

Una transición inteligente hacia un modelo energético sostenible para España en 2050: la eficiencia energética y la electrificación

Alberto Amores

Socio de Monitor Deloitte

La Unión Europea y España mantienen el objetivo de descarbonizar la economía

Los compromisos alcanzados actualmente no son suficientes para contener el incremento de la temperatura por debajo de 2°C

A pesar del extenso apoyo internacional recibido por el Acuerdo de París (COP21), los compromisos de descarbonización adquiridos por los diferentes países no permitirán contener el aumento de la temperatura global por debajo de los 2°C, respecto a la época preindustrial, ni alcanzar la neutralidad de emisiones entre los años 2050 y 2100.

Las discusiones sobre el cambio climático y cómo abordar la transición energética continúan desde entonces. La cumbre de Bonn (COP23) se celebró en noviembre de 2017 y se discutieron las bases para avanzar en la implantación de los detalles técnicos que permitan alcanzar los objetivos establecidos en el Acuerdo de París.

La UE sigue apostando por la descarbonización de la economía y está planteándose incrementar la ambición de los objetivos establecidos

La Unión Europea sigue firme en sus objetivos de descarbonización, y está trabajando para hacerlos más ambiciosos.

Por ejemplo, se está analizando el grado de exigencia que supone el objetivo de penetración de renovables sobre energía final del 27% en 2030, y la posibilidad de incrementarlo. Del mismo modo, se está considerando la posibilidad de incrementar el objetivo de eficiencia energética más allá del 27% en ese mismo año.

España también se mantiene firme en sus objetivos de descarbonización y trabaja para preparar la transición de su modelo energético

España debería emitir en el año 2050 menos de 88 MteqCO₂ brutas¹, lo que supone una reducción media anual de, al menos, el 4% de las emisiones GEI respecto a las emisiones de 2015 (336 MteqCO₂). Pese

al esfuerzo que supondrá alcanzar tal nivel de reducción de emisiones, el **Gobierno español ha dejado claro que su compromiso con la descarbonización es firme**. Fruto de ello ha sido la aceptación del objetivo de reducción de emisiones en los sectores difusos del 26% a 2030, respecto a 2005 (supone unas emisiones en difusos menores a 174² MteqCO₂ en 2030, cuando en 2015 han sido de 196 MteqCO₂). Adicionalmente, se han celebrado subastas de nueva capacidad renovable, bajo las que se han adjudicado 8 GW, y se ha aprobado el Plan MOVALT, con medidas específicas para la reducción de emisiones del sector transporte.

La electrificación y la eficiencia energética permitirían realizar una transición eficiente y cumplir los objetivos de descarbonización

España emitió en 2015 un total de 336 MteqCO₂, principalmente por el consumo de productos petrolíferos en el transporte, la generación eléctrica y la industria

¹ En función el año base sobre el que se aplique el objetivo (1990 ó 2005) y el porcentaje de reducción de emisiones considerado (80 ó 95%), el rango de emisiones sería 14-88 MteqCO₂

² Objetivo estimado como un 26% de las emisiones de 2005 para España estimadas por la Agencia Europea Medioambiental

En el año 2015 España emitió 336 MteqCO₂, de las cuales 256 (76%) tuvieron su origen en usos energéticos y 80 (24%) en usos no energéticos³, cuyo análisis no ha sido incluido en este informe. Las emisiones derivadas de usos energéticos en 2015 se debieron a productos petrolíferos (41% del total de emisiones), gas natural (18%) y carbón (17%). Desde una perspectiva de sectores de actividad, el transporte fue el sector con mayor volumen de emisiones en 2015, seguido de la generación eléctrica, los consumos energéticos en la industria, y el sector residencial y servicios (ver Figura 1).

El consumo de energía final⁴ en dicho año (80 Mtep) estuvo dominado por el uso de productos petrolíferos (50%), electricidad (25%), gas natural (16%), renovables de uso final (7%) y carbón (2%). Por sectores de actividad, el transporte fue el de mayor consumo de energía final, seguido por la industria, el sector residencial y el sector servicios (ver Figura 2).

El grado de electrificación de la demanda y el grado de eficiencia energética de equipos determinarán los escenarios futuros

Para representar las posibles evoluciones del modelo energético en España se han analizado 2 incertidumbres críticas por su gran influencia en el modelo energético y por el amplio rango en el que se pueden materializar: el grado de electrificación de la demanda y el desarrollo de la eficiencia energética en equipos. A partir de estas incertidumbres, se han construido 4 escenarios a futuro que describen 4 posibles evoluciones del modelo energético en el medio y largo plazo (2030 y 2050) (ver Figura 3):

- **Continuista:** Este es un mundo muy parecido a la situación actual. Las

Figura 1.

Reparto de emisiones por sector económico y combustible en 2015 (%, MteqCO₂)

	Transporte	Refino ⁽¹⁾	Residencial	Servicios	Industria	Generación eléctrica	Pesca agricultura y otros	Emisiones fugitivas de combustibles ⁽²⁾	Emisiones de origen no energético	Total por combustible
Carbón	0%	0%	0%	0%	2%	15%	0%	0%	-	17% 58
Productos petrolíferos	24%	4%	3%	1%	4%	2%	3%	1%	-	41% 137
Gas natural	0%	0%	2%	2%	9%	4%	0%	0%	-	18% 62
No energético	-	-	-	-	-	-	-	-	24%	24% 80
Total por sector	24% 82	4% 12	5% 17	3% 11	15% 51	20% 68	3% 12	1% 5	24% 80	100 % 336 MteqCO ₂

(1) Incluye refinado de petróleo, transformación de combustibles sólidos y otras industrias de energía
(2) Emisiones generadas en la exploración, producción, transmisión, almacenamiento y distribución de combustibles sólidos, líquidos y gaseosos
Nota: las emisiones que provienen de la cogeneración están repartidas entre servicios, industria y otras industrias de la energía. No incluye las emisiones derivadas de trayectos internacionales de transporte marítimo y aéreo
Fuente: UNFCC; MAPAMA; análisis Monitor Deloitte

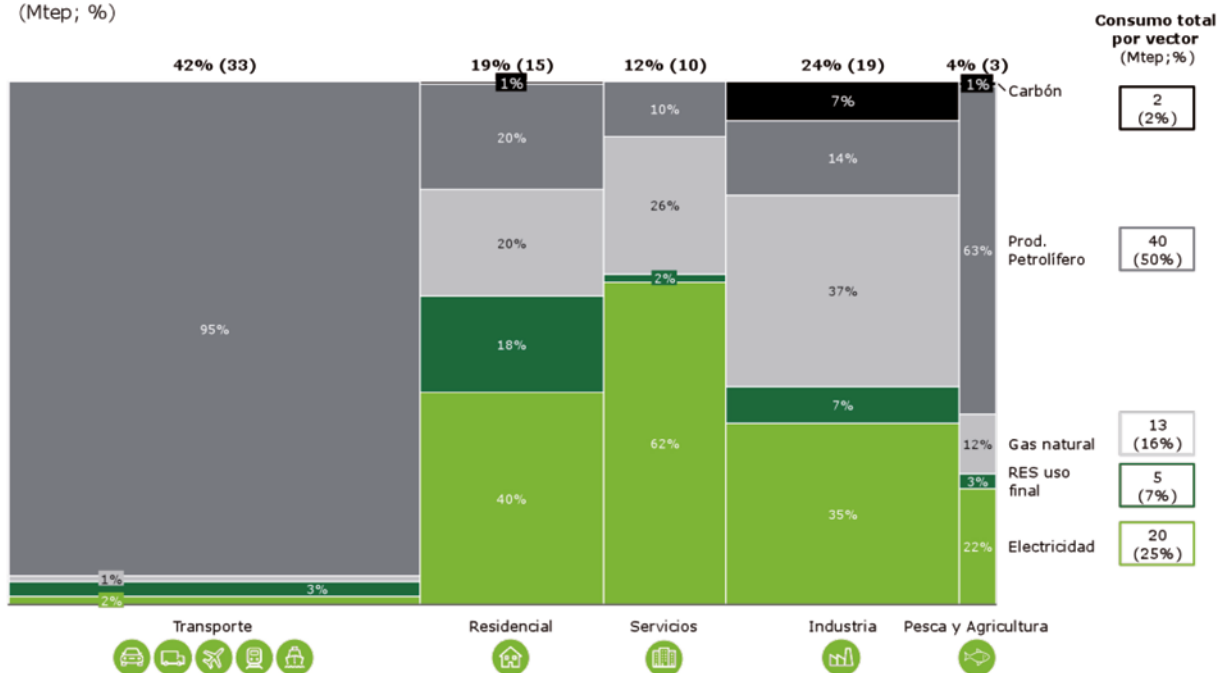
³ Usos no energéticos: sector agrícola, ganadero, usos del suelo y silvicultura, residuos y procesos industriales. El presente estudio asume la hipótesis de que se deberán realizar actuaciones para reducir (o compensar mediante sumideros) estas emisiones no energéticas, al menos, en la misma proporción que en los usos energéticos

⁴ Sin incluir la energía final en forma de calor

Figura 2.

Consumo de energía final para usos energéticos¹⁾ por sector de actividad y vector energético en 2015

(Mtep; %)



(1) No incluye la energía en forma de calor. Incluye la energía utilizada por los trayectos internacionales de transporte aéreo
Fuente: IDAE; análisis Monitor Deloitte

políticas energéticas, medioambientales y fiscales no han cambiado significativamente. **El vector energético más utilizado en 2030 sigue siendo los productos petrolíferos, el uso de electricidad no ha aumentado prácticamente su peso en el modelo energético,** y el consumo de gas aumenta ligeramente. Hay cierta ganancia de eficiencia energética en el sector edificación debido a la renovación natural de los equipos.

- **Electrificar la economía:** Este es un mundo en el que se ha pro-

ducido un esfuerzo muy relevante en impulsar la penetración de vehículos eléctricos (50% de las ventas en 2030), el cambio modal del transporte de mercancías hacia el ferrocarril eléctrico (20% de las t-km totales transportadas en 2030⁵) y una **electrificación de los consumos en los sectores edificación.** El gas natural crece fundamentalmente en el transporte pesado y la industria. Los esfuerzos en rehabilitaciones del sector edificación, y de los fabricantes de vehículos en reducir las emisiones de los nuevos vehículos⁶, son similares a

los observados en el escenario *Continuista*.

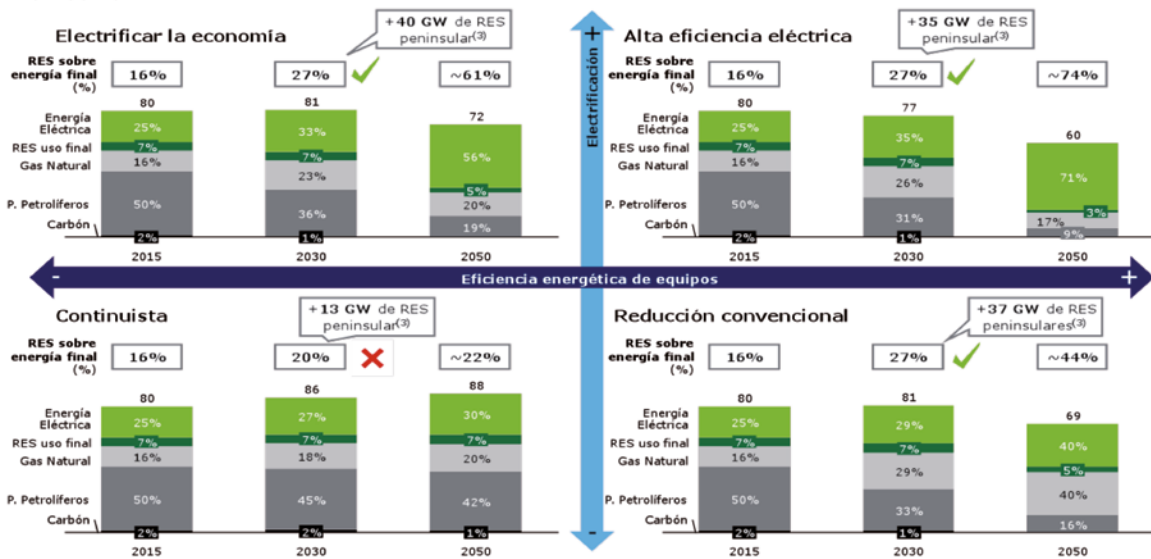
- **Reducción convencional:** Este es un mundo en el que el esfuerzo se ha enfocado en el desarrollo de la eficiencia energética. En el sector transporte mediante la reducción de las emisiones (y el consumo) de los nuevos vehículos de combustión interna. En el sector edificación se ha apostado por las rehabilitaciones de edificios (por ejemplo, se ha multiplicado por 8 el ritmo de rehabilitaciones anuales en el sector residencial).

⁵ 2015: ~ 5%

⁶ Pese a reducirse las emisiones de los nuevos vehículos convencionales en igual proporción que en el escenario continuista, en este escenario se cumple con los objetivos del *Clean Mobility Package* de emisiones del nuevo parque de vehículos a 2030, debido al efecto de las ventas de vehículos eléctricos

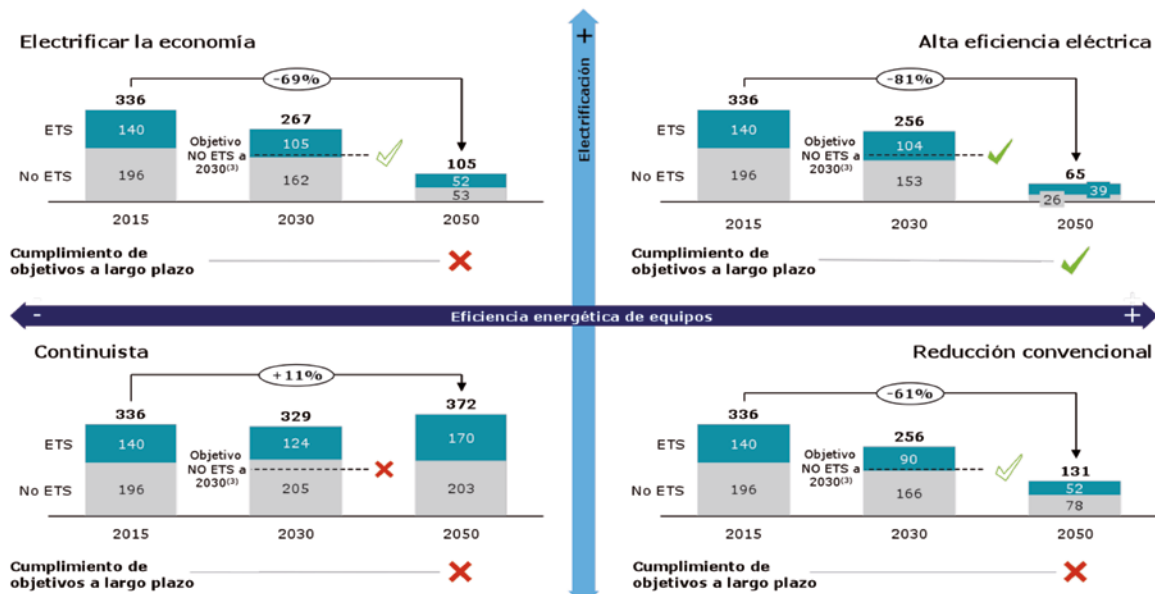
Figura 3.

Energía final⁽¹⁾ por vector en los escenarios analizados⁽²⁾ y porcentaje de renovable sobre la energía final (Mtep; %)



(1) Energía final para usos energéticos sin incluir calor. Incluye la energía derivada de la aviación internacional
 (2) Considera el mismo crecimiento de PIB para los cuatro escenarios: 1,5% anual de media entre 2015 y 2050
 (3) Se refiere a nueva potencia de generación eléctrica renovable. Incluye generación de eólica, fotovoltaica centralizada/distribuida, hidráulica y biomasa
 Fuente: IDAE; análisis Monitor Deloitte

Emisiones GEI de sectores ETS y NO ETS⁽¹⁾ en los escenarios analizados⁽²⁾ (MteqCO₂)



(1) Los sectores NO ETS son los sectores difusos, y los ETS son aquellos que se encuentran dentro del marco de los derechos de emisión de GEI (principalmente generación eléctrica e industria). No incluye transporte marítimo ni aéreo internacional
 (2) Considera el mismo crecimiento de PIB para los cuatro escenarios
 (3) 174 MteqCO₂
 Nota: Se asume la hipótesis de que las emisiones no energéticas deberán realizar actuaciones para reducir (o compensar mediante sumideros) sus emisiones, al menos, en la misma proporción que en los usos energéticos
 Fuente: MAPAMA; análisis Monitor Deloitte

El gas natural es el vector energético con mayor desarrollo, fundamentalmente por el incremento de su uso en el transporte pesado, la industria y la edificación.

- **Alta eficiencia eléctrica:** Este es un mundo en el que se impulsan todas las palancas posibles para la descarbonización con la vista puesta en 2030 y 2050. Se ha producido una penetración exponencial del vehículo eléctrico a 2030 (60% de ventas) y de la electrificación de la demanda en todos los sectores de la economía. El gas natural, junto con la electricidad, son los vectores energéticos que más crecen en la transición. La eficiencia energética de equipos también se ha potenciado, se alcanza un nivel de rehabilitaciones anuales de edificios 4 veces superior al histórico (inferior al escenario Reducción convencional), y una relevante ganancia de eficiencia en los vehículos convencionales.

Adicionalmente, se ha analizado una evolución del escenario *Alta eficiencia eléctrica*, en el que se ha incrementado la penetración renovable sobre energía final al límite. En este escenario, **Alta eficiencia eléctrica 33%**, se instala la **máxima capacidad de nueva generación renovable** que el sistema eléctrico podría gestionar⁷, sin modificar la demanda de energía final: **58 GW de nueva potencia de generación renovable peninsular**, para conseguir un 33% de renovables sobre energía final.

En los escenarios con una elevada electrificación, **Alta eficiencia eléctrica y Electrificar la economía, la demanda eléctrica peninsular a 2030 alcanzaría un valor de 329-331 TWh** (equivalente a un crecimiento anual de la demanda eléctrica del ~2% a 2030), mientras que los escenarios *Reducción convencional* y *Continuista* alcanzan 293-294 TWh (incremento anual del ~1%). **En todos los escenarios, el gas natural incrementa su peso en la demanda de energía final**, respecto a su situación en 2015. A 2030, un 29% en el escenario de *Reducción Convencional*, 26% en el de *Alta eficiencia eléctrica* o un 23% en el de *Electrificar la Economía*, frente a un 16% en 2015.

Los sectores clave son el transporte y la edificación; sin embargo, la industria podría tener un papel más relevante si se acompaña de las medidas adecuadas

Los sectores que soportan la mayoría de las actuaciones de descarbonización son el transporte y la edificación: consumen el 72% de la energía final en 2015, cuentan ya con tecnologías que permiten su descarbonización y han experimentado en los últimos años una menor reducción de las emisiones⁸. **El sector industrial debe eliminar en el largo plazo el consumo de carbón y derivados del petróleo**, sustituyendo estos consumos por gas natural o electricidad, cuando esta última sea posible, y seguir desarrollando actuaciones de eficiencia energética en sus procesos, tal y como ha venido haciendo los últimos años. Todo ello debería

realizarse teniendo especial atención a los riesgos de deslocalización y de pérdida de competitividad que pueden derivar de este proceso.

Electrificar de manera más acelerada el consumo del sector industrial (por ejemplo, mediante una modificación en la tarifa eléctrica, que permitiese a este vector energético ser más competitivo) posibilitaría reducir aún más las emisiones en este sector, y rebajar los objetivos aplicados en otros sectores, donde la toma de decisiones por parte de los consumidores puede ser más lenta e incierta.

Todos los escenarios excepto el Continuista permitirían cumplir a 2030; sólo el escenario de Alta Eficiencia Eléctrica permite asegurar el cumplimiento a 2050

El escenario Alta eficiencia eléctrica es el único que cumple con los 3 principales objetivos de descarbonización analizados (27% de renovables sobre energía final, reducción de emisiones en sectores difusos en 2030 y reducción de emisiones totales a 2050) y requiere la instalación de menor capacidad renovable a 2030⁹. Los escenarios **Electrificar la economía y Reducción convencional cumplen con los objetivos a 2030**, si bien presentarían un estrecho margen de cumplimiento del objetivo de sectores difusos, mientras que el escenario **Continuista no permitiría cumplir ninguno de ellos**.

Los objetivos y compromisos actuales no permiten alcanzar una reducción del incre-

⁷ A efectos ilustrativos, se ha asumido que el límite de energía renovable es un 70% de la generación total

⁸ Desde el año 1990, las emisiones del sector transporte han aumentado un 40 %, y las de la edificación un 60%. El sector industrial ha reducido sus emisiones en un 9% en el mismo periodo.

⁹ El escenario *Alta eficiencia eléctrica* supone un menor esfuerzo inversor, y menores riesgos técnicos en la operación del sistema eléctrico ya que requiere la instalación de 35 GW de nueva potencia renovable peninsular, mientras los escenarios *Reducción convencional* y *Electrificar la economía* requieren 40 y 38 GW respectivamente.

mento de temperatura por debajo de 2°C, por lo que es probable que sean revisados con una mayor ambición. **El escenario *Alta eficiencia eléctrica* es el que mejor prepara al modelo energético español ante la posibilidad de que se establezcan objetivos de descarbonización más ambiciosos a 2030**, lo que no es descartable en absoluto vista la insuficiencia de los objetivos actuales para alcanzar las metas de la COP21.

- Si el objetivo de eficiencia energética pasara del actual 27% al 40%, la energía final máxima que se debería consumir en España en 2030 sería de 75 Mtep. Ninguno de los escenarios analizados en este documento permitiría cumplir con este objetivo, pero el escenario *Alta eficiencia eléctrica* es el que más se acercaría, ya que es aquel que implica un menor consumo de energía final (77 Mtep en 2030).
- Si el objetivo de energía renovable sobre energía final a 2030 pasara del 27% actual al 35%, tal y como se está discutiendo en la Unión Europea, el escenario *Alta eficiencia eléctrica* 33% facilitaría conseguir el nuevo objetivo mediante una mayor electrificación del modelo energético en 2030 (2 puntos porcentuales), y una mayor instalación de nueva capacidad renovable peninsular (12 GW adicionales, respecto a la ya considerada en este escenario).

A 2050, alcanzar los objetivos de descarbonización en otros escenarios diferentes al de *Alta eficiencia eléctrica* no parece viable

Los escenarios ***Reducción convencional y Electrificar la economía*** presentarían a 2050 unas emisiones de 131 y 105 MteqCO₂, respectivamente, y **no permitirían el cumplimiento** del objetivo de reducción de emisiones totales para dicho año (menos de 88 MteqCO₂). Para cumplir bajo estos escenarios **sería necesario desarrollar, a partir de 2030, un cambio acelerado en la demanda final, lo que presentaría varios riesgos**: (i) posibilidad de generar costes hundidos por inversiones en activos infrutilizados (por ejemplo, fábricas de vehículos convencionales), y (ii) extra-costes para el consumidor final (por ejemplo, por la necesidad de aumentar la inversión en renovables o almacenamiento para alcanzar una mayor descarbonización).

Otra **posibilidad sería apoyarse en actuaciones como aumentar entre un 60-100% los sumideros** existentes en España¹⁰, desarrollar instalaciones de secuestro y captura de CO₂ para 17-43 MteqCO₂ al año o realizar **esfuerzos mucho mayores en el transporte o la edificación**, las cuales tienen relevantes incertidumbres sobre su viabilidad.

Para una transición eficiente del *mix* de generación se debe apostar por tecnologías maduras y aprovechar el parque actual

Es necesario mantener la mayor cantidad posible de opciones abiertas porque existen incertidumbres que condicionan la evolución del *mix*

Para el año 2050, el *mix* de generación eléctrica debería ser prácticamente

100% libre de emisiones. Considerando este punto de llegada, la cuestión fundamental a resolver en la transición es cómo desarrollar este cambio desde el *mix* de generación actual.

Existe una serie de incertidumbres que tienen una elevada influencia en la definición del *mix* óptimo de generación, en el medio plazo (2030), tales como el ritmo real de crecimiento de la demanda, cuándo estarán disponibles las tecnologías de almacenamiento a gran escala, qué tecnologías renovables aportarán una mayor cobertura de la demanda, o cómo serán las necesidades de operación de un sistema eléctrico con mucha mayor demanda e intermitencia de la generación. Por lo tanto, las **políticas que se desarrollen sobre el *mix* de generación necesitan mantener la mayor cantidad de opciones abiertas** para, en función de la evolución de las diferentes tecnologías, tomar las decisiones más eficientes en el momento adecuado.

Las baterías eléctricas no se espera que tengan madurez suficiente para prestar servicios de respaldo al sistema eléctrico de manera masiva antes de 2030

Las tecnologías de almacenamiento de energía han experimentado, en los últimos años, importantes reducciones de costes y mejoras de prestaciones. Únicamente la tecnología de bombeo aporta actualmente capacidad de respaldo en algunos sistemas eléctricos. A nivel mundial están instalados unos 170 GW de capacidad de esta tecnología, mientras el resto de tecnologías de almacenamiento

¹⁰ Por ejemplo, desarrollando determinadas actividades de uso del suelo, o cambios de uso del suelo, que permiten capturar del CO₂ presente en la atmósfera y su almacenamiento posterior en forma de materia vegetal

(baterías electroquímicas, sistemas electrónicos, almacenamiento químico, etc.) siguen teniendo un menor peso (~4 GW), incluso algunas de estas tecnologías, como el *Power-to-Gas*, se encuentran aún en un estado experimental.

A día de hoy **el almacenamiento electroquímico en los países con mayor capacidad instalada**, como Estados Unidos, Japón o Australia, está siendo desplegado para aplicaciones puntuales, gracias al impulso por parte de los reguladores mediante **incentivos económicos (fiscales, subvenciones directas) o medidas de mandato y control (objetivos para las compañías eléctricas)**.

A 2030, pese a la importante reducción de costes que se estima, **no parece que el almacenamiento vaya a convertirse en una tecnología plenamente competitiva en términos de coste relativo frente a las convencionales** (50-100% más de coste en aquellas tecnologías de baterías electroquímicas más económicas). Además, el almacenamiento podría llegar a resolver las necesidades de seguridad de suministro en el corto plazo (segundos, horas, días), pero difícilmente podrá resolver las necesidades de largo plazo (semanas, meses), que requerirían almacenar la energía en los meses de menor demanda y mayor producción renovable, o un sistema de generación (sobre) dimensionado para el máximo absoluto de demanda. En el primer caso, no existe una tecnología de almacenamiento económicamente viable que solucione este problema. En el segundo caso, la solución tendría un coste económico muy alto para el consumidor.

A pesar de la inmadurez actual, los proyectos de almacenamiento en desarrollo, el nivel de inversión de

organizaciones públicas y privadas y su evolución tecnológica indican un futuro prometedor. Los sistemas de bombeo podrían incrementar su rol en la transición – para sustituir el respaldo de las primeras plantas convencionales que lleguen al final de su vida útil –, y a 2030, las tecnologías *Power-to-Gas* podrían utilizarse para el almacenamiento de largo plazo. Ante la incertidumbre de cuándo el almacenamiento puede ser una alternativa y en qué volumen, es eficiente mantener tecnologías térmicas convencionales de respaldo que ya están instaladas en el sistema, y que deberían ir desapareciendo a medida que ese almacenamiento estuviera disponible.

La tecnología de captura y secuestro de carbono no es actualmente una solución viable a gran escala

La tecnología de captura y secuestro de CO₂ ha aparecido en las últimas décadas como una gran oportunidad para la descarbonización. Sin embargo, esta tecnología tiene limitaciones en su aplicación, que implican que su uso durante la transición será muy limitado: (i) su aplicación se ha centrado en grandes instalaciones emisoras, lo que no resuelve que una gran mayoría de las emisiones que se realizan no proviene de este tipo de instalaciones (por ejemplo, transporte, edificación), (ii) requiere de emplazamientos que reúnan características geológicas adecuadas, lo que genera incertidumbres sobre su disponibilidad y viabilidad técnica y económica, y (iii) el coste de esta tecnología es aún demasiado elevado, incluso para el desarrollo de proyectos piloto (en Europa, se han cancelado todos los proyectos de este tipo, excepto dos en Noruega, que no suponen más de 2 MteqCO₂ de almacenamiento al año).

Las tecnologías renovables con mayor madurez seguirán siendo no-gestionables (solar fotovoltaica y eólica)

La instalación de plantas de generación eólica terrestre y fotovoltaica, para cubrir la electrificación de la demanda en la transición y permitir el cumplimiento del objetivo de renovables sobre energía final de 2030, **es la solución más eficiente**, debido a su mayor grado de madurez (económica) y disponibilidad de recurso/emplazamiento, respecto a otras tecnologías renovables.

Sin embargo, **estas tecnologías siguen presentando retos importantes para su integración de modo masivo en el sistema eléctrico**: no se puede gestionar su producción y no aportan la misma capacidad de regulación y control que la generación térmica convencional. Por lo tanto, el nivel máximo de penetración de estas tecnologías durante la transición estará supeditado a su impacto en la operación técnica del sistema, y éste **seguirá requiriendo capacidad firme de respaldo**.

El potencial del autoconsumo en la transición ha de aprovecharse bajo modelos de desarrollo eficientes

En España, dada la irradiación solar superior a la de otros países europeos, estas instalaciones **podrían jugar un papel relevante en la transición**. Sin embargo, hay **diferencias entre la situación de España y la de otros mercados donde este modelo ha tenido una mayor penetración**, como California o Australia: la elevada renta disponible de los ciudadanos o el porcentaje de hogares en viviendas unifamiliares. También hay que tener en cuenta los incentivos económicos bajo los que se han desarrollado, como subvenciones

o esquemas de balance neto, no siempre eficientes. La mayor parte de la generación renovable que se instale en España seguirá siendo centralizada.

Se deberían definir modelos eficientes para desarrollar el autoconsumo como palanca descarbonización. Será necesario que se permita el libre acceso y sin penalizaciones a esta forma de producción de energía, pero bajo señales de precio adecuadas, tanto en coste de la energía consumida de la red, como en la remuneración de los excedentes de energía vertidos a la red.

Todas las tecnologías de generación convencional instaladas son necesarias para hacer frente a las incertidumbres y asegurar una transición eficiente

Mantener en el mix las plantas de generación convencional ya instaladas permitiría:

- **Garantizar la seguridad de suministro**, ya que un sistema eléctrico basado exclusivamente en generación renovable no parece viable en los próximos 10-15 años, dado que el almacenamiento no será una solución masiva.

- Los expertos cifran un mínimo necesario de ~10-15 GW de generación síncrona con tecnología convencional (carbón, nuclear, gas natural, hidráulica) para el control de tensión y frecuencia del sistema eléctrico, valor que podría aumentar en el futuro debido a la mayor penetración de

generación renovable no gestionable, y a la mayor electrificación de la demanda.

- **Las interconexiones no pueden garantizar por sí mismas la seguridad de suministro**, ya que, **si bien pueden actuar en momentos puntuales**, dependen de la operación del sistema eléctrico de otro país, que además debe presentar una correlación limitada de eventos climatológicos (por ejemplo, para la provisión de respaldo a renovables) respecto al sistema español. A 2030 se ha asumido que la capacidad de interconexión internacional sería de 14 GW, de los cuales 8 GW serían con Francia (que, a efectos de proveer respaldo a renovables al sistema español, presentaría una menor correlación de eventos climatológicos que Portugal). Estos 8 GW representan un 15% de la punta de la demanda de ese año.

- **Evitar inversiones adicionales en respaldo** y mantener el coste de generación en niveles admisibles para los consumidores finales:

- **El previsible¹¹ cierre de todo el carbón nacional en 2020** implicaría, en escenarios de alta electrificación, la necesidad de **invertir en 2 GW de nuevas centrales térmicas en el horizonte 2025** (equivalente a 800 millones de euros).

- Adicionalmente, **el cierre de las centrales de carbón importado**

para el año 2030, en los escenarios de alta electrificación, incrementaría las necesidades de respaldo en 8 GW (equivalente a 3.200 millones de euros) (adicionales a los 2 GW necesarios en 2025), que en el caso de que fuesen centrales térmicas tendrían una utilización muy reducida.

- **El cierre de las centrales nucleares (no extensión de su vida operativa)** podría suponer un **incremento en el coste completo de generación de hasta 7 €/MWh a 2030**, y unas necesidades de inversión en nuevas centrales de respaldo de 8 GW (equivalente a 3.000 millones de euros).

- **Contribuir al cumplimiento de los objetivos medioambientales: se abatirían ~370 MteqCO₂ hasta 2050**, el equivalente a la emisión de todo el país en 1 año, en caso de extender la vida operativa de las centrales nucleares.

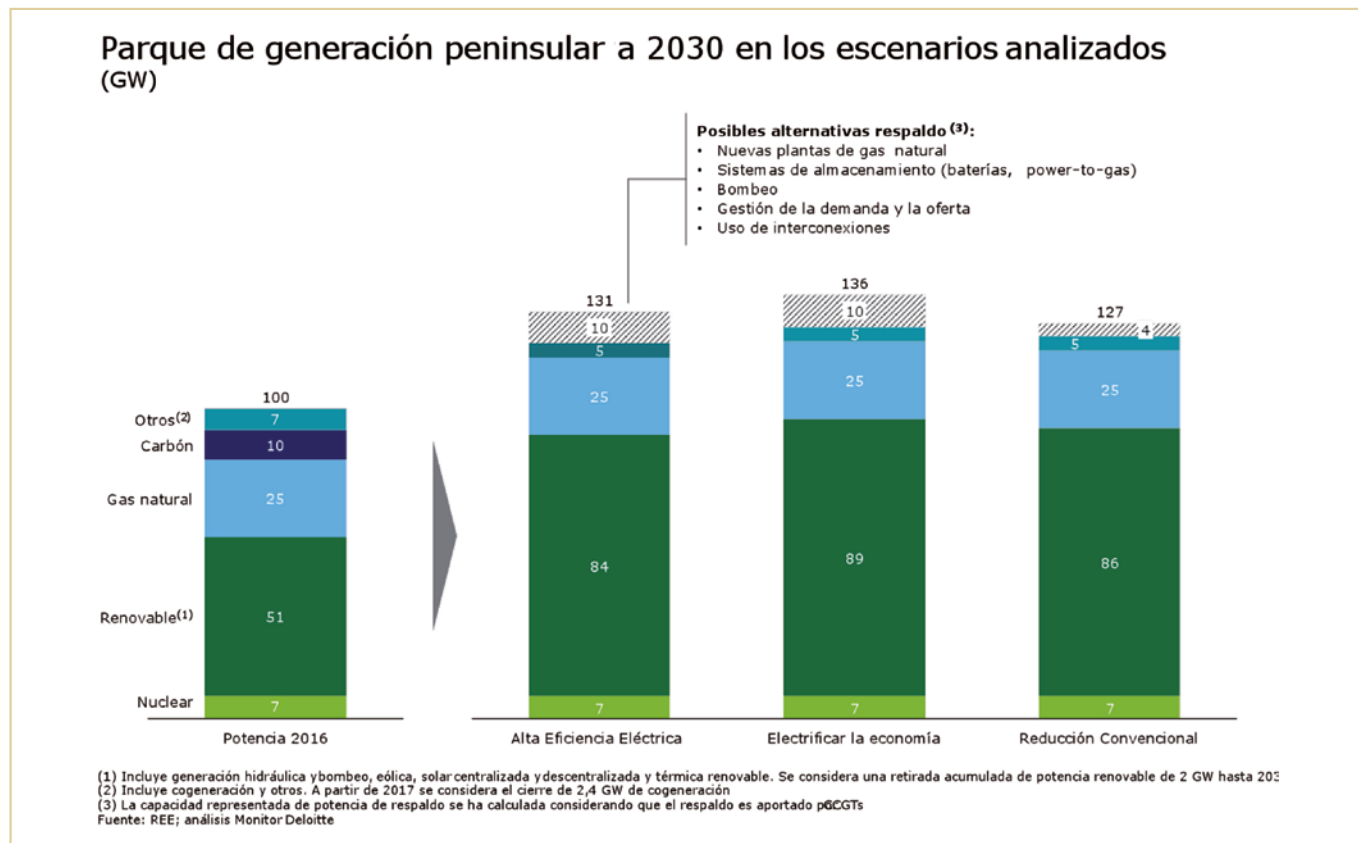
Los escenarios de demanda analizados requieren 35-40 GW de nueva potencia renovable y 10 GW de respaldo adicional en 2030

En los diferentes escenarios analizados¹², en el año 2030 debería haber instalado en el sistema peninsular entre 84 y 89 GW de capacidad renovable (ver Figura 4), frente a los ~50 GW actuales, para cumplir el objetivo del peso de renovables en la demanda final del 27%. Este incremento se traduce en la **necesidad de instalar entre 35 y 40 GW de nueva potencia renovable**, consideran-

¹¹ A día de hoy ninguna de las centrales de carbón nacional tiene planteadas las inversiones DEL y por tanto tendrían que cerrar en 2020

¹² No incluye escenario *Continuista*

Figura 4.



do la repotenciación de ~2 GW de potencia renovable.

La nueva capacidad de generación renovable deberá **repartirse de forma equilibrada entre eólica terrestre y fotovoltaica¹³, ya que en ambos casos la curva de desarrollo tecnológica (y reducción de costes) es prometedora.** Además, el diferente perfil de producción de ambas tecnologías permite diversificar la producción y mitiga el hecho de que ninguna de ellas es gestionable.

La capacidad de respaldo necesaria a instalar para cubrir la punta de demanda a 2030, sería de ~10 GW¹⁴,

en los escenarios con mayor electrificación. Si en este horizonte de tiempo se desarrollan otras tecnologías que proporcionen esta capacidad, como nuevos sistemas de gestión de la demanda y/o sistemas de almacenamiento, podría evitarse que este respaldo tenga que ser prestado por nuevas centrales térmicas convencionales.

El mantenimiento de generación térmica y nuclear no es una restricción para la entrada de nueva generación renovable. En el escenario de *Alta eficiencia eléctrica*, los vertidos reales, considerando el uso de las centrales de bombeo, serían prácticamente nulos.

La transición fomenta la actividad económica, y reduce las importaciones energéticas y el precio del vector con mayor peso en la demanda, la electricidad

La transición del modelo energético necesita de inversiones que podrían ser hasta 310 mil millones de € superiores a las de un escenario continuista hasta 2050

Cada uno de los escenarios analizados en este estudio requiere un esfuerzo inversor diferente, vinculado a las actuaciones estimadas en cada uno de ellos, tanto a su

¹³ A efectos ilustrativos de este estudio, la mayoría de la nueva generación fotovoltaica se ha considerado centralizada

¹⁴ Asume que en 2030 todas las centrales de carbón están cerradas y se ha extendido la licencia de operación de las centrales nucleares

tipología como a su grado penetración (ver Figura 5). **Hasta 2030, el escenario *Continuista* requeriría unas inversiones acumuladas de 80 mil millones de € y el escenario de *Alta eficiencia eléctrica* requiere 180 mil millones de €, es decir, 100 mil millones de € adicionales. Hasta 2050, el escenario *Continuista* requiere 200 mil millones de € y el de *Alta eficiencia eléctrica* 510 mil millones de €, es decir, 310 mil millones de € adicionales.**

El escenario de *Alta eficiencia eléctrica* requiere menos inversiones que el de *Reducción convencional* (que además no permite cumplir los objetivos a 2050), y tiene un reparto de la inversión directa¹⁵

más equilibrado entre sectores económicos (hogares vs. sector privado vs. sector público) que el de *Electrificar la economía* (que recordemos que tampoco cumplía el objetivo de reducción de emisiones a 2050).

No obstante, considerando la reducción de las importaciones energéticas, un escenario de transición energética es más barato que el escenario continuista

El cambio a una generación fundamentalmente renovable, sin costes variables de combustibles, y las ganancias de eficiencia energética de los equipos reducirían de forma significativa el volumen de importaciones de combustibles fósiles, en especial en

el periodo 2030-2050. Si consideramos de manera conjunta las inversiones acumuladas y las importaciones acumuladas en cada escenario, **los escenarios con alto nivel de electrificación (*Electrificar la economía* y *Alta eficiencia eléctrica*) permiten compensar las inversiones necesarias con un menor gasto corriente en importaciones**¹⁶ (ver Figura 6).

La transición del modelo energético fomenta la actividad económica (fabricación e instalación de equipos, infraestructuras, y construcción)

El escenario que permite asegurar el **cumplimiento de todos los objetivos de descarbonización analizados** (*Alta eficiencia*)

Figura 5.

Resumen de inversiones por escenario (miles de M€)

	Inversiones según horizonte temporal			Inversiones totales (2017 – 2050) según tipo				Gasto corriente ⁽⁵⁾	Gasto corriente ⁽⁵⁾ + Inversiones
	2017-2030	2031-2050	2017-2050	Inversión privada ⁽¹⁾	Inversión pública ⁽²⁾	Inversión particular ⁽³⁾		2017-2050	2017-2050
						Total	Inversión directa por hogar ⁽⁴⁾ (€)		
Continuista	80	120	200	165	5	30	1.740	1.000	1.200
Reducción convencional	220	330	550	350	20	180	10.450	690	1.240
Electrificar la economía	160	240	400	340	25	35	2.030	700	1.100
Alta eficiencia eléctrica	180	330	510	380	30	100	5.800	620	1.130

(1) Incluye las inversiones correspondientes a la industria, el sector servicios de propiedad privada (85% de la superficie del sector servicios), al vehículo de mercancías ligeras, al transporte de mercancías pesadas por carretera, a la infraestructura de recarga y al transporte marítimo

(2) Incluye las inversiones correspondientes al sector servicios de propiedad pública (15% de la superficie del sector servicios) y al ferrocarril de mercancías

(3) Incluye las inversiones correspondientes al sector residencial y la inversión en turismos

(4) Calculado como el cociente entre el total de la inversión particular y el número total de hogares (~17 millones)

(5) Hipótesis precios: 60 \$₂₀₁₇/bbl petróleo, 20 €₂₀₁₇/MWh gas natural, 100 \$₂₀₁₇/t carbón

Fuente: análisis Monitor Deloitte

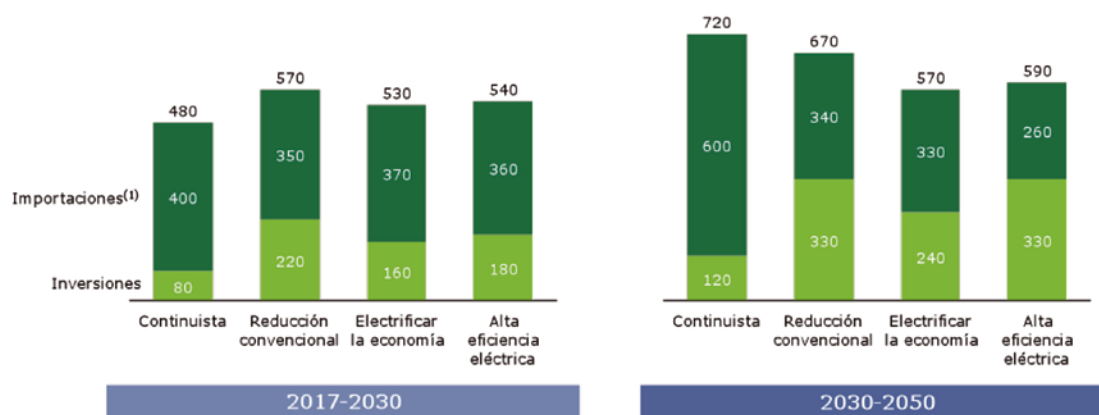
¹⁵ Por inversión directa se refiere a la inversión que tendría que pagar directamente cada uno de los agentes sociales. A largo plazo todo es pagado por el consumidor de una u otra manera vía tarifa eléctrica, impuestos u otros mecanismos

¹⁶ Hipótesis de precios para la estimación de importaciones: 60 \$₂₀₁₇/bbl petróleo, 20 €₂₀₁₇/MWh gas natural, 100 \$₂₀₁₇/t carbón

Figura 6.

Inversiones e importaciones acumuladas en los escenarios analizados

(miles de M€₂₀₁₇)



(1) Hipótesis precios: 60 \$₂₀₁₇/bbl petróleo, 20 €₂₀₁₇/MWh gas natural, 100 \$₂₀₁₇/t carbón
Fuente: análisis Monitor Deloitte

ciencia eléctrica), permitiría fomentar una **mayor actividad económica que en un escenario Continuista**. El escenario de *Alta eficiencia eléctrica* tendría un mayor esfuerzo inversor en los siguientes sectores:

- **110 mil millones en el sector de edificación**, fundamentalmente actuaciones de rehabilitación de edificios y eficiencia energética.
- **105 mil millones en centrales de generación renovable y de respaldo**, fundamentalmente en equipos y construcción.
- **45 mil millones en transporte**, fundamentalmente en infraestructuras ferroviarias, y apoyo en los primeros

5-7 años de adopción a la compra de vehículos eléctricos.

- **40 mil millones en redes de electricidad y gas natural.**
- **10 mil millones en adaptaciones** para mejorar la eficiencia energética y la reducción de emisiones en la **industria**.

Cabe destacar la actividad económica que se generaría con las **inversiones asociadas a redes energéticas, movilidad, edificación, etc.** en sectores con alto impacto en la **generación de actividad económica y empleo en nuestro país. El sector energético, o de fabricación de vehículos, son sectores con un peso**

relevante en la economía, y creadores de empleo cualificado y actividad en otros sectores, por ello estas inversiones tendrían un impacto relevante en la economía española.

El consumidor se verá beneficiado de un suministro eléctrico más económico

Estas inversiones permitirán relevantes reducciones en la tarifa eléctrica para los consumidores finales, tanto en 2030 como en 2050, derivadas fundamentalmente de la dilución de los costes fijos del sistema eléctrico entre una demanda eléctrica muy superior a la actual. La tarifa eléctrica en 2030 en este escenario sería un 30-35% inferior a la ta-

rifa media actual (~130 €/MWh en 2015 vs. 85-90 €/MWh en 2030), mientras que a 2050 dicha reducción sería casi del 50-55% (60-65 €/MWh).

Las Administraciones Públicas necesitan pasar a la acción y dar un paso decidido hacia la transición del modelo energético

La transición requiere medidas que actúen en tres aspectos del modelo energético español: (i) establecer un marco claro y de largo plazo para la descarbonización de la economía española, (ii) modificar los patrones y modos de consumo de energía final de los consumidores, (iii) adaptar el *mix* de generación eléctrica, de forma que se desarrollen los mecanismos necesarios para que se instale nueva capacidad renovable, se maximice el aprovechamiento del parque de generación actual, y (iv) aprovechar la transición energética para aumentar la competitividad de nuestra economía, así como, la creación de empleo y actividad económica.

Establecer un marco claro y de largo plazo para la descarbonización de la economía española:

- **Recomendación 1:** Desarrollar una **visión integrada del modelo energético español en la transición**, y planes específicos para cada sector de oferta y demanda, que permitan definir una estrategia a largo plazo y provocar los cambios estructurales necesarios.
- **Recomendación 2:** Definir un **modelo de gobernanza** para España que responda a los requerimientos de las políticas de lucha contra el cambio climático, a nivel nacional (definición, coordinación, puesta en marcha, eje-

cución y seguimiento de los propios planes nacionales) y europeo (requerimientos de información y supervisión).

- **Recomendación 3:** Fijar un **objetivo vinculante de reducción de emisiones para la economía española en el horizonte 2050**. Este objetivo deberá tener en cuenta el potencial de descarbonización de la economía española, las soluciones tecnológicas disponibles en la transición y la necesidad de garantizar la competitividad de la economía. Este objetivo debería definirse antes del final de 2018, y estar alineado con los objetivos planteados por la Unión Europea.
- **Recomendación 4:** Desarrollar una nueva fiscalidad medioambiental que permita asignar a cada uno de los vectores energéticos una señal efectiva del coste de las emisiones (y otros impactos medioambientales) asociadas a su consumo. Esta medida daría una señal económica efectiva para que las decisiones de consumo energético e inversiones de los diferentes agentes se realizaran bajo criterios de descarbonización.

Modificar los patrones de consumo de los consumidores, hacia el uso de vectores menos emisores y más eficiencia energética, requeriría:

- **Recomendación 5: Fomentar la sostenibilidad en el transporte**, tanto de pasajeros como de mercancías. En el transporte ligero, las principales actuaciones deberían centrarse en incentivar la movilidad eléctrica, mientras que, en el transporte de mercancías, los esfuerzos deberían estar enfocados en conseguir un cambio modal a ferrocarril

de mercancías y al uso del gas natural vehicular en el transporte por carretera y marítimo. Estas actuaciones, deberían incluir objetivos de:

- **Penetración del vehículo eléctrico:** i) a corto plazo (250.000 vehículos eléctricos a 2020, o 6 % de las ventas anuales), y ii) a medio plazo (5-6 millones de vehículos eléctricos a 2030, o 60% de las ventas anuales).
- **Infraestructura de recarga** para vehículo eléctrico hasta alcanzar: i) postes en **vía pública:** 4.000 postes en 2020, 50.000 en 2025 y 95.000 en 2030, y ii) electrolineras: 10.000 en 2020, 40.000 en 2025 y 50.000 en 2030.
- **Despliegue de autobuses urbanos eléctricos:** que el 100% de los nuevos autobuses urbanos, de las principales ciudades españolas sean eléctricos para el año 2030.
- **Cambio modal a ferrocarril eléctrico** del 15% de mercancías transportadas en 2030, hasta llegar al 20% de las mercancías transportadas en ese año en España.
- **Desarrollo del gas natural en el transporte de mercancías** por carretera y en el **transporte marítimo**.

- **Recomendación 6:** Fomentar la **sustitución de equipos convencionales por tecnologías más eficientes** y las actuaciones de eficiencia energética y conservación en **el sector residencial y servicios**. La sustitución de equipos tendrá que ir acompañada de planes de rehabilitación de edificios, en

función de su uso residencial o como servicios, con una estimación de las actuaciones a desplegar, incluyendo aquellas que permitan mejorar la eficiencia energética de los inmuebles.

- **Recomendación 7:** Promover el **cambio de vector energético (electrificación y gasificación) y la eficiencia energética en la industria**. Será fundamental el desarrollo de un estudio sectorial del impacto de la transición en la industria, que identifique aquellos subsectores y procesos con mayor potencial de descarbonización mientras se garantiza la competitividad del sector.
- **Recomendación 8:** Anticipar el **desarrollo de medidas alternativas que compensen la potencial desviación frente al cumplimiento de los objetivos descritos** anteriormente, si por cualquier circunstancia (por ejemplo, política energética, tendencias de consumo, nuevos desarrollos tecnológicos) no fuese posible o realista alcanzarlos.
- **Recomendación 9:** **Modificar la tarifa eléctrica** para convertirla en una señal de precio eficiente que permita la electrificación del modelo energético, al incrementar su competitividad frente a otros vectores energéticos más emisores.

Adaptar el *mix* de generación eléctrica, de forma que se desarrollen los mecanismos necesarios para que se instale nueva capacidad renovable y se maximice el aprovechamiento del parque de generación actual:

- **Recomendación 10:** Establecer un **marco razonable de planificación a medio-largo plazo** que oriente la

instalación de generación renovable y evolución de la capacidad de respaldo necesaria para cubrir el crecimiento de la demanda.

- **Recomendación 11:** **Definir mecanismos y calendarios de desarrollo de renovables que permitan atraer las inversiones necesarias** para alcanzar los objetivos establecidos, por ejemplo, mediante subastas de renovables. Este sistema debe asegurar una rentabilidad mínima de la inversión para los promotores de la nueva capacidad, pero basándose en mecanismos de mercado.
- **Recomendación 12:** **Extender la autorización de operación de las centrales nucleares** en las condiciones de seguridad exigibles. Se debe asegurar un proceso de toma de decisión basado en criterios técnicos, liderado por el Consejo de Seguridad Nuclear.
- **Recomendación 13:** **Desarrollar una regulación que incentive las inversiones necesarias en las redes** de forma que se promueva la modernización, digitalización, y automatización de éstas, se optimicen las inversiones necesarias y se desarrolle una regulación estable y que permita obtener una rentabilidad razonable sobre los capitales invertidos.
- **Recomendación 14:** Complementar el mercado mayorista eléctrico con **mecanismos de capacidad basados en esquemas de mercado**. Estos mecanismos son la clave para guiar de modo eficiente la transición de la generación térmica actual hacia nuevas tecnologías firmes no emisoras, a medida que vayan alcanzando la madurez.

Aprovechar la transición energética para aumentar la competitividad de nuestra economía, crear empleo y fomentar la actividad económica:

- **Recomendación 15:** Establecer una estrategia para la **transformación de la industria de fabricación de vehículos convencionales y sus industrias auxiliares**. Esta estrategia es clave para impulsar la materialización temprana de las oportunidades que puede suponer la movilidad eléctrica a la industria automovilística española, de enorme relevancia en nuestra economía.
- **Recomendación 16:** Establecer una **estrategia para atraer inversiones relacionadas con la transformación de la movilidad**, para crear polos industriales de fabricación de equipos (por ejemplo, baterías, componentes, ensamblado de modelos eléctricos) y fomentar nuevos servicios (servicios de movilidad compartida) que pueda capitalizar dicha transformación en España.
- **Recomendación 17:** Definir un **plan de fomento para el sector de la construcción y rehabilitación sostenible**. Este plan ha de impulsar la actividad empresarial para mejorar la competitividad del sector considerando cuestiones internas como la productividad, la innovación o la eficiencia en la gestión, y otras externas como la internacionalización.
- **Recomendación 18:** Definir un **plan para el desarrollo de la industria de fabricación, operación y mantenimiento de equipos de generación** (fabricantes y gestores de energías renovables) **y redes** (diseñadores y fabricantes de componentes

para la digitalización y automatización de la red) en España, de forma que seamos capaces de desarrollar una capacidad que permita el abastecimiento de las necesidades locales y la exportación de dichas capacidades.

- **Recomendación 19:** Fomentar y apoyar las fases de **investigación y desarrollo de tecnologías que hoy no son maduras pero que podrían**

convertirse en la base de nuestro modelo energético post-2030, como por ejemplo el almacenamiento de energía eléctrica. La innovación será un factor clave para que la transición sea eficiente y maximice el impacto en la creación de actividad económica competitiva.

El cambio climático y sus consecuencias requieren de cambios importantes en

nuestro modelo energético. Estos cambios necesitan de una actuación coordinada de todos los niveles de las Administraciones Públicas, empresas y consumidores. La transformación del modelo energético no es sólo una necesidad para asegurar la sostenibilidad, también es una oportunidad para fomentar la actividad de nuestras empresas y desarrollar una economía más competitiva. ■