

# UN ESCENARIO DE LUCHA CONTRA EL CALENTAMIENTO CLIMÁTICO (NEGATEP, EL ESCENARIO ENERGÉTICO DEL TEP QUE NO SE UTILIZA)

*Los ejercicios de prospectiva en el campo de la energía y de la lucha contra el cambio climático se han multiplicado en estos últimos años, como pudimos verlo a lo largo de los artículos consagrados a estos temas en Futuribles en el 2011 (tanto en este número especial como también en el número de abril). A decir verdad, los objetivos de reducción de las emisiones de gases con efecto invernadero, especialmente en Francia, son bastante ambiciosos: en efecto, la ley francesa de 2005 que contiene orientaciones sobre la energía habla de dividir por cuatro las emisiones de gas carbónico. Este objetivo es conocido como "el factor 4".*

*Entre todos estos escenarios, el escenario Negatep, elaborado por Claude Acket y Pierre Bacher dentro del marco de la asociación "Sauvons le climat", propone alcanzar este objetivo en Francia en el horizonte del año 2050, dividiendo por cuatro el uso de las energías fósiles, las cuales serían reemplazadas al máximo posible por electricidad producida a partir de fuentes no emisoras de gas carbónico –que son, esencialmente, la energía nuclear y las energías renovables–. Los autores presentan aquí, comparadas con el escenario de referencia, las cifras que refle-*

---

 CLAUDE ACKET Y PIERRE BACHER\*
 

---

jan los objetivos de este escenario y el camino a seguir para lograr dichos objetivos, en particular en los sectores residencial y terciario, industrial y de transportes (a través del manejo controlado de las necesidades y del uso de las fuentes alternativas).

Para finalizar, realizan una comparación del escenario Negatep con otros dos escenarios más recientes que también están orientados a reducir las emisiones de gases con efecto invernadero en Europa, por un lado, y en Alemania, por el otro. Esta comparación, a la vez que sustenta su decisión de apostarle a la electricidad como sustituto del petróleo, suscita interrogantes en cuanto a las consecuencias (temibles, según ellos) que podría tener en Europa la sustitución de la energía nuclear y del carbón por energías renovables intermitentes, no solo en términos de costos sino también de redes eléctricas.

S.D.

## LIMITAR EL CALENTAMIENTO CLIMÁTICO Y PRECINDIR DE LAS ENERGÍAS FÓSILES

En la actualidad, en el ámbito mundial, más del 80% del suministro de energía proviene de los combustibles fósiles. Y el hecho de que, a pesar de la escasez más o menos remota que se perfila en varios campos, se mantenga

durante este siglo XXI una fuerte dependencia con respecto a estos combustibles fósiles y sobre todo con respecto al carbón, da lugar a la pregunta primordial sobre los riesgos ligados al calentamiento climático: ¿no podría acaso tal dependencia, debido a las emisiones de gas carbónico que acarrearía, conducir a un incremento del efecto invernadero con consecuencias dramáticas?

Durante su combustión, los combustibles fósiles constituidos a partir del carbono liberan gas carbónico (CO<sub>2</sub>), el cual se suma al que ya está presente alrededor de nuestro planeta. En efecto, nuestra atmósfera está constituida por una capa de gases, entre los cuales están los gases con efecto invernadero. Si podemos leer estas líneas, agradezcamos a estos gases, ya que sin ellos la temperatura promedio de la Tierra no sería de 15°C, sino de -18°C, y nuestro planeta no sería más que una enorme bola de hielo sin agua líquida y sin vida. Este fenómeno del efecto invernadero es, pues, vital. ¿Pero qué sucede si, por el hecho de la actividad humana, el fenómeno se amplifica y conduce a un recalentamiento que, debido a su amplitud, se convierte en fuente de catástrofes climáticas?

Desde hace más de 400.000 años y hasta la era industrial, el contenido de gas carbónico fue inferior a 280 ppm (partes por millón). Hoy en día es superior a las 380 ppm. La naturaleza no absorbe más que la mitad de los 30

---

\* Miembros del Consejo científico de la asociación "Sauvons le climat" (Salvemos el clima). Disponible en: [www.sauvonsleclimat.org](http://www.sauvonsleclimat.org).

mil millones de toneladas de gas carbónico que emitimos cada año. La otra mitad se suma a los 2 billones 800 mil toneladas ya presentes en la atmósfera.

Para el futuro, todas las modelizaciones predicen que, de aquí al año 2100, las temperaturas mundiales presentarán un incremento de 2°C a 6°C. Más de la mitad de la incertidumbre depende del escenario que se elija para la emisión de CO<sub>2</sub>. A este respecto, el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre la evolución del Clima (GIEC) considera que sería prudente limitar esta elevación a 2°C. Para no superar ese límite, sería necesario que las emisiones mundiales se dividieran en este siglo por un factor de 2 y que las emisiones anuales, por habitante, fueran inferiores a dos toneladas<sup>1</sup>.

La acción necesaria para reducir las emisiones puede hacerse en dos direcciones complementarias: por un lado, disminuir el consumo de energía siempre que sea posible; por otro, utilizar fuentes de energía que no emitan gases con efecto invernadero, es decir, limitar al máximo la utilización de los combustibles fósiles<sup>2</sup>. Esto, en Francia, está expresado en la ley de 2005 que contiene orientaciones sobre la energía. Esta ley define cuatro grandes ejes de acción: economizar energía, “descarbonizar” la energía utilizada, desarrollar las energías renovables y mantener la energía nuclear para la producción de electricidad.

Los tres primeros ejes fueron confirmados y precisados por el grupo Grenelle del Medio Ambiente<sup>3</sup>. Sin embargo, estas decisiones no estuvieron acompañadas de evaluaciones costo/

beneficio, a pesar de estar estas últimas previstas por la ley. En vista de que el gobierno francés dejó el tema de la energía nuclear por fuera de los asuntos que debían ser tratados por el grupo Grenelle, éste, probablemente para compensar, prefirió “olvidar” que la electricidad podía jugar un papel importante en la sustitución de los combustibles fósiles tanto para los usos fijos de la energía como para los transportes.

Por el contrario, el escenario Negatep (Acket; Bacher, 2010: 244-252), pensando en la competitividad de las empresas nacionales, en el presupuesto del Estado y en el de los ciudadanos-consumidores (en particular el de los más desfavorecidos, que son quienes más duro sienten el alza de los precios de la energía), descarta las vías muy costosas. Dentro de un marco de esfuerzos importantes pero razonables por hacer un manejo controlado de la energía, y de un fuerte desarrollo de las energías renovables térmicas, el escenario Negatep concede un lugar primordial a la electricidad como sustituto de los combustibles fósiles, por tratarse de una electricidad producida por fuentes no emisoras de gas carbónico, tales como la energía nuclear y una parte –razonable desde el punto de vista técnico y financiero– de las energías renovables.

Partiendo de la situación actual y mostrando lo que podría ocurrir en ausencia de una política voluntarista de lucha contra las emisiones de gas carbónico (lo que constituye nuestro escenario “de referencia”), abordaremos sucesivamente el manejo controlado de las necesidades, por un lado, y las fuentes alternativas de energía (renovables térmicas y eléctricas),

1 Un europeo promedio emite hoy entre 6 y 10 toneladas de gas carbónico por año. Los franceses, los suizos y los suecos aparecen en la parte baja del rango gracias a una electricidad que se produce con muy pocos combustibles fósiles (energía nuclear y energía hidráulica).

2 Una solución complementaria, la captura del gas carbónico, está en proceso de desarrollo. ¿Podrá ser desplegada a gran escala? Más adelante lo veremos.

3 Proceso participativo que fue lanzado en Francia en el año 2007 con el objetivo de tomar decisiones de largo plazo en materia de medio ambiente y desarrollo sostenible, el cual dio como resultado, en particular, dos series de leyes (Grenelle I en junio de 2009 y Grenelle II en julio de 2010) (Nd/R).



por otro, para terminar con la presentación del escenario Negatep propiamente dicho y compararlo con otros escenarios europeos y alemanes.

## EL ESCENARIO DE REFERENCIA

El balance recursos-usos de la energía en el 2008 (Cuadro 1, al final de este artículo)<sup>4</sup> muestra que las energías fósiles representan el 70% del consumo de energías finales en Francia (114 Mtep)<sup>5</sup> y que los sectores residencial-terciario y de transportes son los que más contribuyen a ese porcentaje, tanto en términos de energía final consumida como de energías fósiles y de emisiones de CO<sub>2</sub>. La industria los sigue bien atrás, gracias a los progresos realizados en materia de eficacia energética después de las crisis petroleras de los años 1970, pero también, desafortunadamente, gracias a la deslocalización de numerosas actividades.

Los 120 Mtep de energías fósiles consumidos son los responsables de cerca de 115 millones de toneladas de carbono (tC) contenidos en el CO<sub>2</sub> emitido<sup>6</sup>. De manera muy general, para dividir por cuatro estas emisiones es necesario dividir por cuatro el consumo de energías fósiles, para que quede en un rango de 30 a 40 Mtep.

Esta constatación se ha verificado ampliamente en el escenario de referencia propuesto por la Dirección General de Energía y Materias Primas (DGEMP) y por el Observatorio de la En-

ergía (OE) en el 2008 (DGEMP-OE, 2008). En este escenario, el consumo de energía final pasaría de 162 Mtep en el 2006 a 184 Mtep en el 2020 y a 226 Mtep en el 2050, sin una modificación profunda del uso de las energías fósiles. La Gráfica 1 ilustra la repartición entre sectores de las energías finales.

## EL MANEJO CONTROLADO DE LAS NECESIDADES

### SECTORES RESIDENCIAL Y TERCIARIO

La imposición de las reglamentaciones térmicas (RT) ha limitado progresivamente las pérdidas de calor en las edificaciones nuevas del hábitat humano. Mientras que éstas son en promedio de 320 kWh por metro cuadrado y por año para las edificaciones antiguas, anteriores a 1975, las reglas impusieron 100 kWh (RT 2000), 80 kWh (RT 2005) y 50 kWh por metro cuadrado por año (RT 2012). Hay que saber que esta última cifra se aplica ya no a la energía final consumida sino a la energía primaria necesaria. Sin embargo, como lo señaló la OPECST (Bataille; Birraux, 2009), no hay que contar con que se produzca una disminución tan importante del consumo; en efecto, estas cifras son valores normalizados teóricos y no reales de utilización. Así, por ejemplo, sabiendo que el gasto por calefacción es más bajo, una familia que

4 Utilizaremos generalmente como unidad de energía la tonelada equivalente de petróleo (tep) y sus múltiplos (Mtep, millón de tep); en ciertos campos, se utilizan comúnmente el kilovatio-hora (kWh) y sus múltiplos (MWh, millón de kWh, y TWh, teravatio-hora, millón de millones de kWh). Así, para facilitar la lectura, utilizaremos y daremos las cantidades en las dos unidades. Recordemos que 1 tep = 11,6 MWh = 41,86 GJ (miles de millones de julios).

5 Se consumen aproximadamente 5 Mtep adicionales de energías fósiles para la producción de electricidad de semi-base (período intermedio entre la generación de energía de base y la generación en períodos de punta) y en períodos de punta y para la refinación del petróleo, lo que eleva el consumo total de energías fósiles a cerca de 120 Mtep.

6 Con respecto a la producción de CO<sub>2</sub>, el escenario Negatep utiliza las siguientes cifras: 1,17 tC por tep de carbón, 0,89 tC por tep de petróleo y 0,74 tC por tep de gas natural.

pasa de una vivienda mal aislada a una nueva renovada no dudará tanto a la hora de subir la temperatura de las habitaciones, especialmente en los dormitorios.

Pero la imposición de normas cada vez más severas para las edificaciones nuevas puede resultar cada vez más costosa y, de un modo general, improductiva, puesto que absorbe lo esencial de los medios financieros que podrían quedar mejor empleados en la renovación de las edificaciones antiguas. Dado que estas últimas representan más de las dos terceras partes del parque existente, su renovación debería ser prioritaria. Hay dos escenarios posibles para la renovación de las edificaciones antiguas (Orselli, 2008). Según el primero, se trata de realizar de una sola vez obras de envergadura que permitan realizar un aislamiento de excelente calidad. Según el segundo, llamado "de renovación difusa", se trata de utilizar sistemáticamente, a medida que se realizan los trabajos normales de mantenimiento, los mejores materiales, los mejores equipos y las mejores técnicas (ventanas y marcos, calderas modernas, etc.).

En el primer escenario, se corre el riesgo de incurrir en costos muy elevados, superiores a 20.000 euros por vivienda, para obtener una disminución teórica de las pérdidas de 75%. En el segundo, la reducción de las pérdidas podría alcanzar el 50%; el sobre costo con respecto a los trabajos normales de mantenimiento sería leve, de unos cuantos miles de euros, y se compensaría ampliamente en unos pocos años gracias al menor valor de la factura por concepto de calefacción. La comparación de los costos de estos escenarios ilustra perfectamente la ley de los rendimientos decrecientes. Con la renovación difusa, hay que tener en cuenta un sobre costo de aproximadamente 5.000 euros para reducir la demanda de 20 a 10 MWh por año por vivienda; con la renovación de envergadura, en cambio, serían más de 20.000 euros para reducirla de 20 a 5 MWh por año. En el escenario pesado, el precio del MWh economizado es cerca de tres

veces más alto, y el precio marginal, para pasar de 10 a 5 MWh por año, es cerca de seis veces más elevado.

Negatep adopta entonces el segundo escenario que, partiendo de una determinada partida presupuestaria global, permite más ganancias. Generaría un ahorro de 125 TWh (o sea, 11 Mtep) con respecto al escenario de referencia. A estas economías en el aislamiento deben sumarse otras, como las que provienen de la sustitución de los medios de calefacción (por ejemplo, calderas de condensación), que puede traducirse en un ahorro de energía cercano a los 3 Mtep.

Las necesidades diferentes a la calefacción (necesidades específicas de electricidad, agua caliente sanitaria, cocción de alimentos...), tanto en las edificaciones antiguas del hábitat humano como en las nuevas, pueden ser satisfechas con energías renovables y con electricidad, como veremos más adelante.

En el sector terciario, el escenario de referencia prevé aproximadamente 32 Mtep para el 2050. A las mismas vías clásicas y técnicas para el manejo controlado de la energía utilizadas para el hábitat humano debería agregarse la gestión de la intermitencia en la ocupación de numerosos locales. Teniendo en cuenta estos elementos cualitativos, admitiremos que las necesidades del sector terciario podrían estabilizarse en su nivel actual, es decir cerca de 23 Mtep.

## SECTORES INDUSTRIAL Y AGROALIMENTARIO

La extrapolación del escenario de referencia llega a 56 Mtep en el 2050 (sin contar las necesidades nuevas ligadas al desarrollo de una industria de los biocombustibles). Después de las crisis petroleras de los años 1970, la industria hizo un gran esfuerzo y logró mejorar su eficacia energética en cerca de 25%. Y aunque lo más fácil ya se hizo, el objetivo que planteamos consiste en lograr una nueva mejora equivalente



de aquí al año 2050. Así, el consumo total de las industrias tradicionales en el 2050 quedaría entonces prácticamente estabilizado en el nivel del 2006. Más adelante veremos que se podrían agregar las necesidades de energía de una nueva industria, la de la síntesis de biocombustibles.

## SECTOR DE LOS TRANSPORTES

Hoy en día, el petróleo se utiliza de manera casi exclusiva para el transporte de bienes y de personas, y no existen en el corto plazo verdaderas energías disponibles para una sustitución masiva. Es cierto que la eficacia de los motores para automóviles se ha mejorado considerablemente gracias a importantes progresos tecnológicos, pero esta mejora se ha visto más que compensada por la imposición de normas más severas de seguridad y contra la contaminación debida a causas diferentes al CO<sub>2</sub>; por la orientación del público hacia vehículos más potentes y por el aumento del tráfico automotor. Solo las medidas gubernamentales en favor de los automóviles de baja emisión de CO<sub>2</sub> (el sistema "bonus malus", que penaliza a los compradores de vehículos "contaminantes") han contribuido recientemente a invertir la tendencia.

El escenario de referencia llega a 79 Mtep en el 2050. Con respecto a esta tendencia, se puede esperar que los progresos tecnológicos<sup>7</sup> continúen y se generalicen. Pero habría que contar sobre todo con que se reconozca la importancia del transporte masivo y con que cada persona modifique su comportamiento para que sea posible reducir las necesidades de su nivel

actual, 50 Mtep, a 40 Mtep<sup>8</sup>, es decir a la mitad del nivel tendencial.

Contrariamente a los sectores residencial y terciario, es muy difícil evaluar los costos relacionados con la disminución de las necesidades en el sector de los transportes: los progresos tecnológicos probablemente tienen un costo (es muy elevado el costo de la tonelada de petróleo que se evita con la operación "bonus-malus"); el cambio de los comportamientos individuales puede permitir ahorrar dinero (conducción prudente, uso colectivo del automóvil particular); las inversiones en el transporte masivo son muy importantes, pero no deben imputarse únicamente al objetivo de ahorrar energía, no más que la ordenación urbana, etc...

## MANEJO CONTROLADO DE LAS NECESIDADES: SÍNTESIS

En total, las mediciones sobre el ahorro propiamente dicho representarían cerca de 75 Mtep de energía final con respecto al escenario de referencia, es decir, casi una tercera parte. Sin embargo, hay que señalar que estas cifras podrían modificarse con el paso de una energía a otra, como veremos más adelante<sup>9</sup>.

## FUENTES ALTERNATIVAS DE ENERGÍA "DESCARBONADAS"

La sección anterior, relativa a los usos de las energías, presentaba cifras de energía final, es decir, de la energía que se le entrega al usuario: combustible bombeado para automóviles, kWh

7 En la continuidad: en particular, la inyección directa y la alta presión; la distribución variable, el incremento de la potencia específica, la adaptación de los motores a las necesidades reales (*downsizing*).

8 Veremos más adelante que el reemplazo de una parte del parque automotor por vehículos eléctricos permitiría sustituir 15 Mtep de energía final derivada del petróleo por 5 Mtep de electricidad.

9 Un ejemplo simple: el reemplazo de una caldera de gas por una caldera de leña de menor rendimiento disminuye las emisiones de CO<sub>2</sub>, pero aumenta la energía consumida.

eléctrico en la toma de corriente, etc. Al remontarse a las fuentes de energía (petróleo crudo, energía necesaria para producir electricidad...) y a las emisiones de CO<sub>2</sub> relacionadas con la energía, se hace necesario hablar de energías primarias. Éste será el tema de esta sección.

Las únicas fuentes de energía que pueden ser ampliamente no carbonadas son las energías renovables térmicas, la electricidad producida a partir de la energía nuclear o de energías renovables y las energías fósiles asociadas a la captura y al almacenamiento del CO<sub>2</sub> (CAC).

## ENERGÍAS RENOVABLES TÉRMICAS

Para las energías renovables, el terreno predilecto es el del calor. Su contribución es muy importante:

- La leña y los diversos desechos agrícolas y domésticos, que ya están suministrando cerca de 10 Mtep, podrían fácilmente suministrar de manera directa más del doble, o incluso más con el desarrollo de la producción de biocombustibles. En total, el escenario Negatep contempla un rango de 30 a 35 Mtep.
- La energía solar térmica podría fácilmente aportar las tres cuartas partes del agua caliente sanitaria y una parte limitada de la calefacción de las casas individuales. En total, su contribución podría ser de 3 a 5 Mtep.
- Es previsible un fuerte desarrollo de la geotermia de superficie y de la aerotermia,

basadas en la utilización de bombas de calor. Su contribución puede estimarse en 9 Mtep: 7 Mtep provenientes del suelo o del aire y 2 Mtep aportados directamente por las bombas de calor eléctricas.

- La geotermia semi-profunda o profunda, aún poco desarrollada (0,2 Mtep), podría comenzar a desarrollarse.

En total, las energías renovables podrían contribuir a la producción de aproximadamente 45 Mtep de calor, que se compartirían entre los diferentes sectores.

## ELECTRICIDAD

Para no contribuir a las emisiones de CO<sub>2</sub>, la electricidad debe ser producida con energías no carbonadas: energía nuclear y energías renovables, ya que el uso de combustibles fósiles a gran escala impone el secuestro del gas carbónico.

La energía nuclear produce hoy en día cerca del 80% de la electricidad en Francia. Desde los puntos de vista técnico y económico, sería posible conservar esta proporción, por ejemplo, reemplazando de aquí al 2050 los reactores actuales por reactores EPR (*Evolutionary Power Reactors*)<sup>10</sup>. Esto, evidentemente, plantea problemas como la apertura eventual de nuevos sitios y el desmantelamiento de las centrales que llegan al final de su vida útil<sup>11</sup>, el almacenamiento definitivo de los residuos de vida larga<sup>12</sup>, el suministro de uranio<sup>13</sup>, sin hablar de los temas de aceptabilidad social que afectan a todos los grandes proyectos de infraestructura,

10 La potencia promedio de los reactores actuales es cercana a los 1.000 mw, la del epr es de 1.700 mw y, por diseño, el factor de carga del epr debería ser superior en 5% a 10%.

11 En algunos de los sitios actuales es posible instalar nuevos reactores (Flamanville, Penly, por ejemplo), pero no en todos. Teniendo en cuenta los plazos necesarios para el desmantelamiento de las centrales que llegan al final de su vida útil, eso no sería suficiente.



tanto en el sector de la energía como en el de los transportes.

En la actualidad, la técnica del carbón con secuestro del CO<sub>2</sub> está en fase de investigación preindustrial. Es probable que esta técnica se vuelva indispensable para los países que usan ampliamente el carbón y el gas, y los alemanes la habrán aplicado a partir del 2030 (ver *infra*). El escenario Negatep no adopta esta opción para Francia por ser costosa y medianamente eficaz.

El gas natural está llamado a reemplazar el carbón y el petróleo para hacer frente a los riesgos de las producciones intermitentes de electricidad (eólica y solar)<sup>14</sup>. Pero la presión que se ejerce sobre el CO<sub>2</sub> repercute en una limitación de la capacidad de las energías renovables intermitentes.

En cuanto a las energías renovables, Francia se comprometió, en el ámbito europeo, a usarlas para un 20% de su energía de aquí al 2020<sup>15</sup>. Superando este compromiso, el grupo Grenelle del Medio Ambiente estableció un objetivo del 23%, previendo un fuerte desarrollo de la electricidad renovable. Hoy en día, la energía renovable más importante en Francia es

la hidráulica (64TWh), que no tendrá mayor evolución. La energía hidráulica juega un papel esencial en la estabilidad de la red frente a las variaciones rápidas del equilibrio entre las necesidades y la producción. Pero los límites parecen haberse alcanzado y la energía hidráulica no puede aportar prácticamente nada más en caso de que haya un fuerte desarrollo de las fuentes intermitentes. La leña y los residuos carbonados pueden contribuir a la producción de electricidad, especialmente en instalaciones de cogeneración (calor y electricidad). Esto podría representar cerca de 11 TWh. En cuanto a la energía eólica, el grupo Grenelle del Medio Ambiente prevé la instalación de 19 GW terrestres y 6 GW marinos de aquí al 2020, los cuales producirían 62 TWh, es decir 5,3 Mtep. Dos factores, la intermitencia y el costo, limitarán el desarrollo de la energía eólica (ver recuadro al final de este artículo) para poder superar estos compromisos del 2020. La electricidad de origen solar fotovoltaica sufre del mismo inconveniente de la intermitencia que tiene la electricidad de origen eólico, pero ofrece una mejor previsibilidad y una menor amplitud de

12 Las cantidades totales de residuos de vida larga por almacenar, en caso de operación con reactores de agua (actuales y epr) hasta el final del siglo, prácticamente se triplicarían con respecto a las cifras actuales. Comparativamente, el retratamiento del combustible para extraer el plutonio permite dividir por 10 la radioactividad de los residuos por almacenar. Recordemos que el almacenamiento de los residuos de vida larga ha sido objeto de dos leyes (1991, 2006) y que la segunda de ellas confirmó la elección del almacenamiento geológico de esos residuos.

13 Para la mayoría de los minerales, las cantidades recuperables dependen fuertemente del precio que uno está dispuesto a pagar. Sin embargo, el uranio natural no representa más que 2% a 3% del costo del MWh nuclear, de tal modo que, así su costo se multiplicara de 5 a 10 veces, este incremento, sin ser despreciable, no tendría mayores consecuencias.

14 Las variaciones rápidas de producción eólica y solar se compensan primero que todo por la producción hidráulica de represa y de bombeo, de capacidad limitada, y luego por las centrales térmicas; pero en estas últimas solo las turbinas de gas tienen la capacidad de reaccionar suficientemente rápido. En los países que disponen de una gran potencia instalada de centrales de carbón, como Alemania, éstas también pueden contribuir a hacer frente a las intermitencias, con la condición de que ya estén en funcionamiento y a costa de una fatiga suplementaria de los materiales.

15 Dentro del marco de la fórmula del "3 veces 20 en el 2020" (véase también la tribuna europea de Jean-François Drevet, en la p. 139 de este número de *Futuribles* [Ndir]).



las variaciones bruscas. Sin embargo, aún es demasiado costosa y tendrá que hacer grandes progresos para ser competitiva con las demás energías. El grupo Grenelle del Medio Ambiente estableció el objetivo de 5,4 GW en el 2020, con una producción de 5,8 TWh, objetivo que prácticamente se alcanzó en el 2010<sup>16</sup>. El escenario Negatep plantea 20 TWh para el año 2050, cifra que es muy incierta. En total, se puede pensar que, en el 2050, la electricidad renovable en Francia podría suministrar 175 TWh.

## EL PLANTEAMIENTO DEL ESCENARIO NEGATEP

### UN OBJETIVO DE COSTO MÍNIMO

El objetivo del “factor 4” se traduce en una reducción promedio de las energías fósiles de 40 Mtep por año de aquí al 2050, es decir, un total de 1.600 Mtep. De manera muy general, esto significa que los gastos en combustibles fósiles se reemplazan por gastos en los medios para economizar o para usar energías no carbonadas. Tan solo en inversiones, la magnitud de dichas transferencias es del orden de varias decenas de miles de millones de euros al año, lo que justifica plenamente la decisión del escenario Negatep de dar prioridad a las vías menos costosas, sin olvidar que los costos de la sustitución de las energías fósiles en sus usos fijos oscilarán entre 500 y 1.000 euros por tep economizada, y en sus usos móviles, entre 1.500 y 2.000 euros por tep economizada (Bacher, 2008). En el siguiente recuadro se presentan

más específicamente los aspectos económicos de la producción de electricidad; se muestra que el sobre costo incurrido en el reemplazo de un 40% de producción nuclear por un 40% de energías renovables intermitentes es del orden de decenas de miles de millones de euros, aunque es imposible dar una evaluación precisa debido a las diferentes incertidumbres.

### USOS FIJOS DE LA ENERGÍA

En los sectores de los usos fijos de la energía, el escenario Negatep descarta las soluciones extremas y muy costosas de ahorro de energía en las edificaciones antiguas, y prefiere soluciones mixtas (“renovación difusa”) con un uso inteligente de la electricidad (bombas de calor y calefacción directa borrable en las horas pico). Para las edificaciones nuevas, el escenario se basa en la necesidad de limitar los sobrecostos elevados que frenarían su desarrollo: una arquitectura que limite razonablemente las necesidades de energía (alrededor de 70 KWh por metro cuadrado en energía final)<sup>17</sup>, asociada a la electricidad y a las energías renovables.

En el sector terciario, donde las necesidades se han estabilizado en su nivel actual (23 Mtep), las energías renovables y la electricidad reemplazarían a partes iguales 10 Mtep de energías fósiles.

En los sectores industrial y agroalimentario, donde las necesidades tradicionales también se han estabilizado (40 Mtep), es probable que los grandes consumidores usen cada vez más la electricidad, a medida que el precio del CO<sub>2</sub> aumente. Del mismo modo, es probable que au-

16 En un contexto especulativo, con un costo de recompra de la electricidad que puede alcanzar 10 veces el precio en el mercado, situación no sostenible a término.

17 Desafortunadamente, la reglamentación térmica rt 2012 se basa en la energía primaria y no en la energía final. Esto lleva a que se prefiera la calefacción con gas, que es un gran emisor de gas carbónico. Sin embargo, el aislamiento térmico actúa solamente sobre la energía final. Sería preferible hacer referencia a esta última y, paralelamente, como lo recomienda la OPECST, imponer límites a las emisiones de gas carbónico asociadas al modo de calefacción elegido.



mente el uso de las energías renovables. Para estas dos fuentes de energía, el escenario Negatep adopta las cifras del escenario de referencia.

A estas necesidades se agregan las de una industria nueva de síntesis de biocombustibles, tema que trataremos más adelante.

## USOS MÓVILES DE LA ENERGÍA

En el campo del transporte, Negatep admite que las medidas tendientes al ahorro de energía y a la eficacia energética permitirían, de aquí al 2050, reducir las necesidades a 40 Mtep. ¿Pero cómo reemplazar el petróleo, si éste satisface hoy la parte más importante de las necesidades? Negatep descarta su reemplazo por combustibles líquidos sintéticos, producidos a partir de combustibles fósiles, así como una contribución importante de los biocombustibles de primera generación, que compiten con las necesidades alimentarias. Quedan, pues, las opciones de los biocombustibles de segunda generación y las motorizaciones eléctricas.

## BIOCOMBUSTIBLES DE SEGUNDA GENERACIÓN

Los biocombustibles de segunda generación valorizan la totalidad de la masa lignocelulósica, pero con un rendimiento de procedimiento de 50%. La energía consumida debe ser no carbonada y debe provenir bien de la propia biomasa (autoconsumo), bien de la electricidad, bien de una mezcla de las dos. En total, teniendo en cuenta la disponibilidad limitada de la biomasa, Negatep plantea una producción de 15 Mtep de biocombustible, obtenida a partir de 22,5 Mtep de biomasa (7,5 de los cuales se usan para el suministro de energía) y 7,5 Mtep de electricidad.

## MOTORIZACIONES ELÉCTRICAS

El uso de la electricidad puede ser directo, en el transporte masivo, pero también puede extenderse al transporte individual gracias al desarrollo de baterías para los vehículos 100% eléctricos o para los híbridos recargables. En total, con los vehículos eléctricos y los híbridos, se debería poder reemplazar el equivalente de 15 Mtep de petróleo por 5 Mtep de electricidad<sup>18</sup>.

En total, en lo que se refiere a los usos móviles de la energía, el reemplazo de 15 Mtep de petróleo por 5 Mtep de electricidad contribuye a reducir las necesidades de energía final para transporte a 30 Mtep, desglosadas de la siguiente manera: transporte masivo electrificado, 3 Mtep; carros eléctricos o híbridos, 5 Mtep (en reemplazo de 15 Mtep de petróleo); biocombustibles, 15 Mtep, y petróleo, 7 Mtep.

## UN ENFOQUE PROGRESIVO HACIA EL "FACTOR 4"

En cuanto a los usos fijos de la energía, las dificultades para la puesta en práctica generalizada surgirán, de manera muy general, de los problemas logísticos y de las muy importantes constantes de tiempo, en particular en lo concerniente al hábitat y a las costumbres de vida. Pero nada parece impedir una implantación progresiva, a un ritmo que dependerá efectivamente del precio equivalente de la energía (incluyendo el precio asignado al CO<sub>2</sub>), de las ayudas públicas y de los esfuerzos de movilización de la profesión. El escenario Negatep plantea un período de adaptación de aquí al 2020, luego un ritmo anual regular para todos los usos fijos (por ejemplo, cerca de 500.000 viviendas antiguas y 250.000 viviendas nuevas entre el 2020 y el 2050).

18 Otra vía posible de motorización eléctrica es la pila de combustible alimentada con hidrógeno, la cual se traduciría en necesidades equivalentes de electricidad.

Para los usos móviles, ya se trate del manejo controlado de la demanda o de la sustitución del petróleo por los biocombustibles y la electricidad, el escenario Negatep plantea un período de puesta en marcha bastante lento de aquí al 2020, teniendo en cuenta, por una parte, las muy importantes constantes de tiempo relacionadas con el desarrollo del transporte masivo y, por otra, la necesidad de progresos técnico-económicos en el campo de los biocombustibles y en el de las baterías. El escenario plantea un ritmo más rápido entre el 2020 y el 2050, el cual permite alcanzar el objetivo fijado.

En cuanto a la producción de electricidad, no hay incertidumbres técnicas en lo relacionado con la factibilidad del desarrollo de la energía nuclear, de la energía eólica y de la cogeneración. Para la introducción de estas nuevas fuentes se requiere una programación que tenga en cuenta, en el caso de la energía nuclear, la vida útil de las centrales existentes y su aceptación por parte de la sociedad; en el caso de la cogeneración, el desarrollo de redes de calor, y en el caso de la energía eólica, los problemas de costos y de inserción en la red de una electricidad intermitente. Solo sigue siendo muy incierto el desarrollo de la energía solar fotovoltaica, debido a su costo. Pero los rápidos progresos en el campo de los sensores solares y su integración a las construcciones permiten esperar una disminución importante de ese costo<sup>19</sup>.

## BALANCE GLOBAL NEGATEP 2050

Estos enfoques conducen a los balances de energía final que presentamos de manera resumida en el Cuadro 2 y en la Gráfica 2.

En total, en el 2050, el consumo final en Mtep sería un poco inferior al actual: pasaría de 162 Mtep a 149 Mtep, lo que representa una disminución del 8%. Si se tiene en cuenta el aumento previsto de la población, la disminución sería de 15% por habitante.

Remontándose a la energía primaria<sup>20</sup>, estos resultados se ilustran en la Gráfica 3.

La disminución de las energías fósiles de 134 a 37 Mtep, consecuencia del ahorro de energía y del uso de una electricidad descarbonada, conduciría a un total de 112 Mt de emisiones de CO<sub>2</sub> (1,7 toneladas por habitante por año).

## OTROS DOS ENFOQUES DEL FACTOR 4 COMPARADOS CON NEGATEP

Entre los numerosos estudios publicados recientemente sobre los medios para reducir las emisiones de gases con efecto invernadero relacionadas con la energía, hay dos cuya comparación con el escenario Negatep resulta particularmente interesante. El primero de ellos, realizado por la European Climate Foundation (ECF) (2010), analiza la situación de Europa en general (los 27 países de la Unión Europea más Suiza y Noruega) y fue presentado, entre otros, ante la Comisión Europea. El segundo fue

19 La creación de burbujas especulativas sucesivamente en España (2008), Alemania (2009) y Francia (2010), las cuales fueron posibles debido a las tarifas demasiado elevadas para la compra de la electricidad fotovoltaica, ilustra la dificultad de dar un manejo adecuado al desarrollo de esta vía. Negatep plantea un desarrollo controlado de 0,5 gw por año.

20 Para la electricidad, el paso de la energía final a la energía primaria en la producción tiene en cuenta el consumo de los auxiliares, las pérdidas en línea y, para el 2008 únicamente, el balance exportación/importación (suponiendo que esté equilibrado en el 2050), así como el consumo específico de la planta de enriquecimiento de uranio (suponiendo que este consumo sea despreciable en el 2050 con la nueva tecnología de centrifugación).



realizado por un instituto alemán de economía, por solicitud del gobierno alemán (Ministerio Federal de Economía y Tecnología, 2010)<sup>21</sup>.

## EL "ROADMAP 2050" DE LA ECF

Los escenarios presentados por la ECF le apuntan a dividir por cinco las emisiones de CO<sub>2</sub> en Europa, cifra que es coherente con el "factor 4" francés partiendo del nivel actual de emisiones. El análisis de las necesidades de energía en el 2050 es semejante al de Negatep y, particularmente, conduce a la ECF a plantear una cuasi-estabilización del consumo final de energía y un incremento importante de los usos de la electricidad (dado que el consumo de electricidad aumentará un 50% aproximadamente de aquí al 2050).

Para producir esta electricidad, los escenarios de la ECF no descartan ni la energía nuclear ni las energías fósiles con CAC, pero plantean una clara preferencia por las energías eólica y solar, que podrían alcanzar una participación del 80%. Para hacer frente al carácter intermitente de estas energías, los escenarios le apuestan a una superred que establezca un enlace entre el Norte y el Sur de Europa, como se ilustra en el mapa 1.

Por razones de aceptabilidad social, lo más probable es que esta superred esté en gran parte enterrada y, por lo tanto, que sea de corriente continua. Dejando aparte el hecho de que esta superred podría utilizar el territorio francés como plataforma de tránsito, lo que podría suscitar algunos problemas, el escenario con un 80% de electricidad renovable requiere, con respecto a un escenario de referencia, inversiones suplementarias colosales que podrían alcanzar los 40 mil millones de euros anuales de aquí al

2050, lo que equivale a casi el doble de lo que habría que invertir en un escenario de tipo Negatep extrapolado a Europa.

## LOS ESCENARIOS ALEMANES SIN ENERGÍA NUCLEAR

La gráfica 4 resume los consumos actuales de energía primaria y de fuentes de electricidad en Alemania y Francia.

Hoy en día, las energías fósiles representan el 80% de las energías primarias en Alemania, frente a un 50% en Francia; esta diferencia se explica en su mayor parte por la preponderancia del carbón en la producción de electricidad. Las emisiones anuales de gas carbónico ocasionadas únicamente por la producción de energía son en Alemania de 750 millones de toneladas, es decir, 9,1 toneladas por habitante, frente a 6,5 toneladas por habitante en Francia.

Para el 2050, los escenarios alemanes propuestos plantean que las emisiones anuales de CO<sub>2</sub> serán de 138 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>, es decir, de 1,9 toneladas por habitante (el escenario Negatep plantea 1,7 toneladas por habitante en Francia). Para alcanzar este objetivo, los esfuerzos que habría que desplegar en los diferentes sectores, aparte de la producción de electricidad, son bastante comparables. En cambio, son profundamente diferentes en el sector eléctrico, donde se toman medidas tanto a nivel del consumo (que se reduce a 430 TWh) como de los medios de producción. Todos los escenarios propuestos para Alemania cuentan con la desaparición de la energía nuclear, más o menos progresiva de aquí al 2050<sup>22</sup>; con una muy fuerte disminución del uso del carbón (con secuestro de CO<sub>2</sub> en las centrales de base con carbón), y con una muy fuerte progresión de las

21 Ver también Acket, Bacher (2010a).

22 Obsérvese que después del accidente nuclear de Fukushima, ocurrido en marzo de 2011, el gobierno alemán anunció, a finales de mayo de ese año, la suspensión definitiva de sus programas de energía nuclear en su territorio de aquí al 2022.

energías renovables, solar fotovoltaica, biomasa y, sobre todo, eólica (Gráfica 5).

Pero todo esto es insuficiente para satisfacer las necesidades. Según estos escenarios, Alemania terminaría importando más de 100 TWh, a pesar de que hoy es exportadora.

Los autores afirman que esta electricidad importada sería no carbonada, pero no sobra preguntarse sobre su proveniencia (¿nuclear francesa, solar española, hidráulica noruega?). Como sea, las potencias importadas tendrían que ser muy superiores a la cuarta parte de la potencia instalada, ya que gran parte de los 100 GW de potencia instalada en energía eólica y solar puede desaparecer bruscamente. Así, pues, la importación se basa en una superred de transporte de electricidad como la que se esquematiza en el mapa 1, y en la posibilidad de movilizarla para atender únicamente las necesidades alemanas.

Estos escenarios causan perplejidad en varios aspectos, dos de ellos esenciales: 1) ¿Cómo reemplazar el petróleo en los transportes sin recurrir ampliamente a las motorizaciones eléctricas y a los biocombustibles, cuya síntesis requiere grandes cantidades de energía? y 2) ¿Cómo establecer una superred europea en la cual el mayor beneficiario sería Alemania y el más afectado, Francia?

\*  
\* \*

## NOTAS

Negatep 2010 no es una predicción, sino un escenario basado en cierto número de hipótesis, que podrían no confirmarse, en los campos tanto económicos como societales y tecnológicos.

En el campo económico están en juego sumas considerables. Si aplicamos a Francia los

resultados del estudio de la ECF, obtenemos para el período 2010-2050, únicamente en lo relativo a la electricidad:

- en el caso de un escenario que le apuesta a un 60% de energías renovables, un costo de inversión de 690 mil millones de euros, para un costo completo de un billón 220 mil euros;
- en el caso de un escenario semejante a Negatep, un costo de inversión de 370 mil millones de euros, es decir, cerca de 9 mil millones de euros por año, para un costo completo de 700 mil millones de euros.

En el campo societal aparecen incertidumbres mayores: ¿Cómo persuadir a los ciudadanos electores, por ejemplo, de que es necesario aceptar hoy un impuesto sobre el carbono para anticipar mejor las futuras alzas en el precio de las energías fósiles? ¿Cómo incitarlos a invertir para reducir sus consumos y modificar sus comportamientos? ¿Cómo convencerlos de que los riesgos y preocupaciones relacionados con la energía nuclear (tales como los temas de los residuos y de los riesgos de accidente) están bien controlados?

Y en el campo tecnológico tampoco faltan las incertidumbres: ¿Permitirán las baterías el desarrollo de la movilidad? ¿Serán abordables los procedimientos de síntesis de biocombustibles? ¿Se convertirá la energía solar fotovoltaica en una fuente importante de electricidad? ¿Sabremos almacenar grandes cantidades de electricidad? Estas preguntas, en su mayoría, justifican esfuerzos importantes de investigación y desarrollo, tanto en Francia como a nivel europeo. Pero ya disponemos, para la mayoría de los usos fijos y para la producción de electricidad, de las tecnologías necesarias para alcanzar el "factor 4", tal y como lo presenta el escenario Negatep.



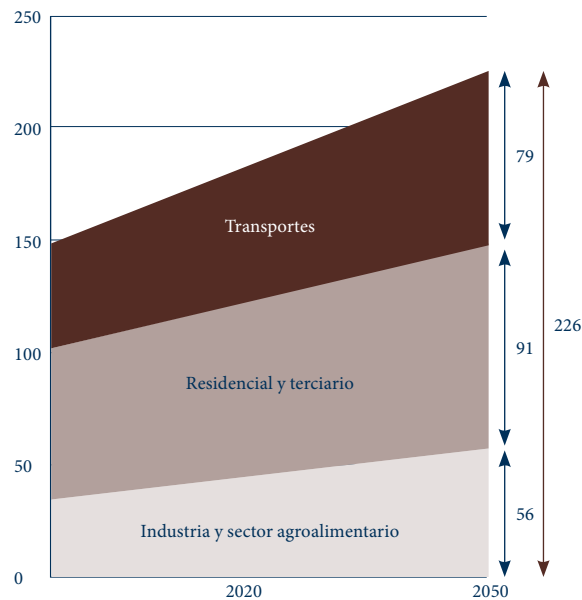
**Cuadro 1. Balance recursos-usos de la energía final en Francia en el 2008 (en Mtep)**

	Carbón	Petróleo	Gas	Electricidad	Renovables térmicas	Total	Total (%)
Industria	5,7	5,1	13,7	11,6	1,3	37,4	23
Residencial y terciario	0,4	13,2	25	23,9	8,9	71,4	44
Agricultura	-	3,4	0,3	0,6	0,1	4,4	2
Transportes	-	46,9	-	1	2	49,9	31
<b>Total</b>	<b>6,1</b>	<b>68,6</b>	<b>39,1</b>	<b>37,2</b>	<b>12,3</b>	<b>163,1</b>	<b>100</b>

Contexto: uso directo de carbón, petróleo, gas y energías renovables térmicas. En la producción de electricidad\* se usan la energía nuclear, las energías eléctricas renovables y las energías fósiles.

\* Partiendo de una producción bruta de electricidad de 575 TWh (nuclear: 440 TWh; térmica fósil: 60 TWh; renovables: 75 TWh), llegamos a un consumo final de 433 TWh, sustrayendo los 48 TWh del saldo exportaciones-importaciones, las necesidades propias de la producción (auxiliares, enriquecimiento) y las pérdidas en línea.

**Gráfica 1. Energías finales en el escenario de referencia DGEMP 2008 (en Mtep)**



Fuente: DGEMP.

## INTERMITENCIA Y COSTO ACTUAL DE LA ELECTRICIDAD EÓLICA

### INTERMITENCIA DE LA PRODUCCIÓN ELÉCTRICA EÓLICA

Dado que la potencia de un aerogenerador es proporcional al cubo de la velocidad del viento, la potencia que se entrega a la red es muy variable, como lo ilustra la siguiente gráfica, y

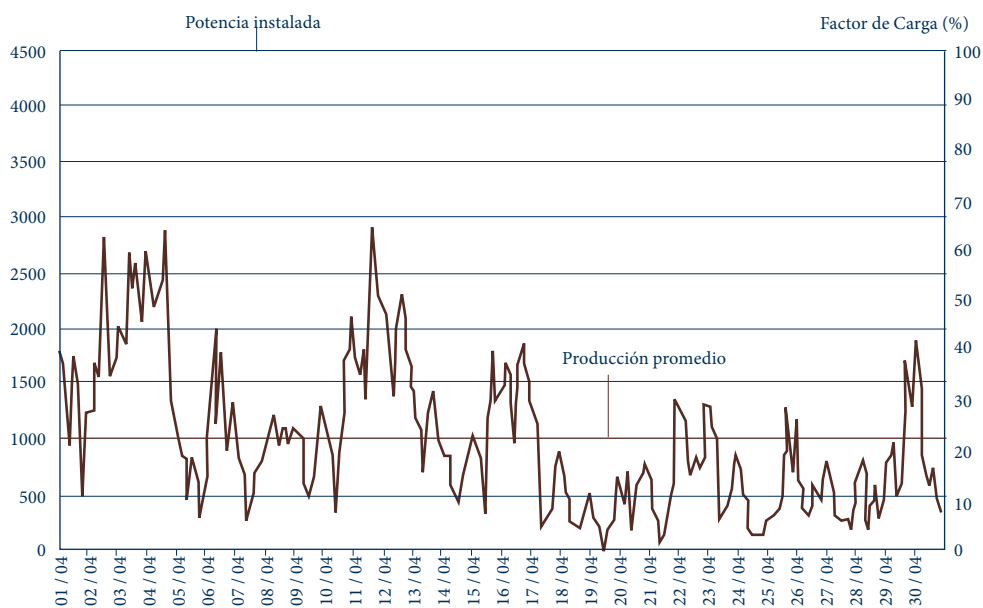
la sincronización con una red eléctrica puede ser problemática. En efecto, teniendo en cuenta que la electricidad no es almacenable, se debe respetar a cada instante el equilibrio entre la producción y el consumo. Por lo tanto, es necesario disponer, además de los aerogeneradores, de medios de producción complementarios que estén listos para intervenir y corregir, en más o en menos, las diferencias de potencia.

## COSTO ACTUAL DE LA ENERGÍA EÓLICA

Aunque el recurso (el viento) es gratuito, el costo de la energía eólica es muy elevado: cuando ingresa a la red, la eólica reemplaza por lo general a la nuclear, permitiendo así economizar su combustible (5 a 6 euros por MWh), mientras que su precio de venta a EDF

(Électricité de France) es de 82 euros el MWh por la eólica terrestre y de 130 euros el MWh por la eólica marina. El rendimiento de la inversión, teniendo en cuenta el bajo factor de carga, resulta problemático, máxime cuando la variabilidad que observamos en la siguiente gráfica conduce a prever otras inversiones que también habrá que amortizar. C.A., P.B.

Variación de la potencia eólica en Francia durante el mes de abril de 2010 (en MW)



Lectura: se observa que la potencia varía de 0 a 2,5 veces la potencia promedio, y de 0 a 0,5 veces la potencia instalada; se observa igualmente que hay saltos de potencia de la mitad de la potencia instantánea.

Fuente: RTE (Red de transporte de electricidad). *Aperçu sur l'énergie électrique*, abril de 2010.

### Costos de inversión y costos totales para la producción de electricidad

Costos de inversión de los principales medios para producir electricidad (en miles de millones de euros por GW)

	Costo 2010	Costo 2050	Costo promedio	Comentario
Energía nuclear (EPR)		2,5		Sobre la base de 5 mil millones de euros para Flamanville 3, con un efecto de aprendizaje análogo al observado en los reactores de 900 y 1.300 MW.
Energía fósil con CAC	-	2,5	2,5	Sobre la base de 2 mil millones de euros el GW en promedio para centrales de carbón y de ciclo combinado de gas sin CAC, más un 25% por la CAC.
Energía eólica terrestre	1,5	1,35	1,4	El costo de los aerogeneradores terrestres prácticamente no disminuye; sin embargo, se admitió una ligera disminución de 10% en el período, teniendo en cuenta un incremento de 50% a 100% del parque eólico terrestre europeo.
Energía eólica marina	3,3	2,65	3	Se admitió una disminución del costo en un 20%, teniendo en cuenta el fuerte incremento del parque eólico pero, al mismo tiempo, considerando la necesidad de ir hacia sitios más profundos, incluso de desarrollar aerogeneradores flotantes.
Energía solar fotovoltaica	5	2 a 3	3,5	Se aplica la "ley de Moore", según la cual la inversión disminuye un 15% y las cantidades instaladas en Europa se duplican.



## COSTOS POR MWH

### • ENERGÍA NUCLEAR EPR DE SERIE

Se hace una estimación del costo de la electricidad producida por un EPR (*Evolutionary Power Reactor*) de serie mediante la aplicación de la metodología DGMEP-DIDEME (DIDEME, 2003). Con una tasa de actualización<sup>23</sup> de 8%, se obtiene un costo cercano a los 40 euros (2010) por MWh, el cual se distribuye según la gráfica de la página siguiente. Los gastos de inversión cubren los suministros, la construcción y los intereses intercalares, así como las provisiones para desmantelamiento. Los costos de operación cubren los costos fijos y proporcionales (incluidos los impuestos locales, los gastos de I&D de EDF y los gastos de administración y dirección). Los gastos de combustible cubren la totalidad del ciclo, incluidas las provisiones para el almacenamiento de los residuos. Las externalidades cubren esencialmente la I&D financiada por el Estado, los accidentes laborales, los efectos potenciales de las emisiones radioactivas sobre la salud y las consecuencias de un accidente grave de muy baja probabilidad.

Teniendo en cuenta lo elevado de la inversión (60%), el costo de la electricidad es muy sensible a las condiciones financieras: con una tasa de actualización de 5% (la que recomienda la dirección general de planeación para arbitrar entre las inversiones públicas), el costo cae a 30 euros (2010) por MWh; con una tasa de 11% (correspondiente a una financiación privada con capital riesgo), el costo sube a cerca de 50 euros (2010) por MWh.

De conformidad con las recomendaciones del Tribunal de Cuentas (París: Tribunal de Cuentas, 2005) (y de acuerdo con las prácticas con-

tables de EDF) (2010), los gastos a muy largo plazo (de 50 a 100 años) se actualizan al 3%.

De los 5,5 euros por MWh del combustible, 1,3 euros corresponden al uranio natural pagado a 50 dólares estadounidenses (34,5 euros) el kilogramo (de  $U_3O_8$ ). Así el precio del uranio se duplicara, este incremento tendría poco efecto sobre el costo del MWh.

### • ENERGÍAS FÓSILES

En orden de magnitud, se puede estimar que la electricidad producida sin CAC (captura y almacenamiento de  $CO_2$ ), con un carbón a 3 euros el gigajulio (GJ), tendría un precio de costo cercano a los 55 euros el MWh, y mediante un gas a 5 euros el GJ en ciclo combinado, cercano a los 45 euros el MWh; así, el costo promedio sería de 50 euros el MWh. Para tener en cuenta la CAC, esta cifra se incrementa en un 25%, lo que da un poco más de 60 euros por MWh.

### • ENERGÍAS RENOVABLES

Planteamos un costo anual (amortización de la inversión, costo de operación) equivalente al 10% de la inversión, lo que da como resultado:

- Para la energía eólica terrestre, con una producción anual de 2.200 hepp (horas equivalentes a plena potencia): 64 euros por MWh.
- Para la energía eólica marina, con una producción anual de 3.500 hepp: 85 euros por MWh<sup>24</sup>.
- Para la energía solar fotovoltaica, con una producción anual de 1.000 hepp: 350 euros por MWh.

23 La actualización consiste en transformar un valor futuro en un valor actual, lo cual permite comparar valores que, por producirse en fechas diferentes, no son directamente comparables (*NdIR*).

24 Obsérvese que este costo es muy inferior a la tarifa de compra impuesta a EDF, la cual, por cierto, ha sido considerada insuficiente por los industriales.



- Para un parque eólico semi-terrestre, semi-marino, se plantea un costo de 75 euros por MWh.

mil millones de euros cuando las energías renovables intermitentes suministran el 40% de la producción (Acket, Bacher, 2011). Francia podría contribuir con una sexta parte de esta suma, es decir, 30 mil millones de euros.

## COSTO DE UNA SUPERRED EUROPEA

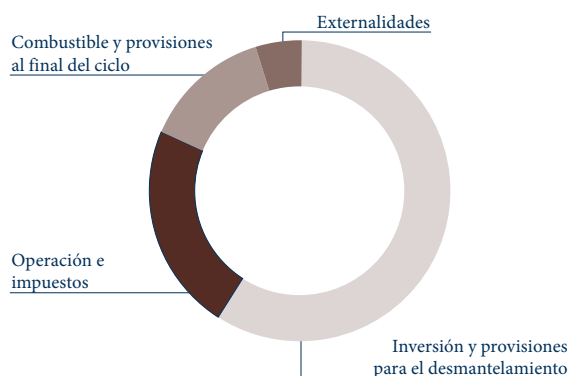
El estudio de la ECF (2010) y el estudio alemán (Ministerio Federal de Economía y Tecnología, 2010) concluyen que para hacer frente a la intermitencia y a las reparticiones geográficas de la energía eólica y de la energía solar hay que multiplicar las turbinas de combustión para satisfacer las necesidades locales de la red y que, además, se debe razonar a nivel europeo (energías eólica y solar en España, eólica e hidráulica sobre todo en Europa del Norte) y, para ello, construir una superred (muy probablemente enterrada y con corriente continua).

El costo de las turbinas de combustión y de esta superred fue evaluado en cerca de 180

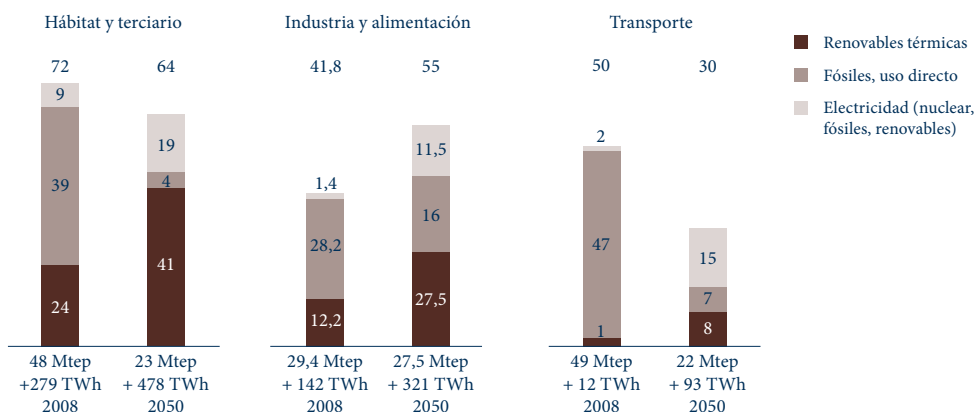
## COMPARACIÓN DEL COSTO DE DOS ESCENARIOS PARA FRANCIA

Si en el escenario Negatep se reemplazaran 400 TWh nucleares (a 40 millones de euros el TWh) por 300 TWh eólicos (a 75 millones de euros el TWh) y 100 TWh de energía solar fotovoltaica (a 350 millones de euros el TWh), el sobrecosto sería de aproximadamente 40 mil millones de euros por año, los cuales se suman a los 30 mil millones de euros mencionados en el párrafo anterior.

Repartición del costo de la electricidad producida por un EPR, con una tasa de actualización de 8%



Gráfica 2. Resumen de los consumos finales según el escenario Negatep (en Mtep)



Cuadro 2. Balance global de las energías finales según el escenario Negatep (en Mtep)

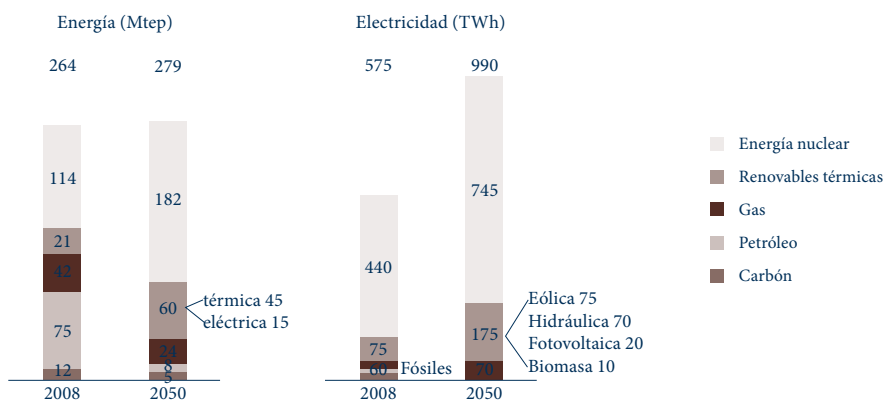
	Combustibles fósiles			Electricidad			Renovables térmicas		
	2008	Ref.	Neg.	2008	Ref.	Neg.	2008	Ref.	Neg.
Residencial y terciario	39	35	4	24	44	41	9	11	19
Industria y agroalimentario	28,2	33	16	12,2	18	27,5*	1,4	4	11,5*
Transportes	47	70	7	1	2,3	8	2	7	15**
Total	114,2	138	27	37,2	64,3	76,5	12,4	22	45,5

N.B.: Ref. = escenario de referencia; Neg. = escenario Negatep.

\* De esta cifra, 7,5 Mtep corresponden a biomasa y 7,5 Mtep a electricidad utilizadas como fuentes de energía para la síntesis del biocombustible.

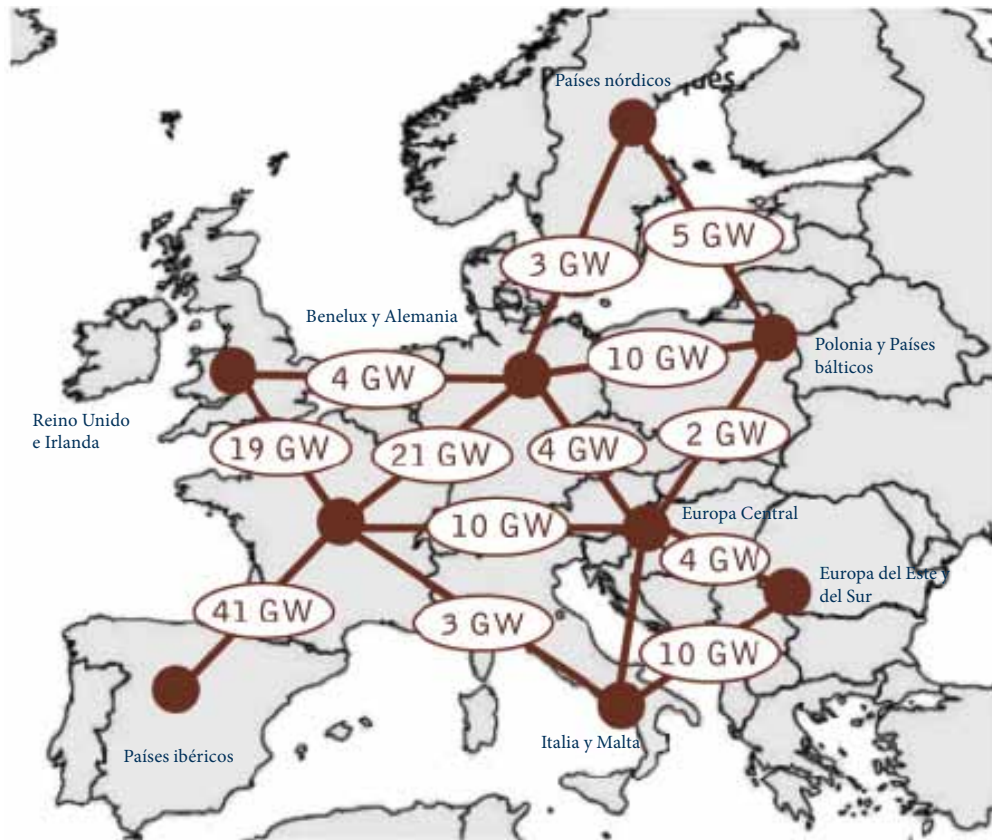
\*\* Biocombustibles.

Gráfica 3. Planteamiento del escenario Negatep a nivel del total de energía primaria (en Mtep) y del vector de electricidad\* (en TWh)



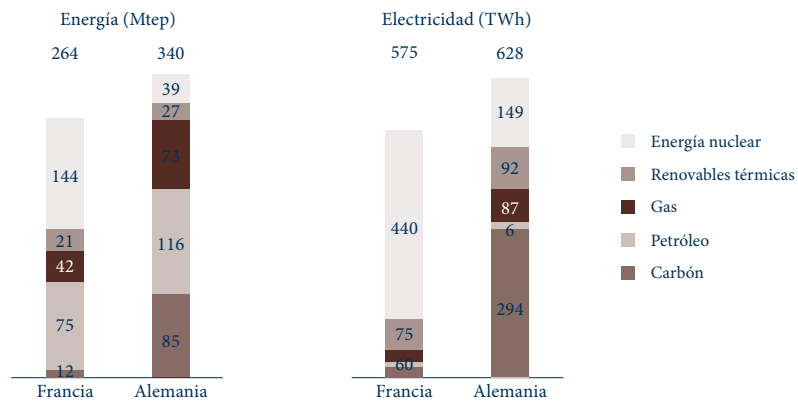
\* Los 745 TWh de energía nuclear corresponden a 193 Mtep de energía primaria, y los 175 TWh de energías renovables, a 15 Mtep.

Mapa 1. La superred europea

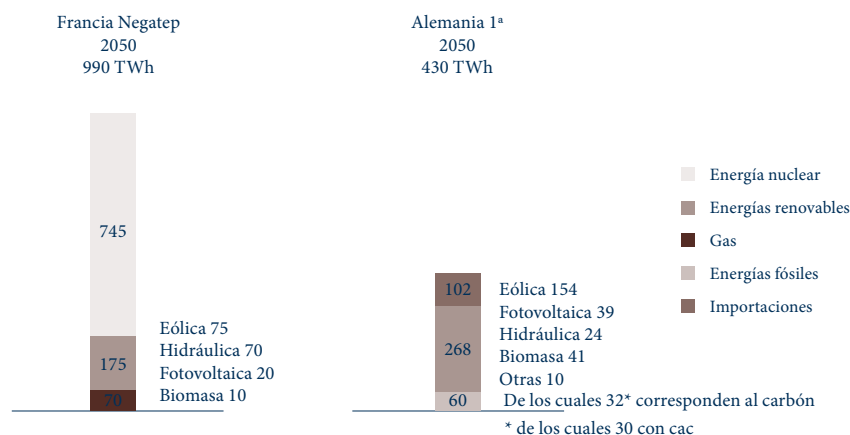


Fuente: ECF.

Gráfica 4. Energías primarias (brutas en la producción) en Mtep, y eléctricas en TWh, en Francia y en Alemania en el 2008



Gráfica 5. Francia (escenario Negatep) y Alemania 2050: un enfoque totalmente diferente de la producción eléctrica (en TWh)



## BIBLIOGRAFÍA

Acket, Claude; Bacher, Pierre (2010). «Diviser par quatre les rejets de CO<sub>2</sub> dus à l'énergie: le scénario Negatep», en *Revue de l'énergie*, vol. 61, n°596, julio-agosto de 2010, pp. 244-252.

Acket, Claude; Bacher, Pierre (2010a). *Prévisions futur énergétique de l'Allemagne. Comparaison avec France Negatep*. Vizille: Sauvons le climat. Disponible en: [www.sauvonsleclimat.org](http://www.sauvonsleclimat.org).

Acket, Claude; Bacher, Pierre (2011). *Suggestions / contributions pour la refonte de la politique énergétique européenne*. Vizille: Sauvons le climat, enero de 2011. Disponible en: [www.sauvonsleclimat.org/images/articles/pdf\\_files/ecf%20et%20ngatep%20-%202011.pdf](http://www.sauvonsleclimat.org/images/articles/pdf_files/ecf%20et%20ngatep%20-%202011.pdf).

Bacher, Pierre (2008). «Prix du pétrole équivalent, prix du gaz équivalent et coût du CO<sub>2</sub> évité», en *Revue de l'énergie*, n°582, marzo-abril 2008.

Bataille, Christian; Birraux, Claude (2009). *La Performance énergétique des bâtiments: comment moduler la règle pour mieux atteindre les objectifs?* París: OPECST (Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques), diciembre de 2009.

DGEMP-OE (2008). *Scénario énergétique de référence DGEMP-OE 200*. París: DGEMP-OE.

DIDEME (Dirección de la demanda y de los mercados energéticos) (2003). *Coûts de référence de la production électrique*. París: DGEMP (Dirección general de la energía y las materias primas), diciembre de 2003.

ECF (European Climate Foundation) (2010). *Roadmap 2050: A Practical Guide to a Prosperous, Low-carbon Europe*. La Haya: ECF, 2010. Disponible en: [www.roadmap2050.org](http://www.roadmap2050.org).

Grupo EDF (2010). *Document de référence 2009*. París: EDF, abril de 2010.

Ministerio Federal de Economía y Tecnología (2010). *Energieszenarien für ein Energiekonzept der Bundesregierung*. Berlín: Proyecto n.º 12/10 del Ministerio Federal de Economía y Tecnología, agosto de 2010.

Orselli, Jean (2008). *Économies et substitutions d'énergie dans les bâtiments*. París: Conseil général des ponts et chaussées (2008). Informe n.º 004831-01, febrero de 2008.

París: Tribunal de Cuentas (*Cour des Comptes*) (2005). *Le Démantèlement des installations nucléaires et la gestion des déchets radioactifs*, síntesis del informe público, enero de 2005.