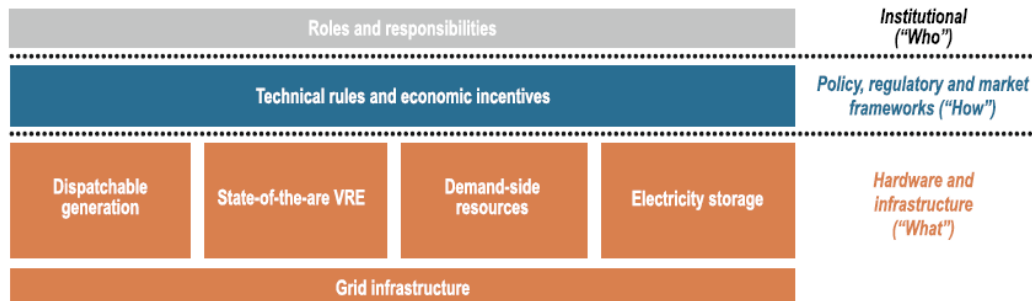
La naturaleza intermitente de la mayor parte de la nueva generación de origen renovable, caracterizada por su variabilidad y no total capacidad de predicción, exige de cambios estructurales en el diseño y funcionamiento de los mercados eléctricos. La AIE pone de manifiesto los retos asociados a una mayor flexibilidad de los sistemas eléctricos en la medida que será necesario disponer de centrales que puedan acoplarse y generar electricidad rápidamente ante súbitas caídas de la producción de origen renovable de carácter variable. Aspectos como la participación de la demanda o el almacenamiento se erigen como imprescindibles a la hora de garantizar una efectiva integración de las energías renovables. Esta flexibilidad se traduce en diferentes necesidades en función del horizonte temporal contemplado.

Tabla 3: Retos asociados a la flexibilidad en función del horizonte temporal

	Short-term flexibility			Medium-term flexibility	Long-term flexibility	
Timescale	Subseconds to seconds	Seconds to minutes	Minutes to hours	Hours to days	Days to months	Months to years
Issue	Address system stability, i.e. withstanding large disturbances such as losing a large power plant.	Address fluctuations in the balance of demand and supply, such as random fluctuations in power demand.	Manage ramps in the balance of supply and demand, e.g. increasing electricity demand following sunrise or rising net load at sunset.	Decide how many thermal plants should remain connected to and running on the system.	Manage scheduled maintenance of power plants and larger periods of surplus or deficit of energy, e.g. hydropower availability during wet/dry season.	Balance seasonal and inter-annual availability of variable generation (often influenced by weather) and electricity demand.

Esta cuestión es analizada en mayor detalle por parte de la AIE, apuntando que no sólo los factores técnicos son los que acaban determinando la flexibilidad. En este sentido, se apunta que la flexibilidad de todo sistema eléctrico depende de la disponibilidad de infraestructuras (el "qué"), de la política, los marcos regulatorios y normativos y las reglas de mercado (el "cómo") y de los roles institucionales, así como de las responsabilidades de las entidades que aportan flexibilidad (el "quién") al sistema. En este sentido, si bien es cierto que tradicionalmente el análisis se ha centrado en el primero de ellos, los tres aspectos deben funcionar en conjunto para respaldar la flexibilidad que todo sistema eléctrico exige (Gráfico 15).

Gráfico 15: Dimensiones relevantes para garantizar la flexibilidad del sistema eléctrico



La provisión de servicios de flexibilidad exige de la implementación de una estrategia adecuada para los diferentes horizontes temporales que no pasa simplemente por la inversión en nueva generación. Es necesario considerar las necesidades actuales y futuras del sistema, teniendo en cuenta el parque de generación existente, las condiciones del mercado, el estado de la red de transmisión y el potencial de soluciones de flexibilidad innovadoras, apuntándose cinco ámbitos de actuación con diferentes medidas en función de la escala temporal considerada (Tabla 4).

Con estas nuevas variables de contorno, garantizar la seguridad de suministro en un contexto caracterizado por unas necesidades crecientes de flexibilidad exige de la definición de una estrategia con tres ejes de actuación:

- *Cambios en los procedimientos y prácticas de operación de las plantas existentes.* Una operación más flexible de las actuales plantas de generación no requiere necesariamente de significativas inversiones adicionales. Los cambios en ciertos procedimientos de operación de la planta, a menudo posibilitados por una mejor recolección de datos y monitoreo en tiempo real, se pueden usar para desbloquear la flexibilidad latente en las plantas existentes. Procedimientos que deben permitir sin un coste económico elevado curvas de arranque más rápidas y aumentos de la producción de manera más dinámica sin comprometer la fiabilidad de la unidad de generación.
- *Inversiones encaminadas a modernizar y adecuar la flexibilidad de las plantas existentes.* Dependiendo de la tecnología de la planta, se encuentra disponible una gama de opciones de actualización para mejorar diversos parámetros de flexibilidad de las centrales eléctricas (por ejemplo, tasas de aceleración, tiempos de puesta en marcha, niveles mínimos de generación económica o técnica). El informe de la AIE detalla las oportunidades de adaptación específicas en varias tecnologías de

generación de energía, incluyendo carbón, cogeneración de turbina de gas de ciclo combinado (CCGT), captura y almacenamiento de carbono (CCS), energía nuclear, biomasa o hidroeléctrica.

- *Nuevas oportunidades de generación flexible.* Como complemento a las adecuaciones en las plantas existentes, es posible invertir en nuevas tecnologías de plantas de energía flexibles y de última generación en los sistemas de energía, siendo para ello necesaria una planificación a largo plazo en la que se definan las nuevas necesidades de inversión en centrales eléctricas flexibles.

Tabla 4: Opciones de flexibilidad en los diferentes ámbitos de actuación

Flexibility resource \ Flexibility timescale	Ultra-short term (subseconds to seconds)	Very short term (seconds to minutes)	Short term (minutes to hours)	Medium term (hours to days)	Long term (days to months)	Very long term (months to years)
State-of-the-art VRE	Controller to enable synthetic inertia; very fast frequency response	Synthetic governor response; AGC	Downward/upward reserves; AGC; ED of plants including VRE	ED tools; UC tools; VRE forecasting systems	UC tools; VRE forecasting systems	VRE forecasting systems; power system planning tools
Demand-side resources	Power electronics to enable load shedding	Demand-side options including electric water heaters, electric vehicle chargers, large water pumps and electric heaters; variable-speed electric loads	Air conditioners with cold storage and heat pumps; most equipment listed under very-short-term flexibility	Smart meters for time-dependent retail pricing	Demand forecasting equipment	Demand forecasting equipment; power-to-gas
Storage	Supercapacitors; flywheels; battery storage; PSH ternary units	Battery storage	Battery storage; CAES; PSH	PSH	PSH	PSH; hydrogen production; ammonia or other power-to-gas/liquid
Conventional plants	Mechanical inertia; generation shedding schemes	Governor droop; AGC	Cycling; ramping; AGC	Cycling; quick-start; medium-start	Changes in power plant operation criteria	Retrofit plants; flexible power plants; keeping existing generators as reserve
Grid infrastructure	Synchronous condensers and other FACTS devices	SPS; network protection relays	Intermodal power transfers; cross-border transmission lines	Intermodal power transfers; cross-border transmission lines	Control and communication systems to enable dynamic transmission line ratings; WAM; HV components such as SVC	Transmission lines or transmission reinforcement

Notes: AGC = Automatic Generation Control; CAES = compressed air energy storage; FACTS = flexible alternative current transmission system; SPS = special protection schemes; SVC = static var compensator; WAM = wide area monitoring system.

12. Mecanismos de mejora del grado de flexibilidad

La posibilidad de incrementar la flexibilidad de todo sistema eléctrico de forma adecuada se encuentra fuertemente condicionada por las características específicas de cada sistema (*mix* de generación características de la red, condiciones de mercado, potencial real de las diferentes opciones de inversión en nueva generación eléctrica flexible, ritmo esperado de penetración de la generación variable a partir de fuentes renovables (VRES)...), no existiendo fórmulas magistrales. No obstante, desde la regulación es posible definir una estrategia que tome en consideración las necesidades actuales y futuras de flexibilidad, partiendo de una serie de elementos a tomar en consideración en el ámbito propiamente de la regulación, todo ello con el objetivo de ayudar a generar un impulso político, institucional y técnico en la transición hacia sistemas eléctricos más flexibles y modernos al menor coste posible. En este sentido, la flexibilidad en las unidades de generación existentes se puede mejorar a través de intervenciones regulatorias e incentivos económicos que no sean intensivos en capital para fomentar una operación más flexible de la central eléctrica, tales como:

- *Procedimientos y reglas técnicas de operación*: códigos de red, estándares y procedimientos de operación del sistema, reglas de balance a nivel nacional y coordinación supranacional en la gestión de dichos servicios de balance, modelos de predicción de producción renovable, regulación medioambiental...
- *Incentivos económicos*: La cobertura de las necesidades de flexibilidad debe ser remunerada proporcionando una compensación justa. Si bien es cierto que los esquemas de remuneración dependen del contexto del mercado en que nos encontremos – más o menos liberalizado -, tanto las reglas de mercado como los contratos bilaterales o las propias estructuras tarifarias deben ofrecer las oportunas señales económicas para la provisión de dichos servicios por parte de los actores privados.
- *Visión de largo plazo*: Los procedimientos de planificación a largo plazo para el sistema eléctrico necesitan incorporar expectativas futuras acerca de los requisitos de flexibilidad del sistema, con una ruta para acomodar la flexibilidad de todas las opciones posibles al menor coste posible. Una eficiente integración de las energías renovables en todo sistema eléctrico requiere prestar especial atención a cuestiones relativas al diseño de mercados, de forma que un correcto diseño permita garantizar las inversiones oportunas en el desarrollo de nueva capacidad de generación térmica que actúe como *back-up* del sistema, siendo este un aspecto crucial.