



JESÚS M. LINARES
VP DE ECONOMÍA
CIRCULAR Y
SOSTENIBILIDAD DE ICLF

INFORME LINARES

CAMBIO CLIMÁTICO Y ENERGÍAS RENOVABLES HACIA UNA ECONOMÍA CARBON FREE



*A mi hija Inmaculada,
la parte más importante del resto de mi vida..*

Índice

PRÓLOGO.....	5
CAPÍTULO 1	UN CLIMA QUE CAMBIA.....7
1.1 INTRODUCCIÓN.....	9
1.2 EL PLANETA AZUL.....	11
1.3 FORZAMIENTOS.....	13
1.4 UN CÍRCULO VICIOSO	15
1.5 “COMO UN ELEFANTE EN UNA CACHARRERÍA”	21
1.6 HECHOS	33
1.7 PREVISIONES.....	36
1.8 CONCLUSIÓN.....	41
CAPÍTULO 2	6 RAZONES PARA UN CAMBIO43
2.1 INTRODUCCIÓN.....	45
2.2 EL MOTOR DEL MUNDO.....	46
2.3 SEIS RAZONES.....	47
CAPÍTULO 3	ESCENARIOS PARA EL CAMBIO53
3.1 INTRODUCCIÓN.....	55
3.2 SE ABRE EL TELÓN	56
3.3 “MAKING A1T”	61
3.4 RENOVABLES EN ACCIÓN.....	64
3.5 RENOVANDO EL MIX ENERGÉTICO.....	74
3.6 H ₂ OPE	89
3.7 CONCLUSIÓN.....	93
CAPÍTULO 4	¿PERO ESTAMOS CAMBIANDO?.....95
4.1 INTRODUCCIÓN.....	97
4.2 CUESTIÓN DE PROTOCOLO.....	98
4.3 HOPENHAGUEN.....	101
4.4 PARIS BIEN VALE UNA MISA	102
4.5 Y EN ESTO LLEGO TRUMP	106
4.6 ¿UTOPIA O REALIDAD?.....	107
4.7 EL CICLO DE LA INDECISIÓN.....	122
4.8 CRISIS CLIMÁTICA VERSUS CRISIS ECONÓMICA	124
4.9 CONCLUSIÓN.....	125

CAPÍTULO 5	MI CAMBIO	127
5.1 INTRODUCCIÓN.....		129
5.2 HOMO TECNOLOGICUS		130
5.3 HOMO A SECAS.....		131
5.4 MI PEQUEÑO GRANITO DE ARENA		140
5.5 CONCLUSIONES.....		142
EPÍLOGO		145
GLOSARIO DE TÉRMINOS		149
PÁGINAS WEB RECOMENDADAS		155

Prólogo

“Ojala vivas en tiempos interesantes”.
Antigua maldición china.

Estamos viviendo realmente en tiempos interesantes. En los últimos años hemos asistido a cambios profundos en numerosos aspectos de la sociedad que se consideraban inmutables. Por ejemplo, mi padre nació en Chiclana, un pueblo de la costa gaditana. El decía que tiene 2.000 años, pues de niño vio trabajar los campos con un mulo y un arado romano, de joven vio al hombre pisar la luna, y “un poco después” ha visto a una persona de color presidir la Casa Blanca. 20 siglos han pasado frente a sus ojos. Para nosotros sin embargo el tiempo pasa más rápido. El cambio es el verdadero signo de nuestros tiempos. Somos mucho más diferentes a nuestros padres de lo que ellos fueron a los suyos; y nadie se atrevería a vaticinar como serán nuestros hijos. A diferencia de nuestros padres, hemos desarrollado una dependencia compulsiva a la tecnología. Por ejemplo, ahora seríamos incapaces de vivir sin teléfonos móviles, una tecnología que vimos nacer hace unos 25 años. Somos ahora “homo technologicus”. Es la esfera tecnológica la que define al hombre, su forma de relacionarse con los demás... y con el medio.

El boom tecnológico ocurrido desde la 1ª Revolución Industrial nos ha permitido “conquistar el planeta y someter a la naturaleza”. Ahora la naturaleza nos pasa factura por ello. Una de las facturas más caras y urgentes es el cambio climático. Como veremos a lo largo de este libro, el hombre ha entrado en el sistema climático con la misma delicadeza que “un elefante en una cacharrería”.

Este libro trata de dar repuestas a muchas preguntas que seguro te has formulado ¿En que voy a notar el cambio climático? ¿Cómo me afecta? ¿Está realmente causado por el hombre? ¿Y si responde a un fenómeno natural? ¿Tienen dudas los científicos sobre ello? ¿Por qué hay que actuar ahora y no dejar a nuestros descendientes que lo resuelvan ellos? ¿Qué pasará si no hacemos nada al respecto? ¿Son las energías renovables la respuesta al problema? ¿Cómo puedo contribuir yo como individuo a luchar contra el cambio climático? ¿Cómo será una vida carbon free?

Dicen que las preguntas unen y las respuestas separan. No obstante, si decides correr este riesgo ¡adelante!: este libro será tu aliado para ayudarte a encontrar tus propias respuestas. Ahora acuérdate: ¡de cada respuesta nacen cien nuevas preguntas! Espero poder, en alguna medida, calmar tu sed de las primeras y avivar tu curiosidad por las segundas.

Para ello daremos voz a la ciencia y la palabra a la conciencia. Y es que el asunto tiene mucho que ver con nosotros. Durante el libro usaremos a España como ejemplo, pues es uno de los países más afectados de Europa por el cambio climático. Por otro lado, como veremos en este libro, España es uno de los países más beneficiados por una parte esencial de su solución: la revolución de las energías renovables. Tenemos ante nosotros un reto colosal: cambiar nuestra economía fósil a una economía solar. Es decir, cambiar el modelo de economía actual basado en fuentes energéticas fósiles a una economía solar, basada en fuentes energéticas renovables. Esta transición supone una auténtica revolución

que cambiará, no sólo el modelo energético, sino también, como un calcetín, nuestra economía, nuestra sociología, y desde luego, nuestra relación con el medio.

Estamos por tanto en los albores de la IV Revolución Industrial, revolución que como las anteriores, transformarán al planeta. Necesariamente esta nueva revolución irá mucho más allá. La población del planeta no se estabilizará hasta los 9.000-11.000 millones de personas en la segunda mitad del siglo; y si todos consumen a nuestro ritmo actual necesitaremos de 2 a 4 planetas tierra para sustentarlo. Parece que por el momento sólo disponemos de uno. Realmente vivimos en tiempos interesantes.

Seguir haciendo más de lo mismo no es por tanto una opción sostenible. Muchas de las curvas de agotamiento de numerosos recursos naturales se cortan en torno al 2.050. Esta es una fecha emblemática para la saturación de nuestros modelos geopolíticos, económicos y energéticos basados en el paradigma centralizado de la economía fósil. No queda mucho tiempo para actuar. Usando el dicho de Winston Churchill, hemos pasado de una época de advertencias a una época de consecuencias. Tenemos ante nosotros el reto imperativo de cambiar las cosas. Nuestra generación se encuentra ante una gran responsabilidad histórica. Es **la generación bisagra**: la generación que debe protagonizar dicho cambio.

Es por tanto urgente, oportuno y necesario un debate social sobre el problema y los distintos escenarios posibles que plantea su solución. El objetivo principal de este libro es estimular este debate presentando, desde el rigor científico, una visión de conjunto del problema.

Para ello, empezaremos en la primera parte del libro analizando el problema: el cambio climático (capítulo uno) y la crisis del modelo energético (capítulo dos). Posteriormente pasaremos de un lenguaje de problemas a un lenguaje de soluciones. Si en la primera parte hablamos de las distintas fuentes de insostenibilidad del actual modelo energético en la segunda parte hablaremos de en que consiste el nuevo modelo de **economía solar** que puede solucionarlas. Describiremos diversos escenarios propuestos por Naciones Unidas para la lucha contra el cambio climático en el capítulo tres. Hablaremos también del estado del arte en el capítulo cuatro para ver si realmente estamos haciendo la tarea. Por último, dedicaremos la tercera parte del libro a hablar de lo que nosotros, a título individual, podemos hacer para luchar en la medida de nuestras posibilidades contra el calentamiento global. Terminaremos pues hablando de **sociología** en el capítulo cinco para intentar entender nuestra reacción al problema (o la falta de ella). Este libro se desenvuelve por tanto en este triángulo descriptivo, entre la alerta y la precaución, entre la acción y la reacción, entre la ciencia y la conciencia. Espero que entre los vértices de este triángulo puedas encontrar un lugar desde donde comprender la nueva situación de la relación entre el hombre y la tierra.

Jesús M. Linares
2019

“El futuro ya no es lo que era”
Paul Valery

Capítulo 1

Un clima que cambia

Este capítulo esta dedicado a mi hijo Jesús,

Para que encuentres en tu juventud un lugar común entre ética y estética, entre la elegancia y el deseo. Para que comprendas, en este momento de decisiones, que el futuro nace de tus manos. Para que entiendas que en este preciso momento tienes la libertad y la dignidad de elegir; el derecho irrenunciable a equivocarte. Pues tomando decisiones nos hacemos a nosotros mismos. En este sentido, "somos lo que decidimos". Ojalá puedas encontrarte reflejado en estas notas como si de un espejo se tratara. No olvides que es la ética, verdadero "ars vivendi", el desesperado intento del hombre de buscar su propia dignidad en el bien ajeno. Suerte en esta grandiosa empresa, que espero te conduzca hacia el corazón del hombre.

1.1 Introducción

El cambio climático es el principal desafío al que se tendrá que enfrentar la humanidad en el transcurso del siglo XXI. Para visualizar sus consecuencias, hagamos un viaje en el tiempo: viajemos al futuro a visitar a nuestros nietos. Situémonos en el año 2.080 para encontrarnos con una imagen desértica. Lo que tendría que ocurrir en una escala de cientos o miles de años puede ocurrir en el transcurso de una vida humana.

Por citar un ejemplo, Andalucía estará entre las regiones más afectadas de Europa por el cambio climático. Tendremos un 80% de su territorio desertizado y un Guadalquivir que perderá el 60% de su caudal en algunos tramos. Aparecerán nuevas infecciones y enfermedades propias de países subdesarrollados como el dengue. El 70% de la población padecerá algún tipo de reacción alérgica. Por si fuera poco, la zona de Andalucía atlántica estará condenada a inundaciones, riadas y lluvias torrenciales.

Este no es ningún programa de ciencia ficción, sino un estudio de la **Agencia Europea del Medio Ambiente (AEMA)**¹ para el año 2.080. De hecho, para algunas de sus predicciones no hará falta esperar 80 años. Por ejemplo ya se ha encontrado el mosquito que propaga el dengue en nuestro país. De hecho, según recoge la revista *Nature*, sabemos que existen al menos 279 especies que se están desplazando su hábitat en dirección a los polos respondiendo al calentamiento global.

El informe de la **AEMA** está basado en el tercer informe (**TAR**²) del Grupo Intergubernamental de Expertos para el Cambio Climático (**IPCC** por sus siglas en inglés) publicado en el 2001. Este estudio se ha actualizado recientemente en el cuarto informe (**AR4**³) presentado en París el 2 de Febrero del 2007⁴. El **IPCC** ha concluido en este informe que la temperatura de la superficie del planeta ha subido unos **0.74 °C**⁵ en el último siglo. Por si fuera poco, el **IPCC** prevé un incremento de temperaturas medio entre **1.8 y 4°C**⁶ en los próximos 100 años. Si no hacemos nada, los efectos de este calentamiento, incluso para el caso más favorable, pueden llegar a ser dramáticos.

El **IPCC** fue creado en 1.988 por la Organización de Mundial de Meteorólogos (**OMM**⁷) y el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (**PNUMA**⁸). Desde 1.990 el

¹ La gráfica de la Figura 1 proviene de una reseña de este estudio publicado en “El Mundo” el tres de Octubre del 2004.

² Third Assesement Report.

³ Fourth Assesement Report.

⁴ Los informes de los tres grupos de trabajo son: “Las bases científicas” (Febrero 2.007), “Impactos, adaptación y vulnerabilidad” (Abril de 2.007), y “Mitigación del cambio climático” (Mayo de 2.007). El documento de síntesis fue presentado en Valencia en Noviembre del 2.007.

⁵ Durante el periodo 1906-2005. Este valor esta dentro del margen de 0.6 ± 0.2 °C calculados por el TAR para el periodo 1901-2000. .

⁶ Como extremos de las distintas temperaturas más probables de los distintos escenarios. Estas temperaturas a su vez se mueven en el rango 1.1°C a 6.4°C. En el TAR este intervalos era de entre 1.4 y 5.8°C.

⁷ **WMO** en inglés.

IPCC ha elaborado una serie de informes que se han convertido en referencias del sector. El **IPCC** está formado por cientos de científicos y meteorólogos de numerosos países y de reconocido prestigio en sus especialidades respectivas. De hecho, para el **AR4** han contribuido unos 2.500 científicos de 130 países. Basan sus estudios partiendo de datos aparecidos en las revistas científicas especializadas más importantes. El **IPCC** es un organismo neutro y extraordinariamente riguroso, como no podía ser menos dada la importancia de su cometido. Los informes del **IPCC** centran el debate sobre el cambio climático, y fundamentan de la mayoría de las políticas públicas sobre el mismo. Según Michael Farraud, director general de la **OMM**, el **AR4** es “*la evaluación más completa y rigurosa que jamás ha sido hecha sobre el cambio climático*”. El **AR4** parte del **TAR** y le incorpora los últimos descubrimientos científicos sobre el clima de los últimos 6 años⁹. Deja firmemente establecido desde el punto de vista científico que el hombre es el responsable principal del calentamiento global registrado en los últimos 50 años. Este capítulo está dedicado a explicar la rotundidad de estas declaraciones; nos centraremos en las conclusiones de ambos informes y las posibles implicaciones para nosotros, los españoles.

Todos estamos preocupados por el cambio climático. La opinión pública está empezando a ser consciente de sus efectos. Las catástrofes meteorológicas y de forma más cercana, la ola de calor que causó 35.000 muertos en Europa en el verano del 2.003 contribuyeron a crear una preocupación creciente por los efectos del cambio climático en nuestra calidad de vida. Por otro lado, empezamos a escuchar las posibles consecuencias de aumento del nivel del mar producido por el deshielo de los casquetes polares. Si los hielos de Groenlandia desaparecen el nivel del mar subirá más de 6 metros causando inundaciones por todo el planeta y miles de millones de personas afectadas.

El cambio climático es por tanto uno de los temas de la mayor relevancia y actualidad. Pero ¿hasta que punto están contrastadas científicamente estas noticias? ¿Por qué es tan difícil establecer conclusiones científicas sobre el clima? ¿Cómo se puede concluir con rotundidad que la actividad industrial del hombre ha inducido un cambio climático? ¿Cómo nos afecta?

Estas son las preguntas concretas que nos vamos a plantear a lo largo de este primer capítulo. Empezaremos por entender que es el clima y de que forma puede cambiar. Explicaremos primero el cambio climático natural debido a la propia dinámica interna del clima, para pasar luego a estudiar el cambio climático forzado por las actividades humanas.

⁸ **UNEP** en inglés.

⁹ Del cuarto informe sólo se han presentado el pasado 2 de Febrero las conclusiones del grupo de trabajo de la ciencia del cambio climático (WG1). El resto de informes se han publicado a lo largo del 2007 (WG2 el 6 de Abril y WG3 el 4 de Mayo).

1.2 El planeta azul

Para entender que es el cambio climático, antes debemos entender que es el clima. Para ello, debemos observar a la tierra desde fuera, desde el espacio. Cerremos los ojos y contemplemos a nuestro pequeño planeta azul desde la luna. Es más, imaginémonos que somos una inteligencia extraterrestre que viajando en su nave espacial se topa con el planeta tierra. Planteémonos que podría pensar este ser al que llamaremos Nonel-Nhoj y al que suponemos conocimientos básicos de física y química, así como de una avanzada mentalidad científica.

Antes que nada, Nonel-Nhoj se quedaría consternado por el bello color azul del planeta tierra que de hecho contrasta con el resto de planetas del sistema solar. Si existe algo parecido al “día galáctico de de San Valentín”, probablemente mire a los ojos de su compañera y haga algún comentario en este sentido. El color azul, es decir, la presencia de O₂ libre en un 21% en la composición química de la atmósfera¹⁰, le haría concluir¹¹ que existe **vida** en la tierra, pues sin la presencia de vida que reponga el O₂ este se habría agotado al recombinarse con el hierro de su superficie. De hecho, antes del comienzo de la vida hace 3.500 millones de años el color del cielo no era azul, sino rojizo. Nuestro viajero vuelve a mirar nuestro planeta y sonríe al comprobar que existe un inmenso¹² océano de agua líquida, fundamental para la vida, y que un 65% de la superficie del planeta esta cubierta por nubes que permiten cerrar el ciclo del agua y que ayudan a enfriar el planeta al reflejar los rayos solares¹³. Nonel-Nhoj queda sorprendido: la tierra es el único planeta del sistema solar donde el agua puede existir permanentemente en estado líquido en su superficie. El agua ha sido esencial para la vida en la tierra y para su clima, y ha formado un sistema de circulación y erosión único en el Sistema Solar. Nonel-Nhoj abre sus ojos al contemplar nuestra atmósfera y como protege la vida que alberga, reduciendo las diferencias de temperatura entre el día y la noche, absorbiendo parte de la radiación ultravioleta con su ozono, y actuando como escudo protector contra los meteoritos. Le debemos mucho a este pequeño, pero importante barniz¹⁴ de la tierra. Supongamos que nuestros viajantes espaciales tienen un buen equipo de paleoclimatología que permite obtener datos sobre las condiciones de la biosfera a lo largo de su historia. Nonel-Nhoj lo activa y queda impresionado al constatar que las condiciones de **temperatura, PH y de salinidad** de los mares han permanecido sin grandes cambios a través de los ciclos geológicos, a pesar que la radiación solar ha subido un 30% desde hace 3.500 millones de años que lleva la vida sobre nuestro planeta. Aunque el Sol es una estrella **tipo G**, muy estable, este aumenta su luminosidad a razón de un 10% cada 1.000 millones de años. Debido a este fenómeno, en la Tierra primitiva que sustentó el nacimiento de la vida, hace 3.800 millones de años, el brillo del Sol era tan sólo un 70% del actual. Sin embargo la temperatura global del planeta no ha sufrido grandes cambios que hubieran puesto en peligro a la vida ¿Cómo es posible?

¹⁰ El CO₂ está presente en un 0,035% y el Ozono en un 0,00116%.

¹¹ Si Nonel-Nhoj es capaz de construir naves espaciales asumimos que conoce también la física de la dispersión Rayleigh.

¹² Ocupa el 71% de la superficie terrestre.

¹³ Está demostrado que el efecto global de las nubes de capas bajas es refrigerante.

¹⁴ El 75% de la atmósfera está en los 11 primeros kilómetros. Comparado con el radio de la tierra de 6.378 km, este grosor es menor en términos relativos al de un fino barniz sobre una esfera de un metro de diámetro.

Para entenderlo volvamos a nuestras inteligencias espaciales. Nonel-Nhoj, al que por cierto suponemos ya con una licenciatura en Físicas, sabe que la biosfera es un sistema al que el **sol bombea** energía de forma continua, siendo esta redistribuida por corrientes oceánicas y atmosféricas. El **clima**, es decir, el conjunto de los valores promedio de las condiciones atmosféricas de la tierra, es parte de un sistema más amplio, un sistema complejo donde interaccionan entre sí la **física, la química y la biología** de forma no-lineal.

De este sistema complejo, surge una propiedad emergente, que llamaremos vida. Curiosamente, la propia vida tiene la capacidad de regular las condiciones del entorno a la que esta sometida: es decir, es un sistema **homeostático**. Este equilibrio dinámico está autorregulado por una serie de mecanismos de retroalimentación que todavía no conocemos con profundidad, pero que estamos empezando a atisbar. Normalmente, si a un sistema en equilibrio dinámico se le somete a **perturbaciones** externas leves este recupera el equilibrio. Pero ¿qué pasa si las perturbaciones no son tan leves?, ¿si se supera un punto de no retorno, y la biosfera no puede recuperar su equilibrio inicial? En este caso el sistema evoluciona hacia un nuevo punto de equilibrio. Si este está suficientemente alejado del inicial, estas perturbaciones puede llegar a provocar una catástrofe, como por ejemplo **extinciones** masivas de especies.

1.3 Forzamientos

La capacidad de respuesta a la **perturbación** depende drásticamente del tiempo que le demos a la Biosfera a **adaptarse**. Parece ser que la vida es un sistema que se adapta muy bien a cambios graduales, como por el ejemplo, el aumento de la radiación solar que hemos comentado ocurrido desde hace 3.500 años. A la biosfera le da tiempo de activar mecanismos de compensación para disminuir el CO₂ y mantener la temperatura constante.

Existen otras perturbaciones externas más difíciles de asimilar, como el Meteorito que extinguió a los dinosaurios y el 75% de las especies del planeta hace 65 millones de años en el **jurásico**. No obstante, otras catástrofes terrestres pueden ser igual de letales como el meteorito. De hecho, se cree que la mayor extinción ocurrida en la historia del planeta, la del pérmico-triásico hace 250 millones de años, fue causada por el efecto invernadero producido por el CO₂ emitido por una intensa actividad volcánica en un periodo de 700.000 años. Esta extinción acabó con el 90-95% de la vida marina y el 70% de la vida terrestre.

Las extinciones es un fenómeno totalmente corriente en la naturaleza. De hecho, el **99.9%** de todas las especies que alguna vez aparecieron sobre la tierra se han extinguido. La extinción de una especie es siempre una buena noticia para alguien más. Sin la extinción del pérmico, los dinosaurios no habrían tenido una oportunidad. Igual nos hubiera ocurrido a los mamíferos sin la extinción del jurásico. No obstante, no nos gustaría que nosotros los humanos entráramos en esta estadística, y si ocurre, al menos que no haya sido por culpa de nuestra inconsciencia.

En conclusión, el cambio climático es la variación global del clima en la tierra. Actúa en escalas de tiempo muy diferente y puede ser debido a causas naturales o inducidas por el hombre. Veámoslas por separado.

- ▶ a) **Forzamiento natural**, es decir el debido a causas naturales. Estas pueden ser a su vez debidas a causas externas o internas.
 - Causas externas:
 - Variaciones solares. Cuya física ya ha sido comentada. Su contribución al calentamiento actual no es determinante. De hecho, según el **AR4**, el forzamiento radiativo debido a variaciones solares desde 1750 es menos de la mitad de lo estimado previamente en el **TAR**. Actualmente se estima en +0.12 W/m², mucho menor que los +2.3 W/m² asociado a los gases de efecto invernadero (**GEI**).
 - Variaciones orbitales: inducen oscilaciones de periodos glaciales e interglaciares. Estos periodos son de largo plazo (cientos de miles de años). Durante el último millón de años se han producido 8 ciclos glacial/interglacial. Por ejemplo, la última glaciación que acabó con el Pleistoceno duró de 80.000 a 10.000 años A.C. En su momento álgido, una parte importante del hemisferio norte quedó cubierta por gigantescas capas de hielo de 3 o 4 km de espesor. El deshielo consiguiente provocó una elevación del nivel del mar de 120 metros¹⁵.

¹⁵ Con tasas del orden de 1 cm/año en el periodo que va desde 15.000 años hasta hace 6.000, según el propio informe IPCC del 2001.

Esta tremenda subida provocó que Japón quedara separada de Asia, Inglaterra de Europa, y separó Asia de América cubriendo de agua el estrecho de Bering¹⁶. Hoy en día vivimos en un periodo interglacial llamado Holoceno, uno de los periodos templados más largos y estables, al menos hasta ahora.

- Meteoritos.
 - Causas internas:
 - Deriva continental: Sabemos que hace 200 millones de años los continentes estaban unidos en un único supercontinente, **Pangea**, que se disgregó debido a la tectónica de placas en los continentes que conocemos hoy en día. La deriva continental cambia la geografía de las grandes masas continentales y la de los océanos que las separan. Por tanto, afecta de manera fundamental en su propia escala de tiempos a las corrientes oceánicas y atmosféricas, y por consiguiente al clima.
 - Composición atmosférica: Inicialmente nuestra atmósfera era de H₂ y He, elementos muy ligeros que se volatilizan. La erupción de volcanes liberaron una gran cantidad de CO₂, creando una atmósfera de 2^a generación. Nuestra atmósfera actual es de 3^a generación, creada por plantas y bacterias fotosintéticas que absorben CO₂ y liberan O₂ en el que se basa el metabolismo de los organismos aeróbicos, por ejemplo el que está leyendo este libro.
 - Corrientes oceánicas. Debido a su importancia, estas serán analizadas en detalle más adelante.
 - El **campo magnético** de la tierra, pues este influye en la forma de que el viento solar llega a la superficie terrestre. El campo magnético no es invariable: cambia en el tiempo. En 3.6 millones de años ha habido 9 inversiones de la posición de los polos magnéticos. El proceso de inversión coincide en general con el inicio de un cambio climático. En el planeta tierra nada es estático. Todo evoluciona, es dinámico. Decía Blaise Pascal que “*antes se cansará el hombre de imaginar que la naturaleza de sorprendernos*”. Este es el caso de las brújulas que apuntarán al sur en la próxima inversión magnética.
- ▶ b) **Forzamiento antropogénicos**, es decir, al debido a los efectos de la actividad humana, por ejemplo en el calentamiento global producido por la emisión de gases de efecto invernadero (**GEI**) durante nuestra era industrial. Este cambio ocurre a una escala de tiempos muy breve en comparación con los ciclos naturales descritos anteriormente.

¹⁶ El puente de Bering estuvo “abierto” unos 19.000 años.

1.4 Un círculo vicioso

Una clave fundamental para entender la estabilidad del clima son los efectos de retroalimentación entre sus distintos subsistemas, es decir, como se relacionan y “alimentan” entre sí los distintos factores que influyen al clima. Esta retroalimentación puede ser positiva o negativa. Por ejemplo, consideremos la **criosfera**, es decir, el conjunto de la superficie terrestre cubierta por hielos o nieves. Al aumentar la temperatura la criosfera disminuye. Pero los blancos hielos reflejan la radiación solar enfriando su superficie. La reducción de la criosfera tiene el efecto de calentar aun más la superficie terrestre, y es por tanto un ejemplo de retroalimentación positiva. Esta amplifica la perturbación inicial como una reacción en cadena. Afortunadamente, existen otros elementos de retroalimentación negativa en el sistema que permiten estabilizar el sistema en un equilibrio dinámico. Como ejemplo básico de retroalimentación negativa tomemos las plantas verdes: el calentamiento global las favorece igual que la subida paulatina de la radiación solar. Al aumentar la biomasa de plantas verdes se reduce el CO₂ y por ende el efecto invernadero disminuye provocando que más radiación consiga escapar de la Tierra. Vemos que el CO₂ es fundamental para el sistema de vida actual en la tierra, actuando entre otras cosas como un mecanismo de control de la temperatura terrestre. En resumen, gracias al efecto intermediador de las plantas, un aumento de la radiación solar se puede compensar con un mayor escape de la misma, estabilizando el sistema. Ahora bien, estos mecanismos necesitan tiempo para actuar y funcionan bien frente a cambios graduales¹⁷, acordes con la propia escala temporal del sistema. El problema estriba cuando perturbamos significativamente el sistema en una escala temporal muy corta en comparación con la de la propia evolución natural del sistema de tal forma que a los mecanismos naturales no les da tiempo a estabilizarlo. Este hecho es precisamente el que caracteriza a los efectos antropogénicos sobre el clima: influimos demasiado y demasiado rápido.

Otro fenómeno no-lineal importante es el provocado por la saturación de la capacidad de los océanos para absorber el CO₂ de la atmósfera. Los océanos son un enorme sumidero de CO₂ atmosférico, que acaba convertido en carbonatos. No obstante, una vez llegado el punto de saturación, se produciría un aumento exponencial de la concentración en la atmósfera provocando una aceleración en el calentamiento global.

Por tanto, el clima se compone de muchos subsistemas de la biosfera: la atmósfera, océanos, criósfera y superficie terrestre, que a su vez son **sistemas acoplados** entre sí. Todos esos subsistemas interaccionan de forma compleja, como se muestra en la Figura 1.1. El clima “vive” en una telaraña de subsistemas que se interrelacionan entre sí, y que todavía no hemos terminado totalmente de comprender. Cada retroalimentación actúa con su propia escala temporal, que no tiene que coincidir con una escala humana.

¹⁷ Como por ejemplo el aumento constante de la radiación solar dado por el envejecimiento del sol que acaece a una escala de miles de millones de años.

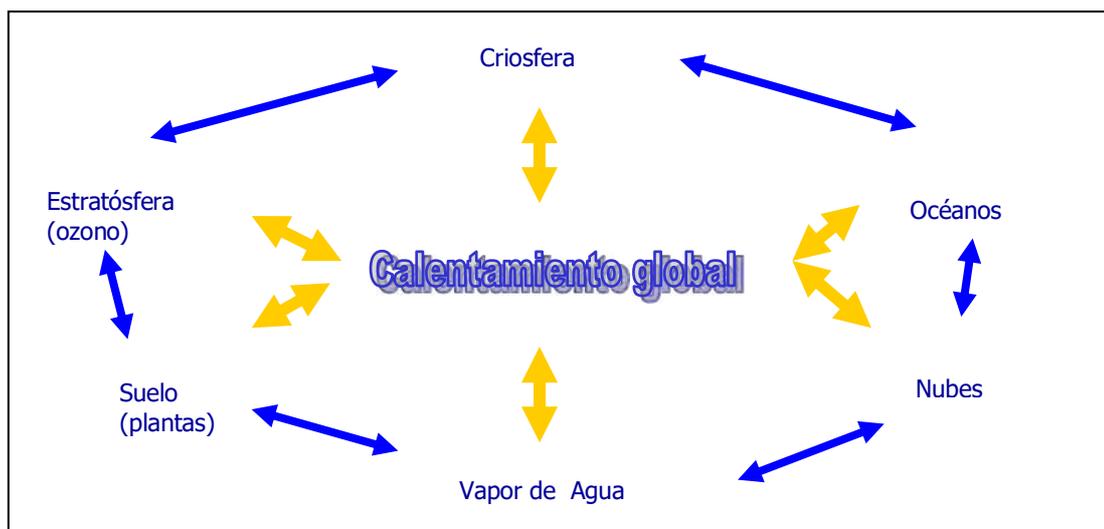


Figura 1.1: Ejemplo de varios subsistemas que influyen en el calentamiento global, interrelacionándose entre sí a través de distintas retroalimentaciones positivas y negativas.

1.4.1 Circulación termohalina

La **circulación termohalina** nos proporciona un ejemplo magnífico para ver como la influencia de todos estos efectos que afectan al clima están mezcladas entre sí y como los subsistemas de la biosfera: la atmósfera, océanos, criosfera y superficie terrestre son **sistemas acoplados**.

La circulación termohalina es un movimiento de convección que afecta de manera global al conjunto de las masas oceánicas. Esta circulación lleva calor desde las zonas tropicales a las polares, siendo un elemento esencial para entender el clima. Esta corriente de agua se calienta en el Pacífico y en el Índico, y en las latitudes tropicales del Atlántico, para finalmente hundirse en el Atlántico Norte, retornando en niveles más profundos. La convección se debe a diferencias de densidad que se originan por diferencias de temperatura y de salinidad. Un incremento de agua dulce en la superficie del Atlántico Norte causado por el calentamiento global puede debilitar o incluso colapsar esta corriente, que por cierto, es fundamental para proporcionar a España nuestro clima templado. Tal como vemos en la figura 1.2, España “da la cara” a esta corriente oceánica de agua templada, que curiosamente, a pesar de su importancia para nuestra península, pocos de nosotros hemos oído comentar. De hecho, sin el aporte de calor de la corriente del golfo, España¹⁸ pasaría a tener un clima parecido al de Canadá.

Según los modelos manejados por el IPCC, la circulación termohalina podría desaparecer por completo en cualquiera de los dos hemisferios si el ritmo de variación del forzamiento radiativo es lo suficientemente alto y se aplica durante el tiempo suficiente.

¹⁸ Recordemos que Cádiz esta a 36° de latitud norte, mientras que Nueva York, al igual que Madrid, está tan solo a 40°.

Hay que tener en cuenta que según el **AR4** el océano ha estado absorbiendo más del 80% del calor añadido al sistema climático. Los modelos también indican que cuando la circulación termohalina disminuye, también se reduce su capacidad de recuperarse ante una perturbación. En el **AR4** se confirma que la velocidad de esta circulación en el Atlántico Norte disminuirá a lo largo del siglo XXI. Por ejemplo, el escenario **A1B**, que luego explicaremos, predice una reducción del 25% (dentro de un rango 0-50%). No obstante, no se dispone de suficiente evidencia para determinar si ha existido una tendencia neta de reducción en este sentido durante el siglo XX. Aunque parece improbable no es descartable que se produzca una transición abrupta de esta circulación en el siglo XXI. Esta posibilidad es un ejemplo evidente de los peligros inherentes a la propia no-linealidad de la dinámica climática. Esto hace que debemos ser especialmente **precavidos** con nuestra acción sobre el clima. Tan sólo tenemos una casa y debemos aprender a cuidarla.

Para ilustrar la interdependencia de todos los ciclos que influyen en el clima, podemos citar el reciente estudio sobre la extinción masiva del pérmico comentada anteriormente elaborada por científicos de **NCAR** (National Center for Atmospheric Research) de Estados Unidos. Este estudio muestra como “una subida de la temperatura puede afectar las circulación marina, cortando el flujo de oxígeno a sus profundidades, y extinguiendo la mayoría de la vida”. Aguas estratificadas con poco oxígeno son letales para la vida marina, lo que acelera aun más el calentamiento, pues las especies marinas remueven el CO₂ de la atmósfera.

Vemos que el clima es en sí un sistema complejo compuesto por diferentes elementos conectados ente sí de manera **no-lineal** con todo tipo de retroalimentaciones positivas y negativas.

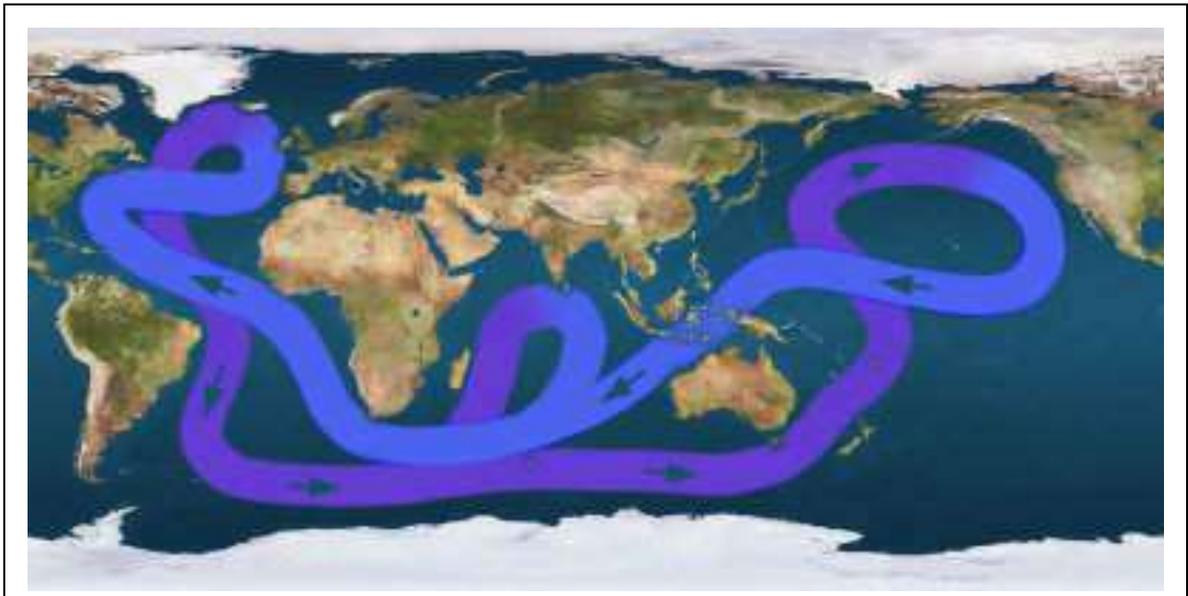


Figura 1.2. Circulación global termohalina. Gráfico: Wikimedia Commons.

1.4.2 El niño

El clima es un sistema fascinante con multitud de distintas escalas temporales acopladas. Como hemos visto, algunas son astronómicamente altas (miles de millones de años). Otras sin embargo pueden ser muy cortas. La fluctuación natural más intensa del clima a escala temporal interanual es el fenómeno de El Niño/Oscilación Austral (ENOA). El término “El Niño” se aplicaba originalmente a una débil corriente oceánica que todos los años, cerca de las Navidades, pasaba a lo largo de la costa del Perú en dirección al sur. El ENOA es un fenómeno natural que ha venido ocurriendo de forma regular desde hace milenios¹⁹ y se repite cada 3-5 años. El Niño lleva calor y fuertes lluvias hacia la zona del Ecuador. El Niño tiene también su contrapartida; la Niña, que alternándose con el primero hace lo contrario en la zona occidental del Pacífico. La Niña está asociada a aguas frías en la superficie del océano, provocando temporadas más secas y más frescas de lo normal. De hecho, en Noviembre del 2007 una Niña en pleno apogeo apareció de nuevo de un extremo a otro del Pacífico ecuatorial. Los expertos pronostican que durará hasta bien entrado el 2.008.

Aunque estos fenómenos son propios del océano Pacífico, llegan a modificar los patrones climáticos hasta el punto de afectar el clima europeo, o la amazonia. Son por tanto una clara muestra del carácter global del sistema climático. Si bien los episodios más intensos del Niño tuvieron lugar en 1997 y 1982, no está demostrado que estén relacionados directamente con el efecto del hombre sobre el cambio climático.

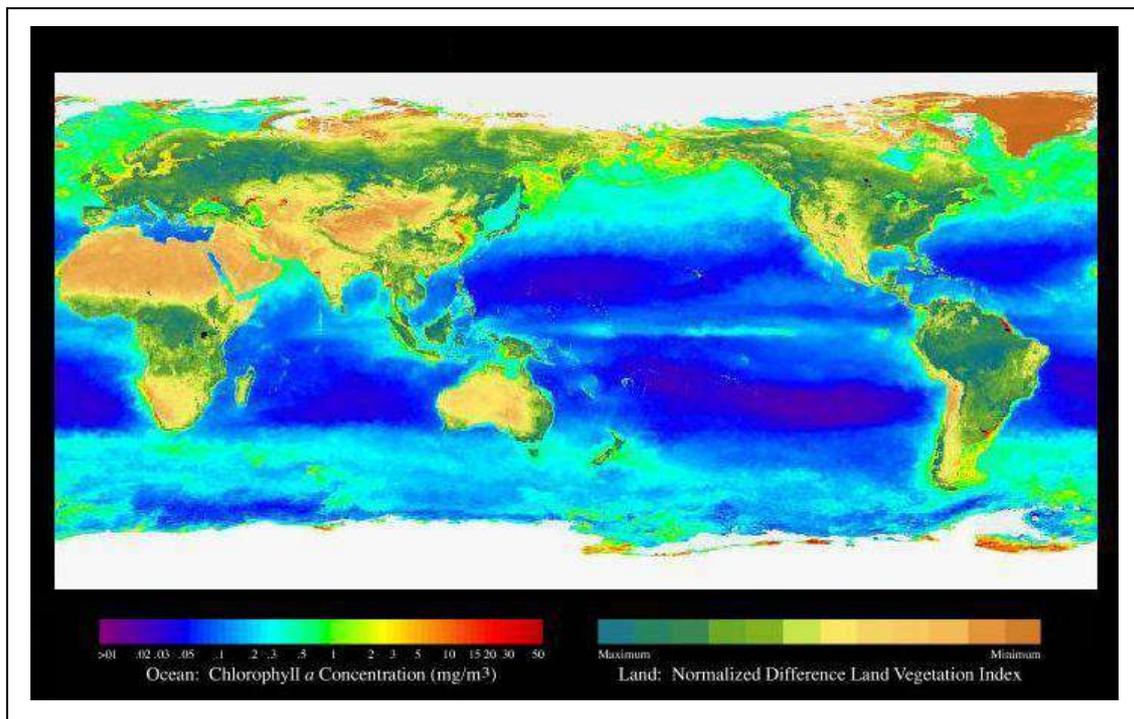


Figura 1.3 El niño “en acción” (1997-1998). Fuente Proyecto SeaWiFS.

¹⁹ Al menos desde los últimos 5.000 años.

1.4.3 El efecto Mariposa

La física clásica descansa en el paradigma lineal, es decir, en la creencia de que los efectos son proporcionales a sus causas, y por tanto, que los cambios en los fenómenos naturales son graduales. Sin embargo, el meteorólogo **Edward Lorenz** descubre en 1963 que pequeñas variaciones en las condiciones iniciales de un sistema atmosférico pueden producir grandes variaciones en el comportamiento del sistema a largo plazo.

Este fenómeno se ha denominado “efecto mariposa”. Este nombre proviene del proverbio chino “*el aleteo de una mariposa se siente al otro lado del mundo*”. Para explicarlo, imaginemos que hemos medido las condiciones meteorológicas que determinan el tiempo futuro en una zona determinada, y que las ecuaciones de evolución del sistema predicen tiempo soleado. En determinadas circunstancias, la dependencia del tiempo es tan sensitiva a las condiciones iniciales que basta con que una mariposa perturbe el sistema para que el resultado final sea totalmente distinto: tiempo lluvioso. Este hecho confirma la dificultad de las predicciones atmosféricas incluso a medio plazo, predicciones cuya fiabilidad depende del grado de precisión con la que hayamos medido las condiciones iniciales (es decir, de la densidad del retículo de estaciones de recolección de datos) El efecto mariposa, es decir la sensibilidad extrema a las condiciones iniciales, constituye la esencia del **caos determinista** descubierto por Lorenz. La impredecibilidad no proviene de la falta de control sobre cientos de variables que influyan en el problema, de hecho el modelo de Lorenz tan sólo incorpora tres variables. La impredecibilidad en este caso es un fenómeno inherente a la propia no-linealidad de las ecuaciones que determinan el estado del sistema en cada instante, de aquí el nombre de caos determinista. Es decir, las propias ecuaciones que gobiernan la evolución temporal del sistema amplifican los errores cuando se dan ciertas condiciones para ello.

Este efecto está en la base del paradigma no-lineal. Si bien en el antiguo paradigma lineal los efectos son proporcionales a sus causas, en el nuevo paradigma una pequeña perturbación, en las cercanías de un punto crítico, puede causar una catástrofe, como el caso de los aludes.

Los riesgos inherentes a este fenómeno son extraordinariamente importantes en el caso del cambio climático. En el paradigma lineal, los efectos son producidos por causas del mismo orden. Por el contrario, en el régimen no-lineal, una pequeña fluctuación en la cercanía de un punto crítico puede acabar causando toda una catástrofe. Este es por ejemplo el caso de las avalanchas de nieve. Imaginemos que empieza a nevar sobre las montañas. A medida que la nieve se va acumulando su pendiente se va incrementando pero el depósito de nieve sigue estable. No obstante, el depósito de nieve termina por alcanzar un ángulo crítico a partir del cual el sistema se vuelve inestable. Una vez alcanzado este ángulo, basta un pequeño copo de nieve para provocar una reacción en cadena que culmine con la avalancha. Este pequeño copo de nieve es “la gota que desborda el vaso”.

Otro ejemplo clásico es el de los atascos de tráfico. Cuando la densidad de automóviles es baja el tráfico funciona en un régimen ordenado y la circulación fluye. A medida que va creciendo la densidad de automóviles empiezan los problemas. El sistema tiende hacia un punto crítico en el que, una vez alcanzado, basta que entre un solo vehículo más al sistema para que se generen atascos y cuellos de botella que se propagan a todo el sistema

con independencia de lo grande que este sea. Una vez alcanzado el punto crítico, un sólo automóvil más puede desembocar en un colapso del tráfico.

La física nos enseña el peligro de la **criticalidad autoorganizada** como un nuevo riesgo al que debemos enfrentarnos. El clima es un sistema complejo y altamente no-lineal. Nuestra forma de afrontar las perturbaciones al clima descansa en el paradigma lineal, pues suponemos que los efectos en el clima son proporcionales a las causas que los provocan, y que podremos corregirlos actuando sobre estas causas en la misma proporción. Esto no es necesariamente cierto para un sistema complejo en las cercanías de un punto crítico.

Este hecho debería hacernos reflexionar y ser especialmente precavidos con las acciones que afectan al clima²⁰. Dada la no-linealidad del sistema y la existencia de puntos críticos, *existe* la posibilidad de que se produzcan cambios rápidos e irreversibles en el sistema climático. Se cree que la rápida aparición del desierto del **Sahara** ocurrido hace 5.500 años pudo ser un ejemplo de ese cambio no lineal en la cubierta terrestre.

²⁰ Y muy especialmente para nosotros, la circulación termohalina.

1.5 “Como un elefante en una cacharrería”

Hemos visto el clima como un sistema dinámico, en evolución, con multitud de subsistemas involucrados en competición que a su vez le otorgan estabilidad, y que actúan con sus propias escalas de tiempo con unos ciclos determinados. Existe una variación natural del clima gobernada por su propia dinámica. Ahora bien, es indudable que la acción del hombre también puede impactar en el clima. ¿Es posible que la acción del hombre pueda modificar el clima en una escala reducida de tiempo? **La respuesta es sí.** De hecho, existen lo que los expertos llaman “**interferencias antropogénicas peligrosas**”. Analicemos primero algunas formas de impactar que tiene el hombre sobre la naturaleza que le rodea.

Según la World Conservation Union (WCU), **784** extinciones de especies se han registrado de forma directa desde el año 1.500. La mayor parte de estas extinciones pueden atribuirse directa o indirectamente al hombre por depredación, o deterioro del habitat. En el año 2019 se presentó un nuevo informe totalmente alarmante. Un grupo de investigadores mexicanos y estadounidenses usó la base de datos de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN) para estimar la actual ratio de extinción de especies. Encontraron que ya hemos entrado en la **sexta extinción masiva** de la historia de la vida en la tierra. El ritmo de extinción de especies provocado por el hombre es 100 veces la tasa natural de extinción, estimada en 1,8 por cada 10.000 especies cada 100 años. Esta vez, “el meteorito somos nosotros”.

Otra acción devastadora del hombre sobre el medio es la deforestación. Según la FAO²¹, se ha deforestado en el mundo un total de 10 millones de hectáreas anuales de bosque tropical²² en el periodo 2.000-2.005. Lo peor es que la tasa de deforestación se ha doblado, pues en cinco años se ha deforestado aproximadamente lo mismo que en el periodo 1990-2000 en el planeta²³. En los bosques tropicales se concentra el 50% de la biodiversidad del planeta y concretamente en el Amazonas el 30%. Amazonas nos da el 20% del O₂ del mundo y el 30% de agua dulce. Es por tanto difícil ignorar la importancia que tiene el Amazonas para la humanidad. No obstante, es muy difícil controlar la deforestación del Amazonas. De hecho, más del 70% de la madera que se comercializa en Brasil tiene origen ilegal²⁴. Asimismo resulta por otro lado como mínimo paradójico que el primer mundo pida a Brasil que deje de deforestar cuando nosotros hemos acabado con

²¹ *Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales 2005* (FAO). Este es el estudio más completo realizado hasta la fecha sobre el patrimonio forestal mundial, su uso y valoración, cubriendo un total de 229 países y territorios entre 1990 y 2005.

²² Para un análisis amplio de la responsabilidad de empresas madereras ver Diamond, J. “Colapso” (Debate, 2006).

²³ La superficie forestal mundial se reduce cada año en unos 13 millones de hectáreas a causa de la deforestación, aunque el ritmo de pérdida neta disminuye gracias a las plantaciones y la expansión natural de los bosques. La pérdida anual neta de superficie forestal entre 2000 y 2005 fue de 7,3 millones de hectáreas anuales – un área equivalente a Sierra Leona o Panamá-, frente a una estimación de 8,9 millones de hectáreas entre 1990 y 2000. Equivalen a la deforestación neta del 0,18 por ciento de la superficie mundial cada año.

²⁴ Curiosamente, el mismo porcentaje que en el caso de Indonesia, la segunda zona más rápidamente deforestada del planeta.

el 99% de nuestros bosques originales²⁵. No obstante, la deforestación de la selva amazónica, por su volumen y su importancia para la biodiversidad, es uno de nuestros principales problemas ecológicos a escala planetaria. La figura 1.4 muestra que la deforestación en el sudeste asiático²⁶ es asimismo un problema acuciante. La imagen enfoca los de izquierda a derecha los países de Myanmar, Tailandia, Laos y Camboya. La zona marrón que colorea el centro de la imagen corresponde al este de Tailandia, señalando la frontera con Laos y Camboya, y muestra claramente la deforestación masiva que sufre la zona.



Figura 1.4 Deforestación masiva en el sudeste asiático. Foto: Visible Earth/NASA.

Para dar una idea gráfica de la extensión de la pérdida en masas forestales, conviene notar que en el mundo los bosques cubren 4.000 millones de Hectáreas, es decir, un 30% de la superficie terrestre continental. La extensión de la pérdida mundial neta entre 2.000 y 2.005 es mayor que la extensión de Panamá (del orden de un quinto de la superficie de España). Los bosques tienen una gran importancia como sumideros de carbono. La cantidad de carbono almacenado en la biomasa forestal descendió a nivel mundial en 1,1 gigatoneladas (Gt) anuales entre 1990 y 2005. La deforestación tiene una alta contribución en el balance neto de emisiones de CO₂ en la atmósfera. Listamos en la figura 1.5 el listado de los diez países del mundo con mayor pérdida neta anual de área de

²⁵ Aunque gracias a las plantaciones, la superficie forestal en Europa está en expansión.

²⁶ <http://visibleearth.nasa.gov>.

bosque, según se recoge en el informe Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales 2005 de la FAO.

Brasil	-3 103
Indonesia	-1 871
Sudán	-589
Myanmar	-466
Zambia	-445
República Unida de Tanzania	-412
Nigeria	-410
República Democrática del Congo	-319
Zimbabwe	-313
Venezuela (República Bolivariana de)	-288
Total	-8 216

Figura 1.5. Los diez países con mayor pérdida anual neta de área de bosque en el periodo 2.000-2.005. La cifra es el cambio anual en miles de hectáreas por año. Fuente: Informe FAO 2005.

1.5.1 La huella ecológica del hombre

Sobre toda la problemática que hemos examinado planea un hecho evidente: los recursos de la tierra son limitados. La tecnología nos puede ayudar a consumirlos de forma más eficiente, aunque puede servir asimismo para sobreexplotarlos de forma más eficiente. En cualquier caso, siempre llega un límite donde estos se agotan si no se consumen de forma sostenible. En este sentido, la clave es ser capaces de calcular los valores de las capacidades naturales de un sistema para una determinada tecnología de explotación.

Mathis Wackernagel, un ingeniero suizo, creó el concepto de **huella ecológica (HE)**²⁷: una herramienta que sirve para conocer si un país está viviendo por encima de sus límites ecológicos. Mide cuantas hectáreas se necesitan para producir los recursos que consume y para absorber los residuos que deja. Se mide en hectáreas mundiales, pues esta es una cantidad globalizada. Las hectáreas mundiales se calculan en función de la superficie fértil de la tierra y de su productividad media a escala mundial. Esta cantidad debe ser comparada a la **biocapacidad (BC)**, es decir, al número de hectáreas disponibles en este sentido en el territorio. Si nuestra huella ecológica es mayor que nuestra biocapacidad, estamos consumiendo más recursos de los que nuestro territorio puede regenerar. Si bien la **HE** es una herramienta todavía por perfeccionar, podemos

²⁷ “Ecological footprint” en inglés.

usarla para obtener estimaciones orientativas de nuestra distancia global a la sostenibilidad.

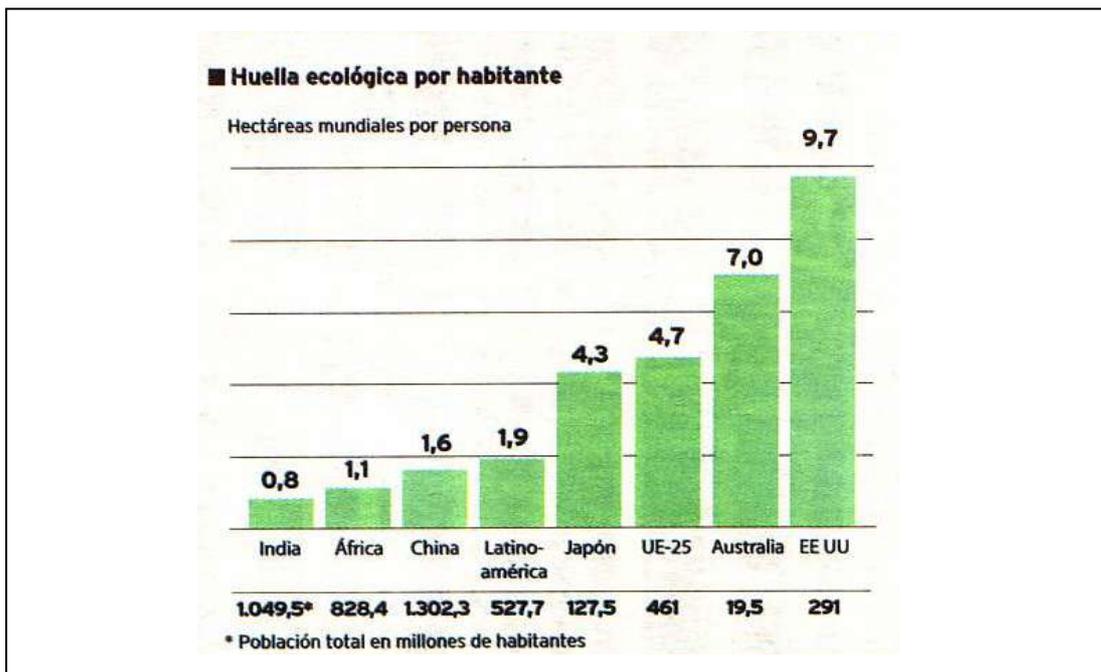


Figura 1.6. Huellas ecológicas por habitante en distintos países (en hectáreas mundiales por persona). FUENTE: Global Footprint Network, World Watch Institute (WWI) y la Agencia Europea del Medio Ambiente.

Según esta herramienta, la UE, EEUU, Japón, India, China tienen cargas entre el 200% y el 600% de su biocapacidad. Sólo estos países están gastando ellos mismos el 75% de los recursos mundiales. Vemos en la figura 1.6 como Estados Unidos lidera la clasificación de países de mayor HE por habitante, ocupando la UE el tercer lugar. De hecho, como vemos en la figura 1.7 según los datos de la WWF, España tiene una HE de 4.8 hectáreas por habitante, mientras que sólo dispone de un territorio de 1.6 hectáreas por habitante. Por citar una región poco poblada, Andalucía tiene una HE de 4.6 hectáreas por habitante, mientras que sólo dispone de un territorio de 1.8 hectáreas por habitante.

La huella ecológica (HE) media por persona en el planeta en el 2002 era de 1.8 Hectáreas globales. Hoy la HE es un 23% mayor de la biocapacidad total del planeta que se estima en unos 11.200 millones de Hectáreas. Luego necesitamos un año 2 meses en recuperar lo que gastamos en un año. Otra forma de expresar este hecho es representando gráficamente el número de “planetas tierra” al que equivale nuestra HE global. Esta medida se muestra en la figura 1.8 proporcionada por el informe “Living Planet Report 2006” de la WWF. Según esta tabla en la década de los 90 la huella ecológica de la humanidad cruzó el límite de lo que el planeta puede regenerar. Según la WWF, esto implica que nuestro crecimiento económico no sostenible nos hace cada vez más pobres, no más ricos.

País o región	Huella Ecológica (has/hab)	Territorio disponible (has/hab)
Andalucía	4,6	1,8
España	4,8	1,6
Alemania	4,8	1,9
Oeste de Europa	5,1	2,1
EEUU	9,5	4,9
Argentina	2,6	6,7
India	0,8	0,4
China	1,5	0,8
Mundo	2,2	1,8

Figura 1.7. Huellas ecológicas y territorio productivo disponible en diversos lugares del mundo según el “Living Planet Report” del World Wildlife Fund (WWF).

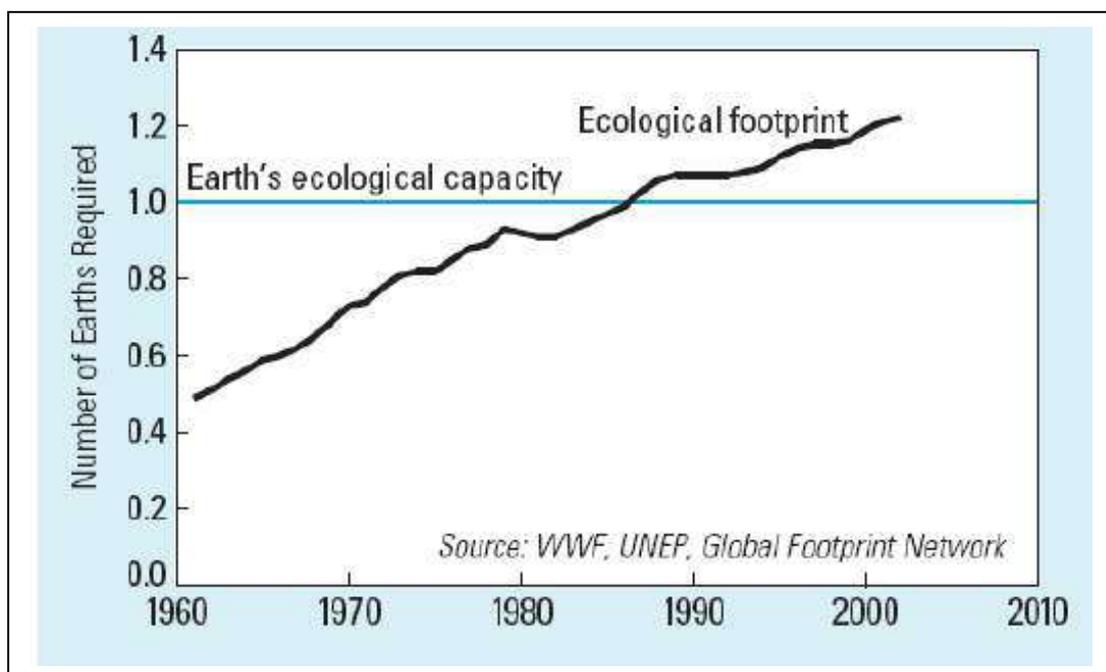


Figura 1.8. Huella ecológica de la humanidad desde 1961 hasta el 2003, medido en unidades de número de planetas tierra necesario para compensarlo. *Living Planet Report 2006* de la WWF.

El valor didáctico del concepto de huella ecológica reside en que hace evidentes dos realidades ligadas. Primero, que el modo de vida característico de los países más ricos del planeta, no puede extenderse al conjunto de todos sus habitantes sin cambiar fuertemente nuestro modelo energético actual. O dicho por pasiva, que una economía planetaria sostenible exige de esa misma minoría acomodada una reducción de nuestros consumos y de nuestro nivel de vida, o un cambio de modelo energético. En conclusión, harían falta 4 planetas tierras para soportar el impacto medioambiental que produciría que en el año 2050 todos los habitantes del planeta gozaran del mismo nivel de vida tienen ahora los habitantes de los países desarrollados. Sin embargo la extensión del modelo económico y energético actual avanza mucho más rápido que la conciencia de su impacto ambiental. De hecho, el 2007 supone un punto de inflexión en la forma de vida de los seres humanos. Por vez primera en la historia de la humanidad hay más personas viviendo en las ciudades que en el campo.

1.5.2 El efecto invernadero

Nuestra influencia más perniciosa en el clima es a través de las emisiones de gases invernadero. Un 75% de las emisiones antropogénicas de CO₂ se deben a la quema de combustibles fósiles (el resto se debe principalmente a la deforestación). Existen muchos tipos de gases de efecto invernadero (**GEI**), como por ejemplo el metano (CH₄), el gas de la risa (N₂O), los fluorocarbonos (CFC) y el propio ozono. Su capacidad para absorber radiación térmica depende de su momento bipolar. De hecho, el metano es 20 veces más efectivo que la de CO₂ como gas de efecto invernadero. No obstante de todos los **GEI** emitidos por el hombre el CO₂ es el más importante para el cambio climático. Solo la contribución del CO₂ supone el 60% de la captura de radiación térmica realizada por los gases de efecto invernadero.

Para entender el efecto invernadero debemos recordar que la biosfera es un sistema cuya energía esta bombeada de forma continua por el sol. La superficie de la tierra absorbe la radiación solar, y luego la distribuye por la circulación marina y atmosférica, para ser irradiada más tarde en longitudes de onda más larga (infrarrojas). Todo cuerpo emite radiación térmica. Dado que la tierra esta mucho menos caliente que el sol, la radiación de salida es menos energética. Los **GEI** absorben la radiación infrarroja. Esta energía se utiliza en hacer vibrar a las moléculas, redistribuyéndose luego mediante colisiones en el mismo gas lo que provoca un aumento de su temperatura. De esta manera se altera el equilibrio entre radiación absorbida y reirradiada, produciéndose un aumento neto de temperatura que calienta la atmósfera terrestre.

La tierra se comporta como uno de los invernaderos de Almería. El plástico que recubre los cultivos evita que se escape el CO₂ emitido por las plantas, provocando un aumento de la temperatura dentro del invernadero. Otro ejemplo muy cercano lo constituyen nuestros coches, verdaderos invernaderos rodantes. Los cristales de los coches no son igual de transparente a todas las longitudes de onda que componen la luz. Los rayos del sol atraviesan los cristales y llegan al interior del coche. Aquí son absorbidos y reirradiados en longitudes de onda mas corta. Ahora bien, los cristales típicos de nuestros coches son menos transparentes a la luz de longitud de onda corta de salida, que a los componentes de longitud de onda largas a la entrada. El resultado es el que comprobamos

en verano, cuando descubrimos al entrar en el coche que la temperatura dentro es varios grados superior a la temperatura fuera del mismo.

Debemos entender que los gases invernaderos son parte del juego de la vida. Los gases invernadero son esenciales para la vida en la tierra. De hecho, si la atmósfera no contuviese **GEI** la temperatura media del planeta sería aproximadamente 33 °C más fría²⁸, lo que haría muy improbable la vida tal y como la conocemos. Los **GEI** cumplen un importante papel en el ecosistema. Curiosamente, en sí mismo, un aumento del CO₂ es beneficioso para las plantas verdes y produce un aumento de la biomasa del planeta según los modelos del **IPCC**. No obstante, la desbordante emisión antropogénica de CO₂ no se ha producido evidentemente por un repentino amor descontrolado del hombre hacia las plantas. Los humanos hemos reducido de hecho el total de vegetación viva durante los últimos 6.000 años en un 30%, del que el 20% corresponde a los últimos trescientos años. La actividad humana está emitiendo a la atmósfera un verdadero exceso de gases invernadero. De hecho, en los últimos 200 años la concentración de CO₂ en la atmósfera ha aumentado nada más y nada menos que a la increíble cifra de un **35%**²⁹. Concretamente, hemos pasado de las 280 ppm³⁰ de 1650 (era preindustrial) a los 379 ppm de CO₂ del 2.005. La actual concentración de CO₂ en la atmósfera escapa del rango natural (180 a 300 ppm) en el que ha oscilado en los últimos 650.000 años, como se ha podido determinar por el análisis del aire atrapado en burbujas en los núcleos de hielo. Este incremento se debe tanto a la quema de combustibles fósiles (80%) como a la deforestación y otros cambios del suelo de los trópicos (20%). ¿Cómo podemos saber si el CO₂ procede de la combustión de los combustibles fósiles? Analizando su composición isotópica: los combustibles fósiles prácticamente carecen de carbono 14, ya que este se ha desintegrado en su totalidad durante el largo proceso de formación de estos fósiles líquidos. De todo este exceso de CO₂ vertido a la atmósfera cerca del 55% es absorbido por los océanos y por las plantas, pero el resto se queda en la atmósfera. En cuanto a los océanos, un efecto perverso añadido es su acidificación a medida que aumenta la concentración de CO₂ disuelto. De hecho, como señala el **AR4**, el pH de los océanos ha bajado en 0.1 en la era industrial, y aún bajará entre 0.14 y 0.35 unidades durante el siglo XXI.

Los gases emitidos en los últimos 100 años afectarán al clima global durante muchos siglos, ya que la absorción del CO₂ atmosférico es un proceso muy lento. Este es otro factor arrojado por los modelos dinámicos meteorológicos especialmente preocupante: la lentitud de respuesta de la dinámica del sistema planetario global frente a la reducción del CO₂.

²⁸ La temperatura media de la tierra es hoy día de 17°C.

²⁹ Un 31% desde 1750.

³⁰ Ppm son las siglas de partes por millón. 1 ppm corresponde a una molécula de GEI por cada millón de moléculas de aire seco.

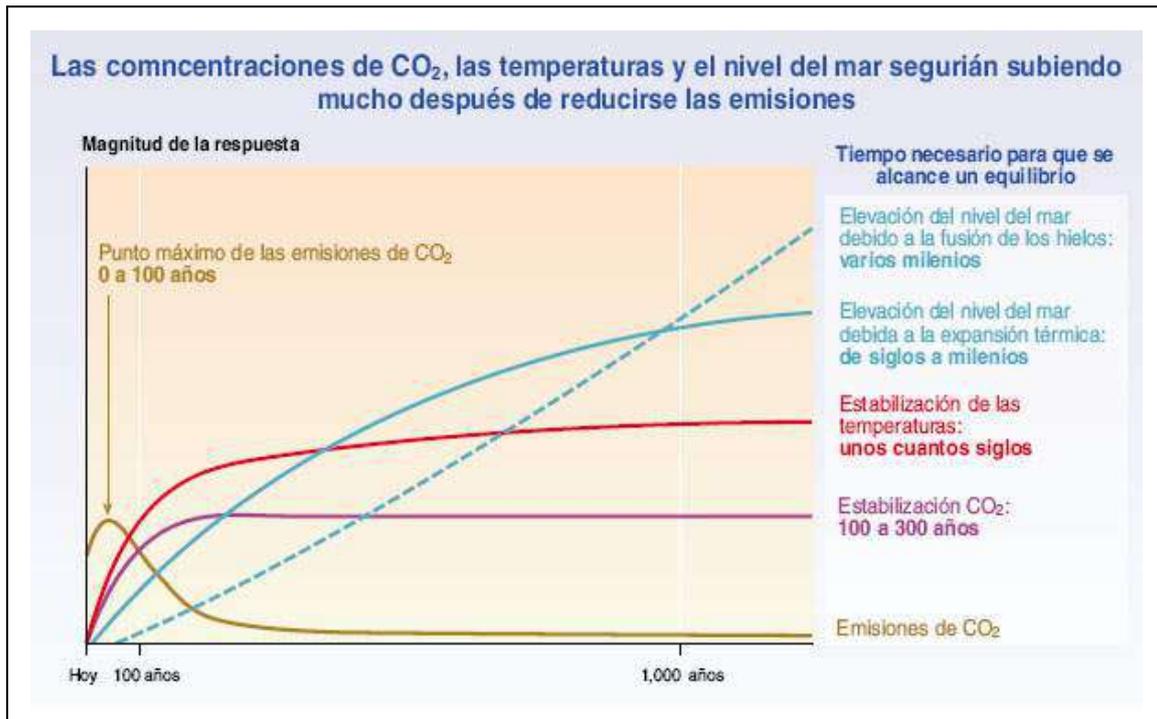


Figura 1.9. Tiempo necesario para llegar al equilibrio de distintas magnitudes, aún si disminuyéramos drásticamente nuestras emisiones de CO₂ en este siglo. FUENTE: TAR-IPCC.

Todos los sistemas manifiestan una cierta inercia al movimiento. Si una perturbación los saca del equilibrio, vuelven a alcanzar un nuevo equilibrio pasado un cierto tiempo que denominamos tiempo de respuesta. Esto es lo que se muestra en la figura 1.9, donde se dibuja el tiempo que necesitan distintas magnitudes hasta llegar al nuevo equilibrio. Es decir, aunque cesemos rápida y radicalmente nuestras emisiones, lo que se asume en la gráfica, la estabilización del CO₂ tomará 100-300 años, estabilizar la temperatura tomará unas centurias, la subida del nivel del mar debido a la expansión térmica del agua de centurias a un milenio, y la subida del nivel del mar debido al deshielo varios milenios. De hecho, según el **AR4** aunque las emisiones de **GEI** se estancasen en el nivel del 2.000, a lo largo del siglo la temperatura seguiría aumentando a un ritmo de 0.1°C por década debido sobre todo a la lenta respuesta de los océanos. En resumen: **lo que hacemos aquí y ahora puede tener consecuencias globales durante milenios**. En este sentido, podemos decir que la revolución industrial ha irrumpido en el sistema climático global como un elefante en una cacharrería.

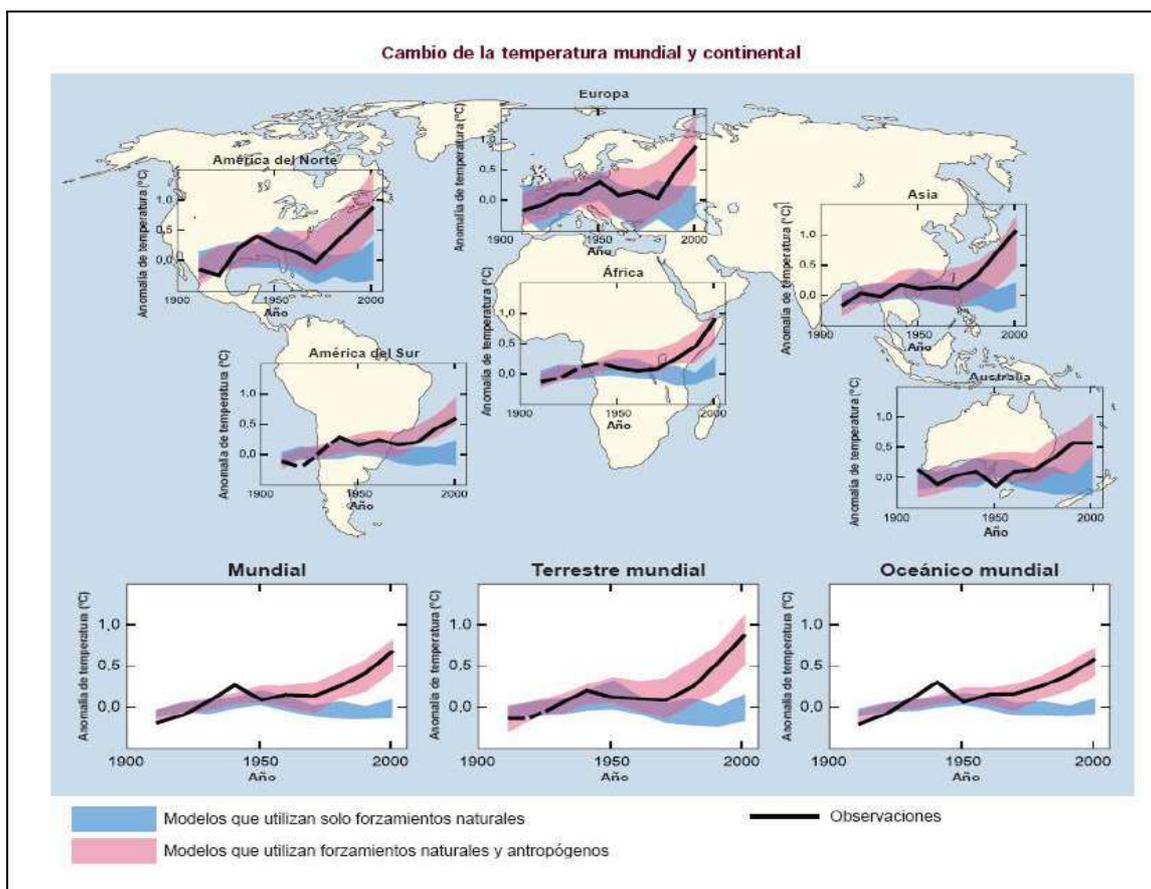


Figura 1.10. Comparación entre las observaciones reales (línea negra) del aumento de temperatura desde el año 1900 y los modelos teóricos (franjas de colores) excluyendo la acción del hombre (franja azul), e incluyendo su efecto (franja rosa). FUENTE: AR4-IPCC.

1.5.3 Las pruebas en nuestra contra

La influencia de la actividad humana en el cambio climático es ya un hecho **probado científicamente**. Según el AR4 el efecto global de la acción del hombre desde 1.750 ha sido el de calentamiento, con un forzamiento radiativo neto de $+1.6 \text{ W/m}^2$. El forzamiento radiativo antropogénico es una medida fundamental, pues cuantifica el cambio causado en el equilibrio global de la tierra con respecto al que tenía en la época preindustrial. Esta densidad de potencia, 1.6 W/m^2 , equivale a una pequeña bombilla navideña por cada metro cuadrado de la superficie terrestre brillando de manera continua. Si os parece una cantidad despreciable es todo un error. También puede parecer pequeño este valor en comparación con la potencia que nos llega del sol, que es de media 340 W/m^2 . Sin embargo, el promedio de energía saliente reirradiada es de $338,4 \text{ W/m}^2$. El problema es el saldo neto que se queda en la tierra, calentándola gradualmente y alejándola de las condiciones de equilibrio. Este calor extra se distribuye por la atmósfera y los océanos. Veamos su efecto.

En la figura 1.10 se muestra los resultados del **AR4** del **IPCC** para el aumento de la temperatura desde 1.900. Recordemos que aparte de las mediciones directas de temperatura, los científicos poseen vías alternativas para obtener registros de temperatura. De hecho existen numerosas técnicas para ello, desde las que utilizan los anillos de crecimiento de los árboles cuyo grosor depende de la temperatura, y pueden cubrir un rango de unos 1.000 años, hasta a los registros en burbujas de aire atrapadas en catas de hielo a distintas profundidades en los hielos de los casquetes polares. Lo anterior es una de las principales herramientas de la paleoclimatología que permite cubrir rangos de 800.000 años.

En la figura 1.10 se compara los datos obtenidos de las observaciones reales (línea negra) del aumento de temperatura desde el año 1900 y los modelos teóricos que lo explican (franjas de colores). En la gráfica se han representado dos tipos de modelos. Por una parte, la franja azul presenta los resultados de modelos que utilizan exclusivamente forzamiento natural, es decir, donde no se ha incluido la acción del hombre. La franja rosa incluye tanto efectos de forzamiento natural como de carácter antropogénico. La gráfica que concuerda con los resultados observados es la rosa. Para explicar el calentamiento ocurrido en los últimos 50 años, es necesario la combinación de ambos tipos de factores: naturales y antropogénicos. Como vemos en la figura 1.10, el estudio se repitió en distintas locaciones del globo con el mismo resultado. La diferencia neta entre la franja rosa y azul permite concluir que el hombre es el principal responsable del calentamiento global sufrido en los últimos 50 años, y de que, en base a los datos, la probabilidad de que esta proposición sea cierta es superior al 90%. Existe por tanto, un alto nivel de certidumbre sobre el enorme impacto del hombre en el clima.

Los factores naturales no son suficientes por tanto para explicar el fuerte crecimiento de la temperatura media mundial. La temperatura media de la superficie de la tierra ha aumentado 0.76°C en el siglo XX, y se espera que suba entre 1.8 y 4°C en este siglo según el cuarto informe del **IPCC (AR4)**.

A su vez, el nivel medio del mar subió entre 10 y 20 centímetros en el siglo XX, y puede llegar a subir entre 18 y 59 cm en el XXI según el **AR4**³¹. De hecho, entre 1993 y 2003 ya ha subido a un ritmo de 3.1 mm por año. En contra de la percepción usual, un 75% de la subida que se ha experimentado en el siglo se debe a la propia dilatación³² que sufre el agua al calentarse y por tanto sólo un 25% se debe al deshielo. Como ejemplo de la subida del nivel eustático del mar, es decir, del provocado por el aumento de volumen de los océanos, baste citar que este subió 120 metros desde el último periodo máximo glaciario de hace 20.000 años como resultado de la pérdida de masa de las capas de hielo. Debido a que la mayor parte de la población del planeta se concentra cada vez más en las costas, desde el **IPCC** se nos advierte que una subida de 40 cm provocaría inundaciones que afectarán desde 75 hasta 200 millones de personas en 2.080³³.

³¹ Entre 31 y 49 cm en el **TAR**.

³² Aunque el coeficiente de dilatación térmica del agua es muy bajo, el efecto es considerable cuando se aplica a volúmenes oceánicos.

³³ Esta predicción tiene en cuenta que son precisamente las zonas costeras las que tienden a acumular más la población y asume, de forma pesimista, un estancamiento del nivel de inversiones en protección frente a inundaciones. De hecho, en el año 2.010 tres cuartas partes de la humanidad vivirá a menos de 80 Km. de la costa.

En la figura 1.11 se muestra distintos indicadores de la influencia en el clima de la actividad humana durante la era industrial publicados en el **AR4** del **IPCC**. En ella se detalla la concentración de dióxido de carbono (CO_2), de metano (CH_4) y de óxido nítrico (N_2O)³⁴ sobre los últimos 10.000 años (paneles grandes) y desde 1.750 (recuadros interiores). Los distintos colores se refieren a datos provenientes de distintos estudios. Las líneas rojas se refieren a muestras atmosféricas recientes³⁵. En estos gráficos se aprecia claramente la enorme subida de las concentraciones de gases invernadero en la atmósfera en los últimos 50 años.

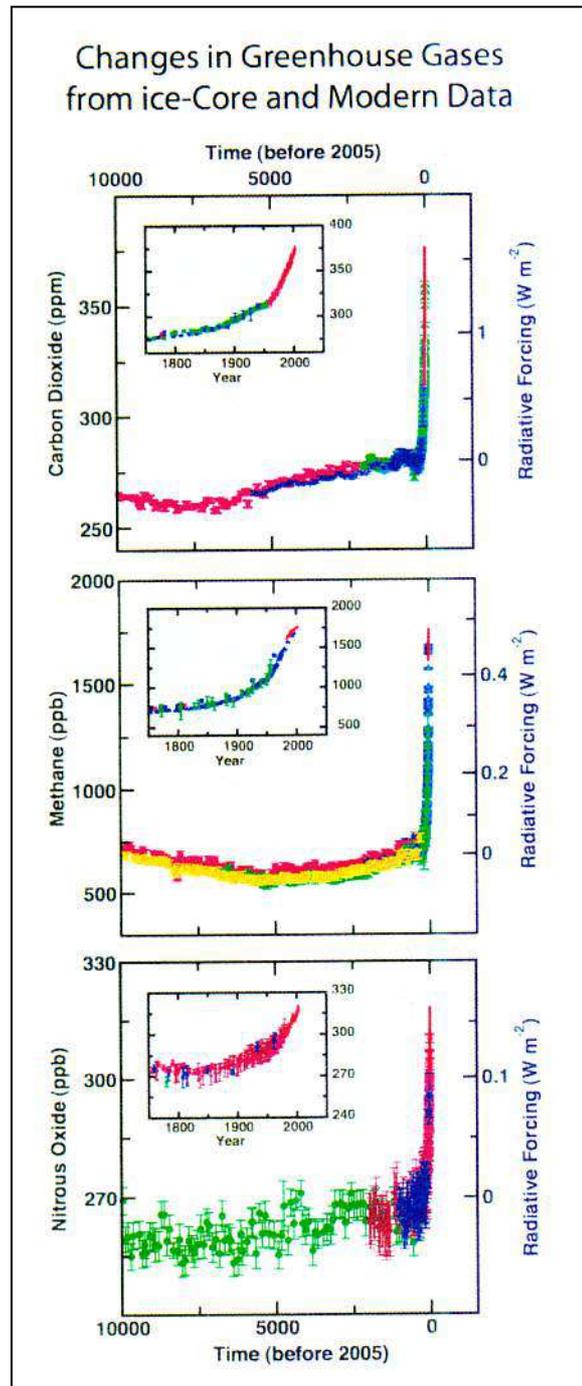


Figura 1.11. Indicadores de la influencia humana en la atmósfera durante la era industrial. FUENTE: AR4-IPCC

³⁴ En partes por millón (ppm) y partes por billón (ppb) respectivamente.

³⁵ Las mediciones directas de concentración de CO_2 en la atmósfera tan sólo empezaron a tomarse desde 1958 usando globos meteorológicos. Hubo que esperar al año 1979 para que se tomaran registros por satélite.

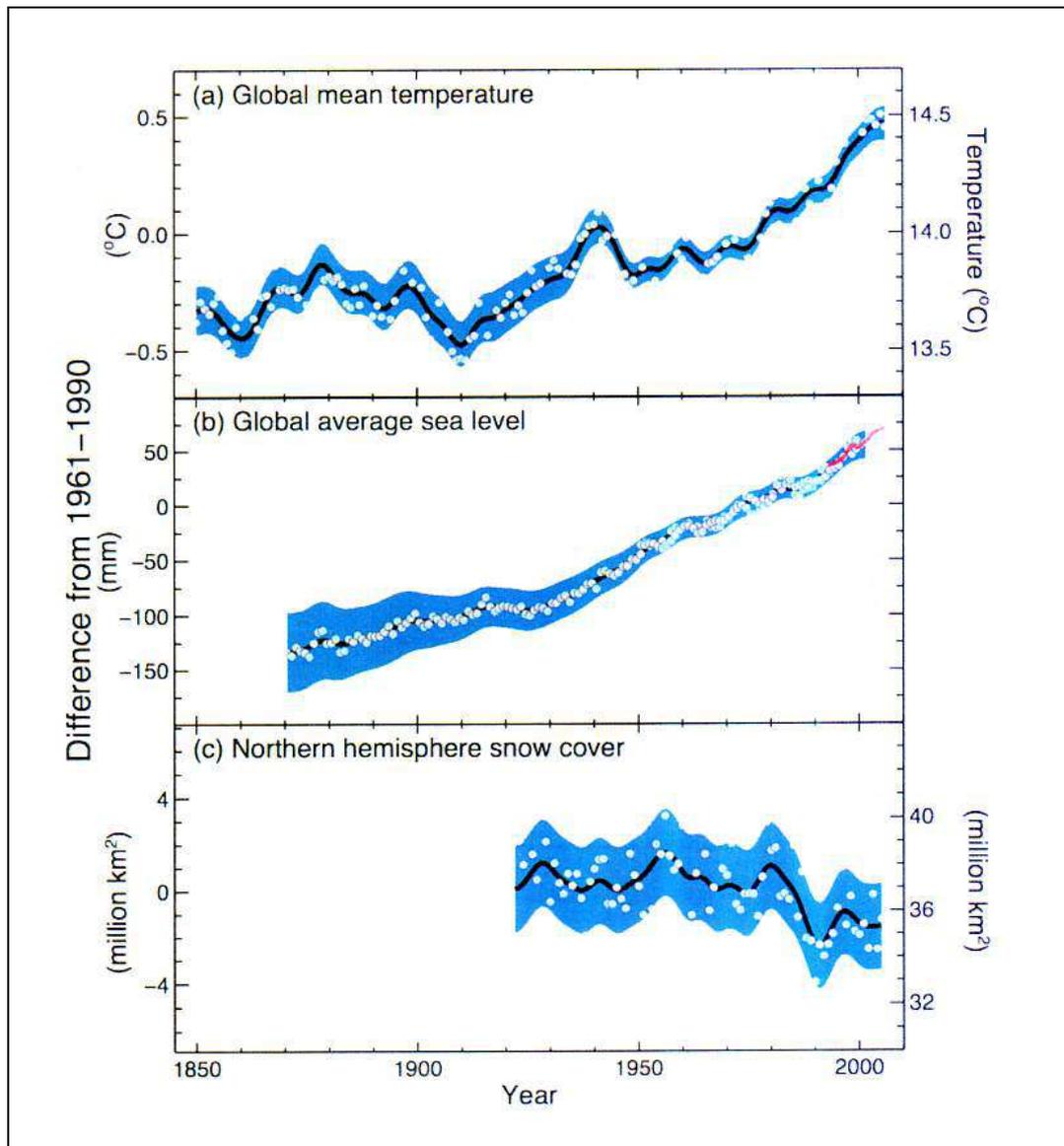


Figura 1.12. Cambios observados en a) la temperatura global, b) el nivel del mar y c) la cubierta de nieve del hemisferio norte desde 1850. FUENTE: AR4, IPCC.

1.6 Hechos

Los cambios observados según el **AR4** en la temperatura global de la superficie terrestre, el nivel del mar y la cubierta de nieve del hemisferio norte desde el año 1.850 se muestran en la figura 1.12. Las curvas negras en estos gráficos representan valores suavizados mediante promedio por década. Los círculos representan valores anuales. Las áreas sombreadas en azul muestran los intervalos de incertidumbre. El calentamiento del siglo XX contrasta con la tendencia de ligero descenso de la temperatura en el periodo 1.000-1.900 posiblemente causado por una tendencia astronómica hacia una nueva era glacial. De hecho el periodo 1.400-1.900 d.C., particularmente frío es conocido como “*la pequeña edad del hielo*”, lo que tuvo importantes consecuencias, por ejemplo, para el declive de la sociedad de Groenlandia³⁶. La época cálida anterior, del 950 al 1.100, fue aprovechada por el vikingo Eric el Rojo para establecer el primer asentamiento vikingo en Groenlandia en torno al año 980.

En conclusión, el **IPCC** en su tercer informe determinó ya en el año 2.001 que el último siglo ha sido el más cálido del milenio, la década de los 90 la más cálida del siglo, siendo 1.998 el año más cálido en el registro instrumental desde 1.850. De hecho, once de los últimos 12 años (1.995-2.006) están entre los 12 años más calientes desde 1850; con datos del informe mundial del clima del 2007. Y seguimos en esta línea, tras un 2008 algo frío debido al fenómeno de la Niña, el 2009 estará entre los **cinco años** más cálidos desde 1850, según la oficina meteorológica de Gran Bretaña -conocida como “Met Office”. El informe **TAR** del **IPCC** señala que el aumento de temperatura del siglo XX haya sido probablemente el mayor en los últimos 1.000 años. Es más, el cambio climático de los últimos 50 años puede que sea algo sin precedentes al menos desde los últimos 10.000 años. Una serie de descubrimientos acompañan este resultado. Por ejemplo, el estudio publicado en la revista **Science** que demuestra mediante los niveles de gases invernadero son los más elevados desde los últimos 650.000 años (es decir, desde el pleistoceno). Esta conclusión se realizó mediante el estudio de burbujas de aire atrapado en los hielos antárticos en distintos estratos a kilómetros de profundidad. Por otro lado, otras noticias recientes son controvertidas, como la que comenta que el aire medido a 5 km de altura sobre la Antártida se ha calentado 3 veces más que la media del resto del planeta en los últimos 30 años³⁷. No obstante, el clima de la Antártida tiene mucha variabilidad natural, lo que dificulta identificar cambios climáticos inducidos sustanciales. Según el **AR4**, no hay cambios estadísticos significativos a gran escala sobre la cubierta de hielo del océano Antártico. Es más, el aumento de precipitaciones podría compensar la pérdida de hielo en la Antártida. Es mucho más preocupante lo que ocurre al otro extremo de la tierra, donde obtenemos una disminución del **40%** en el espesor del hielo marino en el Ártico desde finales del verano hasta principios del otoño en los últimos decenios. En compendio, el Ártico pierde un 7.4% de su hielo por década. Hay estudios³⁸ que indican que el océano ártico se puede quedar sin hielo durante el verano para el 2.050. De hecho, según señala el **AR4**, el aumento de las temperaturas registrado en el Ártico durante los últimos 100 años es casi el doble de la media global.

³⁶ Como se expone en el apasionante libro de Jared Diamond “Colapso” (Debate, 2006)

³⁷ Noticia aparecida en Marzo del 2006.

³⁸ Arctic Climate Impact Assessment. 2004. *Impacts of a Warming Arctic*. Cambridge, UK: Cambridge University Press. También citado en Time Magazine, Vicious Cycles, Missy Adams, March 26, 2006. Algunos escenarios del **AR4** coinciden con este estudio aunque datan la pérdida de hielo para la última parte del siglo XXI

La situación en Groenlandia es también alarmante. El flujo de hielo derretido de sus glaciales³⁹ se ha doblado en la pasada década⁴⁰. El **AR4** reconoce que los nuevos datos recopilados desde el **TAR** permiten ahora tener certeza de que los deshielos de Groenlandia han contribuido a la subida del nivel del mar en el periodo 1.993-2.003. Para dar una idea de la importancia del fenómeno baste señalar que el nivel del mar promedio del último periodo interglacial (hace 125.000 años) era de 4 a 6 m superior al promedio del siglo XX. En aquel entonces la temperatura polar era sólo de 3 a 5 °C superior que la del presente, temperaturas comparables a las que nos depara el siglo XXI. El **AR4** señala que basta aumentar la temperatura de 1.9°C a 4.6°C en relación a los valores preindustriales para que haya un deshielo neto. Si los hielos de Groenlandia se derritieran completamente el nivel del mar subirá más de 6 metros. Esto mismo predice un estudio de investigadores de la Universidad de Reading publicado en *Nature* en el 2.004 donde se calcula un aumento de 8°C en la temperatura media de Groenlandia para el año 2.350. De hecho, basta incrementar de forma sostenida la temperatura promedio de Groenlandia en 3°C para derretir su capa de hielo. En este sentido es preocupante la noticia aparecida en *Geophysical Research Letters* en 2.003, según la cual la placa de hielo Ward Hunt, la más grande del océano ártico se ha fracturado liberando el agua dulce que contenía en el interior. Esta placa flotante que bloqueaba el fiordo de Disraeli en la parte de Canadá cercana a Groenlandia tenía 443 km² y 3.000 años de antigüedad. Comenzó a derretirse en el año 2.000, y ha liberado al mar toda el agua dulce del mayor lago glacial de todo el hemisferio norte, destruyendo el ecosistema de una gran variedad de formas de vida que perecieron al contacto con el agua del mar. Estas son señales de aviso del inicio del problema, que puede agravarse con mayor rapidez de la que creemos. Como comentamos al comienzo del capítulo, a medida que se reduce la capa de hielo menos proporción de la radiación solar es reflejada hacia el espacio, con lo que el sistema se calienta aún más y el deshielo se acelera. También sabemos que peligro potencial del derretimiento de la capa de hielo va más allá de su efecto sobre inundaciones en zonas costeras: el aporte de agua dulce puede afectar a la circulación termohalina, de tanta importancia para nosotros, que hunde sus aguas en regiones del Atlántico Norte. Esta corriente es muy sensible a las variaciones de salinidad producidas por el aporte de agua dulce provenientes del deshielo. El clima es una telaraña de conexiones interrelacionadas que actúan a escala planetaria.

Por otro lado, el año **2.005** fue la peor temporada de huracanes de la que tenemos conocimiento. No obstante, existe una gran controversia científica sobre que causa esta tendencia. Lo que sí sabemos es que desde 1.970, la mayor frecuencia de huracanes de fuerza 4 y 5 está vinculado al calentamiento de la superficie marina. De hecho, el número de huracanes de categoría 4 y 5 casi se ha doblado en los últimos 30 años⁴¹. En conclusión, aunque no se aprecia un aumento del número de huracanes, si se observa un aumento de su intensidad.

También últimamente⁴² se ha demostrado que el calentamiento global provoca la decoloración de los arrecifes de coral de Australia. El mundo ha perdido una quinta

³⁹ El 95% del agua dulce del planeta se encuentra en glaciares y nieves perpetuas.

⁴⁰ Krabill, W., E. Hanna, P. Huybrechts, W. Abdalati, J. Cappelen, B. Csatho, E. Frefick, S. Manizade, C. Martin, J. Sonntag, R. Swift, R. Thomas and J. Yungel. 2004. *Greenland Ice Sheet: Increased coastal thinning*. *Geophysical Research Letters* 31.

⁴¹ Emanuel, K. 2005. *Increasing destructiveness of tropical cyclones over the past 30 years*. *Nature* 436: 686-688.

⁴² Mayo del 2006.

parte⁴³ de sus corales en los últimos 20 años, según un informe de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) presentado en la cumbre de Poznan en Polonia en Diciembre del 2008. La UICN nos recuerda que este hecho afecta a 500 millones de personas en el mundo, que dependen de los corales para su pesca, o de su protección frente a olas o tormentas, o como fuente de atractivo turístico. Además, si no se toman medidas urgentes, gran parte de los arrecifes que quedan se podrían perder en los próximos 20-40 años, según un informe de la Red Global de Control de los Arrecifes de Coral. Y es que el calentamiento global no solo aumenta la temperatura del mar. Produce asimismo un aumento de su concentración de CO₂ aumentado la acidificación. Esto no solo afecta a los corales, especialmente sensibles al calentamiento global, sino a muchas otras especies marinas. No obstante, los arrecifes de coral son especialmente importantes, pues juegan el mismo papel frente a la biodiversidad que los bosques tropicales en tierra: son un ecosistema esencial para la vida marina.

Por último, la recesión actual generalizada⁴⁴ de los glaciales de montaña y de la cubierta de nieve es de hecho un fenómeno global relacionado con el cambio climático según el **AR4**.

En conclusión, los cambios observados afectan fundamentalmente a los hielos árticos, las precipitaciones⁴⁵, la salinidad del océano, y el aumento de fenómenos extremos como sequías, lluvias torrenciales, olas de calor, y mayor intensidad de los ciclones tropicales.

⁴³ La tercera parte de los arrecifes de coral de todo el mundo ya ha sufrido un grave deterioro. Estos juegan en el mar el papel de los bosques tropicales en la tierra en cuanto a biodiversidad.

⁴⁴ El derretimiento de las nieves perpetuas del Kilimanjaro no es un hecho reciente, pues este perdió la mayor parte de su capa helada antes de 1.960.

⁴⁵ El AR4 observa un mayor contenido de vapor de agua en la atmósfera consistente con el calentamiento. De hecho, un aire más caliente puede contener más vapor de agua.

1.7 Previsiones

Como comenta Sir James Lovelock⁴⁶, desde principios del siglo XX la concentración de CO₂ en la atmósfera ha ido aumentando a razón de 1 ppm/año hasta alcanzar los 379 ppm en el 2006. En estos momentos, el ritmo de crecimiento es de 2 a 3 ppm/año. En 30 o 40 años llegaremos a la cota de 500 ppm, con un desequilibrio tal que entonces será difícil tomar ninguna medida. El hombre está causando un enorme impacto sobre el clima. Parece oportuno estudiar ahora los efectos posibles del cambio climático sobre el hombre.

1.7.1 El impacto del cambio climático en nuestra economía

La actividad humana ha modificado el clima. Como un boomerang, que una vez lanzado se vuelve contra nosotros, el cambio climático provocado impactará fuertemente en nuestra actividad económica. El cambio climático tendrá impactos significativos en aspectos tan diversos como las actividades agrícolas, la salud humana, y desde luego la alteración de muchos ecosistemas. El cambio climático es demasiado rápido para que las especies se adapten a él⁴⁷.

Los mayores impactos del cambio climático se darán en las zonas costeras. La reducción de la criosfera provocará cambios en la salinidad marina y una subida del nivel del mar. Las zonas costeras sufrirán erosión, intrusión marina en fuentes de agua dulce e inundaciones. Esto es particularmente importante para nosotros pues los ecosistemas más afectados son los arrecifes de coral, los manglares y **las marismas**. Por otro lado, la modificación de las corrientes puede afectar a la dinámica y abundancia de las especies de peces.

No sólo la pesca sino la agricultura se verá particularmente afectada, pero de forma muy desigual. Por un lado, la mayor concentración de CO₂ en la atmósfera es beneficiosa para la fotosíntesis. Por otro lado, este efecto se contrarresta con el provocado por el efecto combinado del calor y sequía en determinadas zonas. Se prevén impactos negativos en las regiones más vulnerables y de mayor inestabilidad alimentaria como es África. Y es que el cambio climático supondrá una alteración general de las precipitaciones. La precipitación media subirá en zonas situadas a latitudes altas y en el sudeste asiático mientras que disminuirá en Asia Central, Australia, sur de África y el Mediterráneo.

Por último, el cambio climático tendrá un alto impacto en la salud humana. Aumentarán las enfermedades infecciosas⁴⁸. Las olas de calor⁴⁹, así como el aumento de las catástrofes como inundaciones o el incremento de la virulencia de los ciclones tropicales son manifestaciones evidentes de cómo el cambio climático puede afectar a la salud de

⁴⁶ Sir James Lovelock, *“La venganza de la tierra”*. Editorial Planeta, 2007.

⁴⁷ *“Fingerprints of global warming on wild animals and plants”*. Nature, 2003.

⁴⁸ *“Cambio climático y salud humana: riesgos y respuestas”*. WHO, 2004.

⁴⁹ Como la ola de calor que causó 35.000 muertos en Europa en el verano del 2.003.

las poblaciones afectadas. Las pérdidas económicas globales producidas por las catástrofes y fenómenos climatológicos se han multiplicado por cuatro en los últimos cuarenta años⁵⁰, si bien parte de este incremento se debe al propio aumento de la población y de su nivel de vida.

En conclusión, el cambio climático impactará fuertemente en nuestra economía. Aunque sólo sea por puro egoísmo, a la humanidad le conviene controlar su impacto sobre el medio ambiente. Como ha señalado el informe Stern, los gastos derivados del cambio climático pueden llegar a suponer el 20% de nuestro **PIB** global.

1.7.2 El impacto en Europa

Europa es una región rica, con una gran capacidad de adaptación de nuestros sistemas naturales y humanos. No obstante, las regiones más vulnerables del planeta son el mediterráneo, las zonas de montaña y las zonas árticas⁵¹.

Europa es vulnerable. Por una parte, sus ecosistemas naturales ya están muy alterados. Por otra parte, su zona mediterránea se ve fuertemente amenazada por una disminución de las precipitaciones y un aumento de los incendios forestales. La disminución de los recursos hídricos supondrá en el mediterráneo una merma de la producción agrícola y una amenaza para su sector turístico. La situación será muy diferente en el norte de Europa, el cual registrará un aumento de la pluviosidad. Este incremento, unido al aumento de las temperaturas y del nivel de CO₂ provocará un aumento de la extensión de las zonas agrícolas, la introducción de nuevos cultivos y de la productividad. No obstante, a pesar de la mejora de su productividad agrícola, las zonas del norte de Europa se verán amenazadas por la subida del nivel del mar.

El impacto económico neto del calentamiento global sobre Alemania es positivo hasta llegar al umbral de los 2°C de incremento. Aún así Alemania se ha distinguido como uno de los líderes mundiales en la lucha contra el cambio climático. Es totalmente elogiable la responsabilidad medioambiental, la conciencia cívica y planetaria de un país del que tenemos mucho que aprender. En Alemania, un 62% de los edificios ya disponen de energía solar, tanto térmica como fotovoltaica, toda una muestra de como la sociedad civil puede liderar el cambio. En España disponemos de mucho más sol, pero todavía de mucha menos conciencia medioambiental que Alemania. También como veremos en el próximo apartado, tenemos muchos más motivos que Alemania para temer al cambio climático.

⁵⁰ *Cambio climático 2001. Impactos, adaptación y vulnerabilidad*. IPCC, 2001.

⁵¹ “*Arctic environment. European perspectives*”. EEA, 2004. Agencia Europea del Medio Ambiente.

1.7.3 El futuro del clima en España

En España nos esperan más inundaciones y tormentas, menos nieve, más sequías, más olas de calor y playas menos extensas. A finales de siglo, las precipitaciones se habrán reducido en un 20% respecto al nivel medio de la década 1980-1990. El año más caluroso de todos los que se tienen registro (desde 1850) ha sido el 2006, de hecho con 1.46°C por encima de la media correspondiente a los años 1961-1990. Los siguientes 6 años más calurosos han sido todos posteriores a 1990. La temperatura media aumentó en España 0.9°C en el intervalo 1931-2004, mientras que la media mundial sólo subió 0.7°C entre 1850 y 2007. Es decir, En España durante 73 años ha subido la temperatura media un 30% más que durante 155 años en el mundo entero. Según expertos del Instituto Nacional de Meteorología, se calcula que podría haber una ola de calor cada 3 o 5 años. Este aumento de temperaturas también comporta una disminución de las nieves. De hecho, la cantidad de días de nieve se ha reducido en un 41%. En España, según el Departamento de Geografía de la Universidad de Zaragoza lo glaciales desaparecerán completamente entre los años 2015 y 2020.

Las playas españolas se verán asimismo muy afectadas por el cambio climático. Según el informe efectuado por expertos de la Universidad de Cantabria recogido en el informe del Ministerio del Medio Ambiente, nuestras playas retrocederán una media de 15 m por la subida del nivel del mar antes del 2050. El aumento del nivel del mar no será uniforme en toda España. En el Cantábrico subirá 35 centímetros, 20 en el Mediterráneo y 10 en la Bahía de Cádiz. Las zonas más afectadas de España por su poca altura será Doñana (afectando a Huelva, Sevilla y Cádiz), la Albufera de Valencia, la Costa Brava y la Manga del Mar Menor.

Asimismo, otros efectos importantísimos para nosotros serán la reducción de los recursos hídricos, que ya antes del 2030 será de entre un 5% y un 14%, el mayor riesgo de incendios, y un mayor número de tormentas y lluvias torrenciales. El clima árido, ahora típico de Almería pasará a ocupar la mayor parte de Andalucía y parte de Castilla-La Mancha. Todos estos impactos se analizan en detalle en el informe *Impactos del Cambio Climático en España*, presentado por el Ministerio de Medio Ambiente en el que han participado más de 400 científicos.

Lo más preocupante del futuro del cambio climático en España es que ya ha llegado. El último informe 2009 de Greenpeace⁵² recopila un amplísimo abanico de ejemplos de toda la geografía española que muestran que el cambio climático ya tiene profundas repercusiones económicas y ambientales en nuestro país.

Pero ¿por qué España es especialmente sensible? Fundamentalmente por nuestra situación geoclimática. En la figura 1.13 se muestra el mapa del clima mundial actual. Como se aprecia en el mapa, vivimos en el clima mediterráneo (franja rojo intenso en el mapa), una estrecha zona de transición entre el clima suboceánico templado y el desértico, por lo tanto especialmente vulnerable frente a las sequías. A su vez, como hemos visto el clima de España depende de forma fundamental de la corriente del golfo. Una pequeña variación de esta corriente puede variar drásticamente nuestro

⁵² Jesús Martínez Linares y Greenpeace, “*La crisis del clima: Evidencias del Cambio Climático en España*”, Informe Greenpeace 2009.

clima. El clima mediterráneo es un clima moderado modulado por un gran mar interior.⁵³. Estamos en un paraíso pero un paraíso estrecho y delicado.

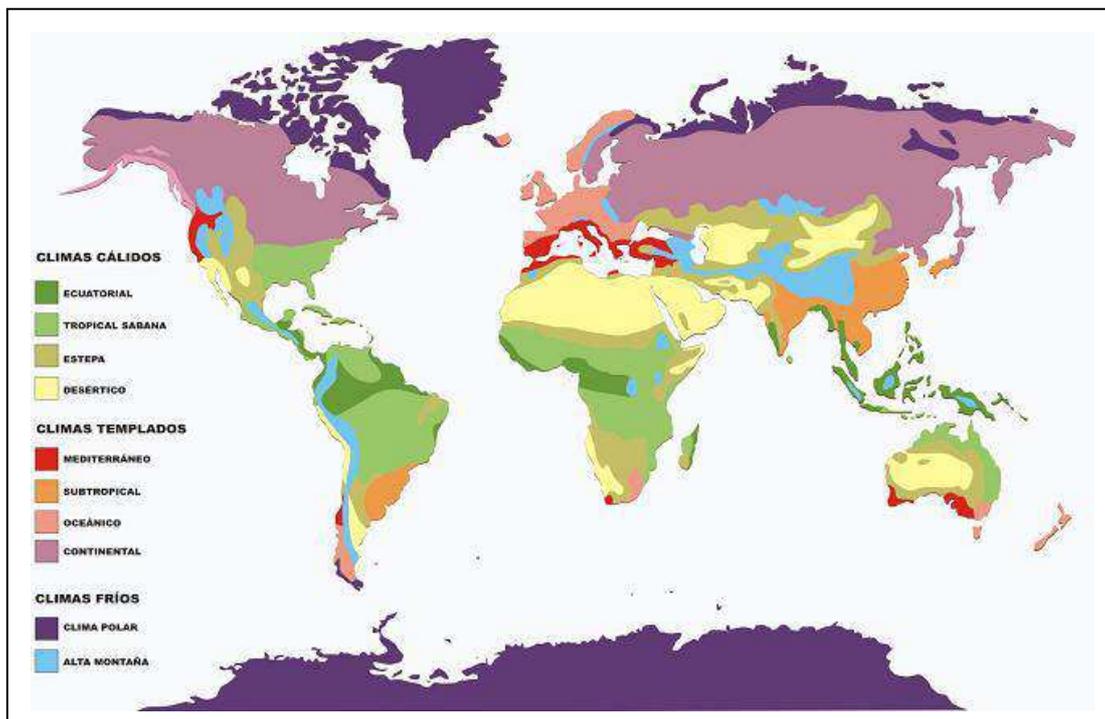


Figura 1.13. Mapa de zonas climáticas del mundo. FUENTE: Proyecto Biosfera.

1.7.4 El futuro del clima en Andalucía

La principal herramienta para la prospección del clima de las próximas décadas son los Modelos de Circulación General (MCGs). Estos modelos simulan numéricamente la evolución temporal de los flujos de energía, masa y cantidad de movimiento entre los puntos de un retículo tridimensional. Mediante la integración temporal de estos flujos se obtienen evoluciones simuladas de los estados atmosféricos, es decir, la predicción del clima a largo plazo. Aunque hemos avanzado espectacularmente en la capacidad predictiva de estos modelos, su resolución espacial es de 2-3° de latitud/longitud. Para realizar predicciones más detalladas se necesitan técnicas de “downscaling” que todavía necesitan ser perfeccionadas.

Por citar un ejemplo de una de las regiones más afectadas, comentaremos que resultados preliminares señalan que el cambio climático depara en Andalucía un descenso de las precipitaciones de un 7% en el próximo siglo, tal y como se describe en el documento “Generación de Escenarios de Cambio Climático” redactado por la Fundación para la Investigación del Clima (FIC) dentro del Plan Andaluz de Acción sobre el Clima⁵⁴. Esto conllevará a replantear el mapa hidrológico andaluz, pues las lluvias descenderán principalmente en las dos zonas claves para la regulación de las aguas: la cabecera del Guadalquivir y la cuenca Atlántica. En estas dos zonas se estima que lloverá hasta un

⁵³ El agua marina por su elevado calor específico almacena el calor el verano y lo libera en invierno, atenuando las diferencias de temperatura.

⁵⁴ Consejería de Medio Ambiente.

20% menos a partir de la segunda mitad del siglo XXI. Hasta ahora, la cuenca atlántica andaluza ha gozado de un importante régimen de lluvias con medias anuales por encima de los 700 litros/m². Esto hace que las provincias de Cádiz y Huelva concentren 14 grandes pantanos. Esta situación va a cambiar. Dentro del nuevo escenario de bajada de las precipitaciones las zonas de Guadalete y Barbate serán las más castigadas. No obstante, existirá una gran variabilidad climática dentro de Andalucía en la primera mitad del siglo. En el periodo 2.011-2.040 en Almería, el norte de Granada y buena parte de Málaga las lluvias aumentarán mientras que las primaveras se harán especialmente secas en al valle del Guadalquivir.

Por otro lado, según este documento para el 2.050 se espera un aumento de 1.7 °C en las temperaturas mínimas y 2.2 °C en las máximas. En conclusión, Andalucía será una de las zonas más castigadas por el calentamiento global en España afectando fundamentalmente a dos sectores: el turismo y la agricultura. Para valorar la importancia que estos dos sectores tienen en la economía andaluza baste recordar que el 75% de los trabajadores andaluces se encuadran en los sectores de agricultura y servicios.

1.8 Conclusión

En su edición del 2000, el Instituto Worldwatch afirma que la estabilización del clima y el crecimiento de la población son los dos retos principales (¡y relacionados!) que debe afrontar nuestra civilización en este comienzo del tercer milenio. Se trata de sostenibilidad. Nuestro actual modelo económico puede conseguir resolver el problema del crecimiento demográfico, pues este es en esencia un problema de pobreza. De hecho, todos los escenarios del **IPCC** predicen estabilización de la población mundial durante este siglo⁵⁵. El gran problema es estabilizar la población de forma sostenible, en equilibrio con los recursos naturales que nos ofrece nuestro planeta. Este segundo reto es en sí mismo mucho más complicado, pues su solución requiere un cambio estructural no sólo de nuestro modelo energético, sino de nuestra manera de relacionarnos con los demás y con el medio ambiente.

A lo largo de este capítulo hemos explicado desde un punto de vista científico el alcance de los datos sobre el calentamiento global y el cambio climático del tercer y cuarto informe del **IPCC**. Las conclusiones científicas sobre el cambio climático son claras y contundentes. Sabemos de forma inequívoca que existe, que se hará más extremo y que el hombre es su principal responsable. El cuarto informe es absolutamente rotundo en esta cuestión. De hecho, según Achin Steiner, director del Programa de Naciones Unidas sobre Medio Ambiente *“el 2 de Febrero del 2007 pasará a la historia como el día en el que desaparecieron las dudas acerca de si la actividad humana está provocando el cambio climático”*. El propio informe **AR4** sitúa la certeza sobre nuestra responsabilidad en el mismo por encima del 90%. Es más, las palabras de Yvo de Boer, el máximo responsable de Naciones Unidas sobre cambio climático en la XXVII reunión del **IPCC** en Valencia en Noviembre del 2.007, son absolutamente claras: *“No actuar pronto”* contra el cambio climático *“es una irresponsabilidad criminal”* ya que *“amenaza la supervivencia de las personas”*. A partir de ahora el debate debe centrarse en que decisiones políticas tomar para frenar el calentamiento, y no en su realidad.

A diferencia de otros países como Alemania, en España estamos entrando tarde en el debate sobre el calentamiento global. Este desfase es particularmente difícil de entender, pues como vimos en nuestra introducción España es el país de Europa más afectado por el cambio climático. No estamos ya en una época de debate sobre nuestra posible responsabilidad sobre el cambio climático sino ante una era de consecuencias. Nosotros tenemos que asumir las nuestras: lluvias torrenciales, sequías, pérdida de nieve y de playas, enfermedades, alergias, y un largo etcétera. El enorme impacto del cambio climático no sólo es una realidad, sino que es una **realidad acuciante**, sobre todo para los andaluces. De hecho, según admite el propio **AR4**, lo más probable es que ya en los próximos 20 años el calentamiento sea ya de 0.4°C de media mundial.

Hemos intentado explicar que es lo que sabemos del cambio climático, pero también que es lo que no sabemos, y que peligros nos depara esta ignorancia. Por ejemplo, si el calentamiento global produce un cambio en el lugar donde se hunde la corriente oceánica del Golfo en el Atlántico Norte, los efectos en el clima de España pueden ser drásticos. Existen riesgos asociados a la no-linealidad inherente a la propia dinámica del sistema y a la posible existencia de puntos críticos en la misma que quizás todavía no estén identificados. También hemos enfatizado la importancia del análisis de las **escalas**

⁵⁵ La media de la ONU esta en torno a 10.000 millones de personas a final de siglo.

temporales, pues nos muestra que para hablar del clima no solo tenemos que considerar cuanto perturbamos al sistema, sino también con que velocidad lo hacemos. Sostenibilidad es precisamente esto: **afectar a menos velocidad de la que el sistema tarda en reponerse**.

Las referencias sobre el tema van desde ecologistas escépticos hasta optimistas cautelosos⁵⁶. En el presente artículo se ha adoptado un punto de vista neutral aportando datos contrastados científicamente, recogidos en revistas especializadas de prestigio, y en el propio contenido de los informes del IPCC. Al final es el propio lector quien debe sacar sus propias conclusiones.

¿Qué pensaría nuestro hipotético personaje Nonel-Nhoj de la sección 1.1 sobre el hombre y su destino? ¿Creerá que somos capaces de arbitrar una solución consensuada globalmente para proteger a nuestro pequeño planeta azul? ¿Pensará que podemos aprender de los errores del pasado para no perder con intereses locales la visión de conjunto? ¿Qué podamos globalizar la democracia, y no sólo la economía, para establecer un proceso de toma de decisiones a escala global basado en el interés común y no en la fuerza de los tanques? ¿Podremos llegar a efectuar la necesaria transición de una economía fósil a una economía solar? Para bien o para mal corresponde a nuestra generación encontrar solución a las inquietudes de Nonel-Nhoj. La dedicatoria de nuestro prólogo nos recuerda la antigua maldición china “*ojala vivas en tiempos interesantes*”. Estamos viviendo en tiempos interesantes sobre los que tenemos doble responsabilidad. Primero como beneficiarios de esta sociedad desarrollada que ha situado el crecimiento de su economía en los combustibles fósiles. Segundo, porque formamos parte de una Europa que esta **liderando** el debate sobre el protocolo de Kyoto y su implementación a nivel mundial. Una Europa que debe ser fuerte, hablar con una sola voz y ganar peso a nivel internacional para poder defender esquemas globales de sostenibilidad. Ya de hecho más de 40 países demandan la globalización de la política medioambiental a nivel mundial mediante la creación de un organismo específico en la ONU, y de la necesidad de adoptar una Declaración Universal de los Derechos y Deberes Medioambientales. Una Europa de los ciudadanos que deben reflexionar sobre energía y medio ambiente, e intentar incorporar en sus vidas, en la medida de sus posibilidades, energías limpias y consumos energéticos responsables. La UE quiere evitar que se superen los 2°C de aumento de la temperatura media. Para ello habrá que reducir las emisiones entre un 20% y un 30% para 2.020 y hasta en un 80% en la segunda mitad del siglo XXI. Por el momento en España todavía no hemos despertado ante esta nueva realidad. De hecho, según la AEMA somos el país europeo que más ha incrementado la emisión de GEI desde 1.990. Parece claro que debemos reaccionar frente a este reto colectivo y afrontar un cambio profundo de nuestros hábitos energéticos.

En conclusión, el calentamiento global es una realidad de la que somos responsables, por sus orígenes y por sus consecuencias. Es una **realidad acuciante** que requiere más que medidas correctoras parciales un cambio profundo de nuestro modelo energético y de nuestra forma de vida. Es necesaria y urgente una profunda reflexión de la sociedad sobre el propio concepto de sostenibilidad. Debemos encontrar un modelo que combine economía, energía y medio ambiente de forma sostenible. Tal es el gran reto de nuestro tiempo.

⁵⁶ Dicen que un pesimista es un “optimista informado”. En cualquier caso, en términos de utilidad social los optimistas conscientes son aquellos que una vez informados prefieren optar por el camino de la acción y el compromiso personal.

Capítulo 2

6 razones para un cambio

Este capítulo esta dedicado a la tacita de plata, cuna de la libertad en nuestro país, que durante tanto tiempo mantuvo la mirada de España hacia el nuevo mundo. Para que logre dirigir ahora la suya propia hacia el nuevo mundo por conquistar de las energías renovables.

2.1 Introducción

El cambio climático representa para muchos la mayor amenaza global a la que se enfrenta la humanidad en este comienzo del tercer milenio. La responsabilidad del hombre en el enorme calentamiento global registrado en los últimos 50 años es ya un hecho probado con total rotundidad desde el punto de vista científico⁵⁷. Curiosamente, nunca en la historia de la humanidad hemos sido capaces de predecir lo que va a pasar con el clima en los próximos 50 años. Ahora que lo sabemos, no parecemos estar preparados para responder ante ello. Nuestra tecnología nos dota de una potente “bola de cristal” para predecir el futuro. Paradójicamente, es a este mismo desarrollo tecnológico a quien debemos el problema del calentamiento global que nos ha venido en el reverso de la moneda como un incómodo⁵⁸ “daño colateral”. Es la misma tecnología quien ha creado el problema y de quien dependemos para su solución. Parece que la tecnología avanza más rápido que la capacidad del hombre de usarla con fines sostenibles. De aquí el gran reto: situar nuestra responsabilidad colectiva a la altura de las potenciales consecuencias de nuestros actos. La esencia de la sostenibilidad consiste en ser capaces de responder ante las generaciones futuras del uso presente que damos a la tecnología. Este es por tanto, no sólo un reto tecnológico, sino ante todo un reto ético. Simplemente, el reto de asumir la necesidad de avanzar a un nuevo estadio de madurez ambiental de nuestra sociedad.

Para ello el primer paso es comprender las limitaciones de nuestro presente modelo energético. De esto trata este capítulo, en donde se sitúan en un contexto global las implicaciones que se derivan de mantener el actual modelo energético basado en recursos fósiles y se analiza las soluciones que aportarían las fuentes de energías renovables. En resumidas palabras: “**economía fósil**” versus “**economía solar**”. En ello nos jugamos mucho: del modelo energético depende de forma medular nuestro desarrollo económico y nuestra calidad de vida. De hacerlo compatible con la sostenibilidad y el medio ambiente depende nuestro futuro.

El capítulo está organizado de la siguiente manera. Empezaremos por examinar las características del modelo energético actual, para entender las seis fuentes de insostenibilidad que a mi juicio afectan al sistema. Como veremos el fuerte impacto medioambiental de la economía fósil es tan sólo una de sus múltiples fuentes de insostenibilidad.

⁵⁷ Como hemos explicado en detalle en el capítulo anterior.

⁵⁸ Como la espléndida película “*Una verdad incómoda*” de Al Gore se encarga de mostrar.

2.2 El motor del mundo

La energía es el motor que mueve al mundo. Su disponibilidad es la clave para entender el desarrollo económico de una sociedad. Para subsistir necesitamos al día tan sólo unas 3.000 calorías por persona. Este es el consumo energético básico propio de una sociedad primitiva. No obstante para mantener nuestra calidad de vida actual necesitamos 21 veces más. De hecho, los 44 millones de españoles gastamos 2.4 tep⁵⁹ de energía final en el 2005 por habitante y año, es decir 106 Millones de tep en total. Para llegar aquí hemos recorrido un largo camino. Históricamente, empezamos por el uso de la fuerza muscular humana. De hecho, el uso de la esclavitud era la fuente energética en la que se basaba la economía del mundo antiguo. De aquí pasamos a aprender a aprovechar las fuerzas de la naturaleza. La energía eólica, importada por los cruzados, la energía hidráulica que movía nuestros molinos y la fuerza animal todas ellas fueron superadas por la máquina de vapor que nos trajo la primera revolución industrial.

El control de la energía de la naturaleza acumulada en combustibles fósiles permitió un desarrollo sin parangón en la historia de la humanidad. El ser humano descubrió durante la primera revolución industrial como transformar esta energía fósil, primero el carbón y luego el petróleo, en trabajo aprovechable. Gracias a este gigantesco aporte energético la población humana creció de unos 700 millones de individuos a unos 7.000 en 200 años. En los años 50 la energía era tan abundante y barata que no se pensaba en los posibles problemas de suministro futuro⁶⁰. La situación ha cambiado drásticamente y ahora sabemos que el actual modelo energético basado en fuentes de energía fósil es completamente insostenible. En los próximos apartados desgranaremos el por qué.

⁵⁹ 1 Tep= 1 tonelada equivalente de petróleo.

⁶⁰ Curiosamente, cuando aparecieron los automóviles estos se habían presentado como una revolución medioambiental que permitía limpiar las calles de las ciudades de los excrementos que antes dejaban los coches de caballos.

2.3 Seis razones

Podemos identificar seis fuentes de insostenibilidad del actual modelo energético que esbozamos a continuación.

2.3.1 Agotable

Si miramos a nuestro alrededor podemos comprobar que estamos rodeados de petróleo. Vivimos “nadando” en petróleo. Desde la composición química de multitud de materiales sintéticos que nos rodean, (bolsas de plástico, etc) hasta en medicinas o en la ropa que llevamos podemos encontrar a la industria de los hidrocarburos. Solamente la demanda española de petróleo es responsable del 70% del consumo de energía final del país. Y es que nuestro sistema energético actual (economía fósil) está basado en fuentes de energía no renovables, ya sea de origen fósil (carbón, petróleo, gas), o mineral (uranio). En contraste, las energías renovables (**EERR**) son inagotables a escala humana pues se actualizan constantemente a partir de la energía del sol (agua, viento, radiación solar) o de la tierra. Las **EERR** son por ejemplo la energía solar, la minihidráulica, eólica, biomasa, mareomotriz, y la geotérmica.

Estamos si no ante el final del petróleo, al menos si del petróleo barato. Quedan en el mundo petróleo para un mínimo de 40 años al nivel actual de consumo, y de carbón para 230 años⁶¹. Por comparar con las **ER**, basta decir que el sol aporta cerca de 7.000 veces nuestro consumo energético mundial total.

2.3.2 Ineficiente

Nuestro modelo energético es increíblemente ineficiente. Podemos comparar la energía primaria, es decir, la contenida en los combustibles, con la energía final tal y como se usa en los centros de consumo. En este caso, por cada unidad energética de electricidad que consumimos en nuestra casa son necesarias unas tres unidades energéticas de combustible fósil en las centrales térmicas. Todavía hay que considerar la energía necesaria para extraer, transformar y transportar estos recursos. En total se puede estimar que la eficiencia del sistema es tan sólo del orden del **3%**.

2.3.3 Centralizado

La clave de la ineficiencia del modelo energético actual es su centralización. Esta centralización está marcada por largas cadenas de producción, transporte y distribución. De hecho, nuestro sistema eléctrico se caracteriza por la lejanía de los centros de producción a los de consumo como se puede apreciar en las curvas de nivel de la figura 2.1.C. En estas gráficas se aprecia la distancia que existe entre zonas productoras (zonas

⁶¹El lector crítico puede encontrar un interesante estudio sobre disponibilidad de recursos naturales en B. Lomborg, “*El ecologista escéptico*” (Espasa Calpe, 2003).

elevadas en el gráfico) y zonas consumidoras (zonas bajas en el gráfico). La generación centralizada, transporte en redes de alta tensión, transformación y distribución final en baja tensión no sólo es ineficiente sino que se presta a la concentración del control del sistema por parte de un pequeño número de compañías eléctricas. El futuro modelo basado en mercados locales de energía que persigue la Unión Europea es una apuesta por la apertura del mercado (la supresión efectiva de los monopolios eléctricos) y la creación de mercados locales de energía.

El esquema centralizado contrasta con las posibilidades de la energía solar. Su materia prima, la radiación solar, es abundante, ubicua, limpia, y gratis. La energía solar es la energía mejor **distribuida** que existe, pues llega prácticamente a todos los tejados. Digamos que la energía solar se distribuye a sí misma y además el sol no pasa la factura luego. La energía solar fotovoltaica (**ESF**) nos permite tener electricidad de forma directa, sin necesidad de la larga cadena logística asociada al sistema eléctrico actual. De aquí su esperada primacía a largo plazo sobre el resto de energías renovables (ver el gráfico 3.3)

2.3.4 Oligopólico

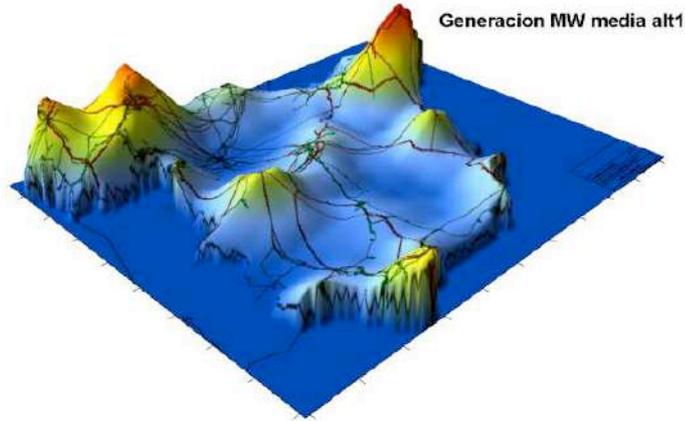
Otra de las claves de la economía fósil es su estructura oligopólica. No todos los países disponen de recursos fósiles. De acuerdo a la producción del 2.003 son tan sólo 11 países los principales exportadores de petróleo⁶². Ocho de ellos pertenecen a la Organización de Países Exportadores de Petróleo (**OPEC**). La formación de carteles para controlar los precios es propia de los oligopolios y difíciles de evitar en sistemas de producción centralizada. Por otro lado, las tensiones geopolíticas que desgraciadamente dominan la actualidad son en esencia propias de una lucha por el control de los recursos energéticos. El control de los recursos naturales, más que los choques culturales o religiosos, es la clave fundamental para entender las guerras del golfo, la de Chechenia, el conflicto del Sahara y un largo etcétera del panorama mundial. En nuestro modelo energético actual, estas tensiones no harán sino aumentar al ritmo de aumento de la demanda y agotamiento de los recursos. De no cambiar el modelo, esas tensiones nos llevarán a una situación crítica sobre el año 2.050 donde muchas de las curvas de agotamiento de recursos y saturación del sistema se cruzan entre sí definiendo una zona de inestabilidad estructural.

En contraposición a la centralización propia de la economía fósil, la economía solar, es decir, la basada en **ER**, es distribuida. Todos los países disponen en mayor o menor medida de **ER**. El cambio de un mundo gobernado por una economía fósil a uno basado en la economía solar conlleva una revolución no sólo desde el punto de vista energético. Supondría un cambio de la estructura geopolítica del mundo.

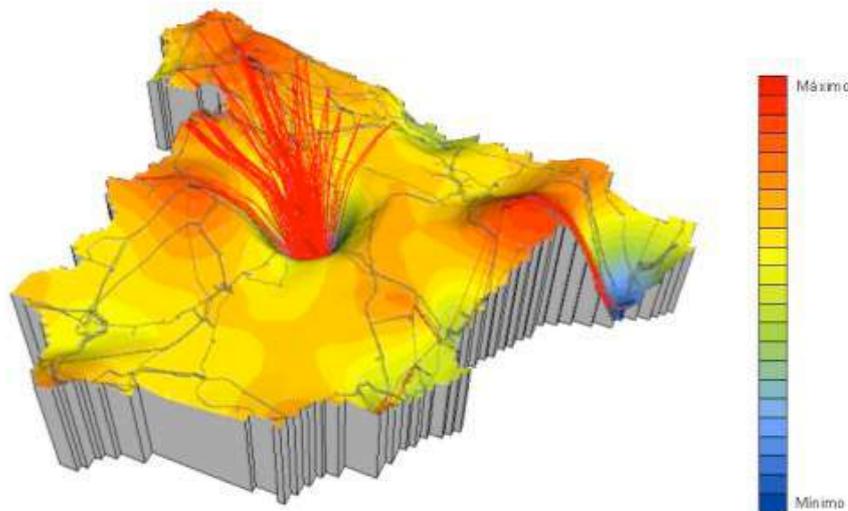
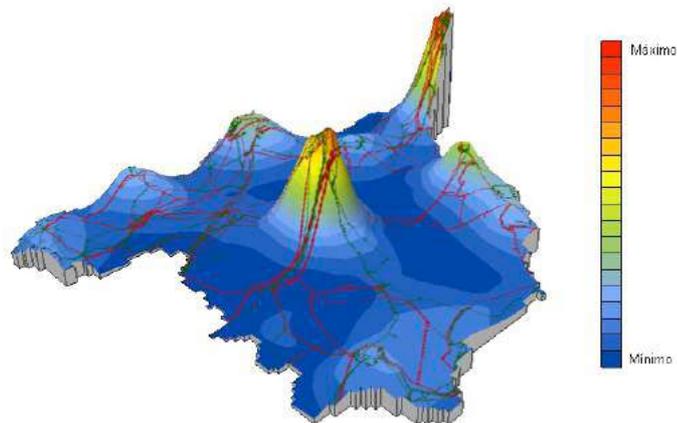
⁶²En este orden estos son: Arabia Saudí, Rusia, Noruega, Irán, Emiratos Árabes Unidos, Venezuela, Kuwait, Nigeria, México, Algeria y Libia.

Figura 2.1. A) Zonas de generación del sistema eléctrico español. B) Zonas de Consumo. C) Generación menos Consumo. Fuente: Red Eléctrica Española (REE).

Generación de electricidad



Demanda de electricidad en MW



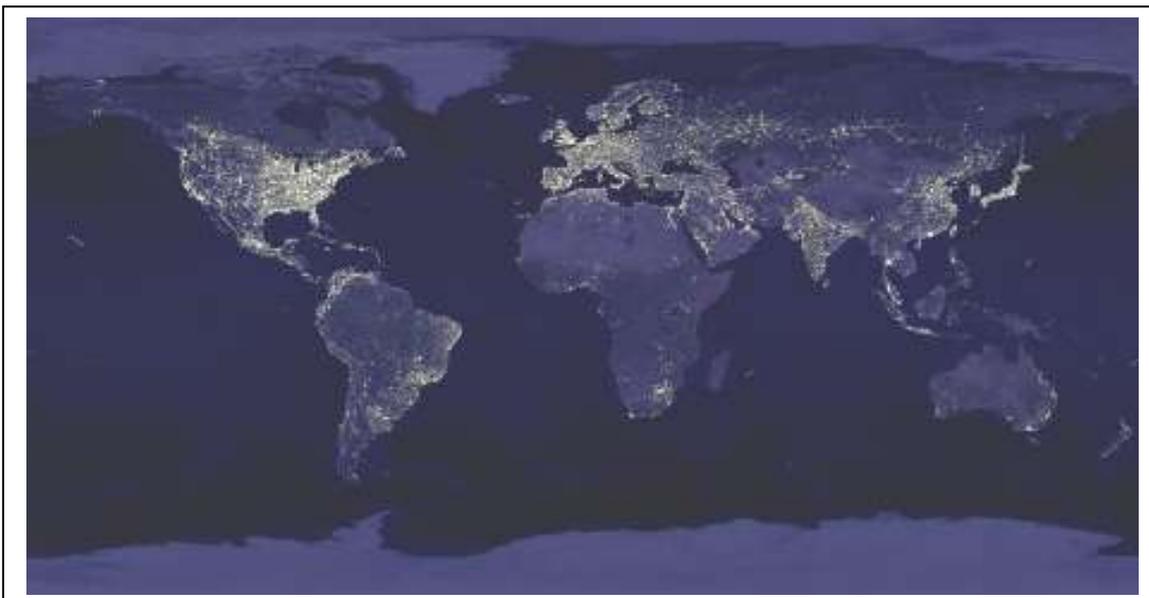


Figura 2.3. El mundo de noche: zonas de consumo eléctrico. Fuente: NASA.

2.3.5 Insolidario

Según la Agencia Internacional de la Energía (AIE), una de cada cuatro personas en el mundo no tiene acceso a la electricidad. La distribución espacial de estas 2.170 millones de personas sin electricidad aparece en la gráfica 2.3, donde se muestra una imagen del mundo de noche, mostrando claramente las zonas de consumo. Esta imagen es muy interesante y mucho más clara que cualquier histograma de consumo. Muestra directamente el consumo nocturno en iluminación eléctrica en el mundo. Se ve claramente brillar a las potencias industriales como EEUU, Europa y Japón. Como África una vez más es prácticamente un continente en oscuridad. Destacamos también a las nuevas luces India y China. Esas luces simbolizan el despertar del dragón asiático que analizaremos en el capítulo V.

El modelo energético actual centralizado es incapaz de solucionar el problema del acceso. De hecho, según el último informe World Energy Outlook 2009 de la Agencia Internacional de la Energía, si no cambiamos el modelo en el año 2.030 todavía 1.300 millones de personas no tendrán acceso a la electricidad, comparadas a las 1.500 millones de hoy.

2.3.6 Altamente impactante en el medio

El cuarto informe del grupo intergubernamental sobre cambio climático **IPCC** de la **ONU** es la evaluación más completa y rigurosa hecha jamás sobre el cambio climático. En ella se expresa clara, rotunda y enérgicamente que el hombre es responsable principal del calentamiento global observado en los últimos 50 años. La emisión de gases de efecto invernadero (**GEI**) en los últimos 200 años de revolución industrial (ver figura 2.4) ha arrojado a la atmósfera un 30% más de CO₂ de lo que había previamente, alcanzando cotas de 380 ppm. Durante al menos 650.000 años el nivel de CO₂ había oscilado ligeramente, pero nunca había superado las 300 ppm. Como vimos en el capítulo anterior, el desarrollo industrial del hombre ha entrado en el clima como un elefante en una cacharrería.

Las consecuencias son muchas y graves⁶³. Sobre todo en el país más afectado de Europa por el cambio climático: España⁶⁴. Si la temperatura media del planeta ha subido **0.74 °C** en el último siglo, en el siguiente subirá entre **1.8 y 4°C**. Somos parte afectada pero también corresponsable de este fenómeno. De hecho, los españoles producimos el 1,6% de las emisiones mundiales de CO₂ (unas 10 tn de CO₂ por habitante y año)⁶⁵. Sin embargo, nuestra población supone un porcentaje mucho menor en el ámbito mundial⁶⁶.

En España, el bajo precio de la electricidad da la sensación ficticia de que la energía es barata. Esto hace que los usuarios no nos hayamos concienciado suficientemente de la importancia del ahorro y eficiencia energética. En verdad la tarifa eléctrica no refleja sus costes reales. Lo que pagamos por el recibo de la electricidad es tan sólo una parte de su coste real. El Estado paga el resto, creando el llamado “déficit tarifario”. Como estos déficits vienen produciéndose desde el 2002, su importe acumulado a finales del 2.008 sobrepasaron los 14.000 millones de euros, es decir, casi el 1,3% del **PIB** del país, cantidad que pagarán los usuarios futuros. La electricidad es un bien precioso, escaso, y mucho más caro de lo que refleja nuestro recibo de la luz.

⁶³ Recomendamos la página www.theclimateprojectspain.org.

⁶⁴ Y eso sin tener en cuenta las oleadas de miles de refugiados climáticos que nos esperan procedentes del continente más castigado por el calentamiento global: África.

⁶⁵ Datos del antiguo secretario de Energía, D. Ignasi Nieto en el diario Expansión (07-02-2007).

⁶⁶ Somos un 0,66% de la población mundial, luego emitimos un 242% más de CO₂ por habitante que la media mundial.

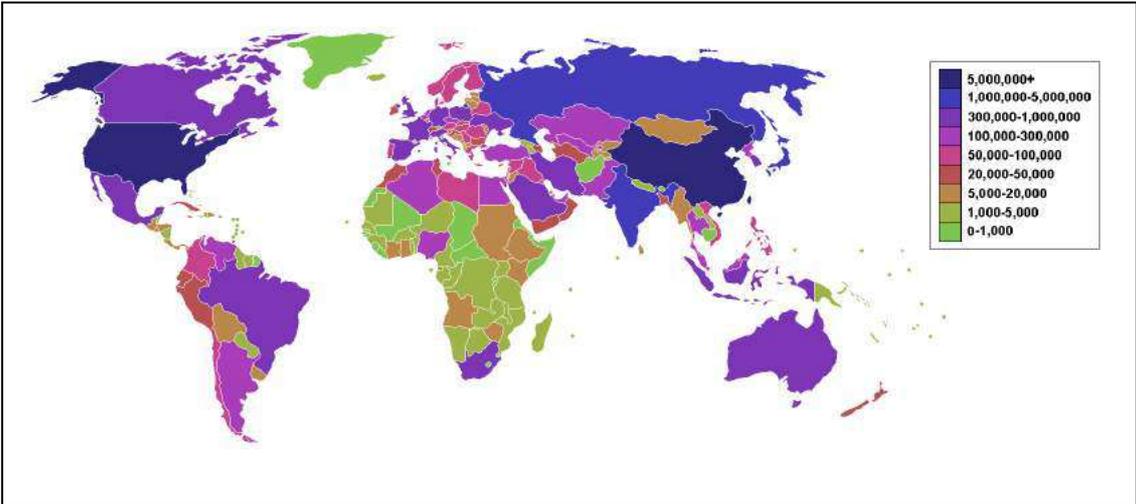


Figura 2.4. Mapa de países emisores netos de CO2 en el 2008. Foto: Wikimedia Commons.

Capítulo 3

Escenarios para el cambio

Este capítulo esta dedicado a la comarca de la Janda a la que me atan lazos de cariño en la esperanza que podamos legar su belleza a nuestros descendientes.

3.1 Introducción

Una vez expuesto el problema en los dos capítulos precedentes, analizaremos ahora su solución. Para ello empezaremos por examinar el coste ambiental de los distintos modelos de desarrollo económico. Veremos que existe un escenario, el **AIT**, que permite obtener un compromiso entre desarrollo económico y respeto al medio ambiente. Para finalizar, analizaremos por que la energía solar fotovoltaica (**ESF**) esta llamada a ser una pieza estratégica esencial de la sostenibilidad, y describiremos las diferentes ventajas del uso de las energías renovables.

3.2 Se abre el telón

En el capítulo uno hemos analizado extensivamente los informes del panel intergubernamental (**IPCC**) para el cambio climático de la **ONU**. Este organismo, auspiciado por la organización mundial de meteorólogos (**WMO**), ha presentado uno de los informes científicos más elaborado de la historia de la humanidad, colaborando más de 2.500 científicos de 130 países diferentes. El **IPCC** por una parte ha determinado que en el siglo XX la temperatura media de la tierra ha subido 0.7°C. Por otro lado, el **IPCC** asimismo pronostica que la temperatura seguirá subiendo entre **1.8 y 4°C** en los próximos cien años. Esta subida depende por supuesto del modelo energético que el mundo adopte, es decir, de los diferentes escenarios. Cada uno de estos escenarios se caracteriza por un modelo de desarrollo económico que a su vez conlleva un impacto medioambiental determinado.

En la figura 3.1 se muestra la que creemos que es una de las figuras más ilustrativa del presente libro. En esta tabla dada en el **TAR**⁶⁷ se muestran las variaciones en la temperatura media de la superficie en el hemisferio norte⁶⁸ desde el año 1.000, extraídos a partir de datos por representación (anillos de los árboles, corales, testigos de hielo y registros históricos). Para el período 2.000–2.100, se muestran las proyecciones de la temperatura media mundial de la superficie para los seis escenarios ilustrativos del **IPCC**, estimadas mediante una simulación con sensibilidad climática media. El área gris marcada en el gráfico muestra la gama de resultados de un compendio de los 35 escenarios totales del **IPCC** además de aquellos obtenidos de una gama de simulaciones con diferentes sensibilidades climáticas. De la gráfica se aprecia claramente la preocupante subida de temperaturas que hasta para el caso más favorable nos espera durante este siglo. Si la temperatura media del planeta ya ha subido 0.74°C en el siglo XX, nos espera una subida en el presente siglo de entre 1.8 y 4°C según el **AR4**. Para dar una idea del grado de importancia de este incremento podemos señalar que la temperatura media global correspondiente al punto más álgido durante la última glaciación fue tan sólo 5°C más baja que la actual.

No obstante, vemos que esta subida depende fuertemente del tipo de escenario en cuestión que utilicemos en los modelos. Nos merecemos por tanto una explicación más detallada de estos escenarios, pues cada uno de ellos involucra decisiones que afectan directamente a nuestra forma de vida. Abramos “el telón” por tanto a los distintos tipos de escenarios pues son en definitiva los escenarios de esta obra de teatro que llamamos futuro.

⁶⁷ http://www.grida.no/publications/other/ipcc_tar/.

⁶⁸ No se dispone de los datos correspondientes para el Hemisferio Sur.

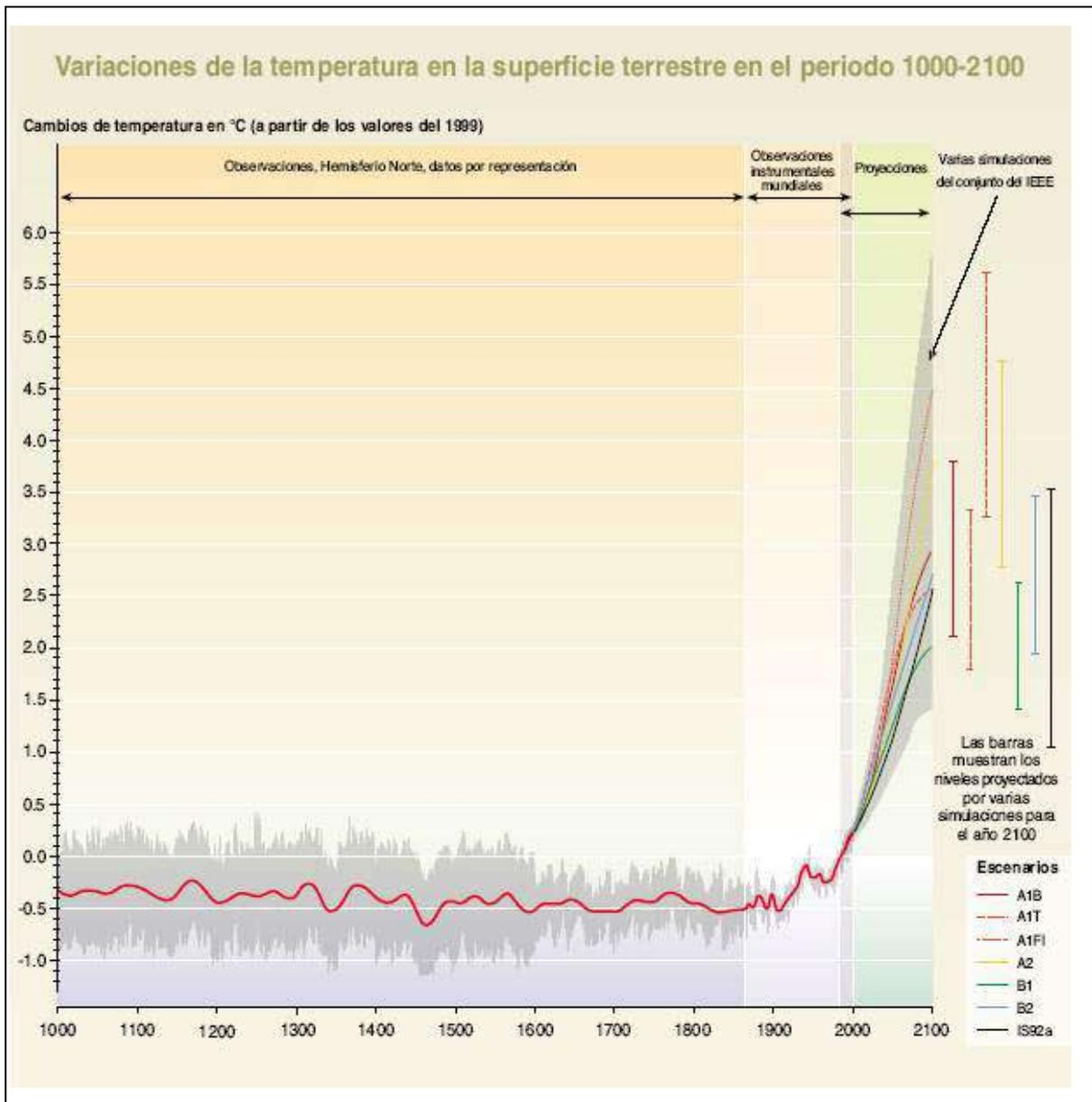


Figura 3.1. Variaciones en la temperatura media de la superficie en el Hemisferio Norte desde el año 1000. Asimismo se incluyen las predicciones de los distintos escenarios del IPCC. Fuente: TAR-IPCC.

Los modelos científicos considerados por el **IPCC** abarcan cinco importantes elementos básicos: la atmósfera, los océanos, la superficie terrestre, los casquetes polares y la biosfera terrestre. Estos modelos están agrupados en escenarios dependiendo de la respuesta que el hombre tome ante el cambio climático. Los escenarios se clasifican fundamentalmente atendiendo a dos dimensiones básicas: los escenarios A describen un mundo más preocupado por la economía, mientras los escenarios B muestran un mundo preocupado por el medio ambiente. Asimismo, los escenarios globalizados se etiquetan por el subíndice “1”, mientras que los regionalizados lo hacen por el “2”, tal y como se muestra en el gráfico 3.2. El escenario A1 se subdivide por su importancia en tres subescenarios claves:

- ▶ **A1F1**: Escenario intensivo en combustibles fósiles (como el actual).
- ▶ **A1B**: Escenario equilibrado entre combustibles fósiles y no-fósiles.
- ▶ **A1T**: Escenario que refleja una transición hacia combustibles no fósiles.

Los escenarios “A1” describen un mundo con un rápido crecimiento económico, una población mundial que alcanza su punto máximo a mediados de siglo pero que decrece posteriormente y una rápida introducción de nuevas tecnologías. Sus tres subcategorías dependen de un factor clave: el impacto de la tecnología en el cambio del modelo energético. El escenario **A1F1** describe un mundo rico pero con un enorme impacto medioambiental por emisiones de **GEI**. El escenario **A1T** predice un crecimiento económico similar al **A1F1** pero solucionando el problema de las emisiones de CO_2 a mediados de siglo. El escenario **A1T** evoluciona hacia un **80%** de aporte energético mediante fuentes renovables en el 2.100.

Los escenarios A predicen un mundo mucho más rico que los escenarios B. De hecho, **A1T**, **A1B** y **A1F1** predicen un mundo con un 50% más de ingresos per cápita que el escenario **B** más cercano para el caso de los países desarrollados, y un 75% más en el caso de los países en desarrollo. **A1T** es, de hecho, la solución menos traumática para reducir las emisiones futuras de CO_2 . Como vemos en la tabla 3.1 las proyecciones asociadas a los escenarios **A1T** y **B2** no están muy alejadas entre sí. Estos datos se han refinado en el **AR4**, en donde se muestra el mismo intervalo de subida de temperaturas de 1.4°C - 3.8°C para ambos escenarios **B2** y **A1T**, y un mismo valor para el cambio de temperatura en 100 años de 2.4°C .

Curiosamente, el factor más importante para alcanzar este escenario **A1T** estriba en lo rápido que seamos capaces de abaratar el coste de instalación de las energías renovables. Este hecho determina el análisis de la importancia de la energía solar para combatir el cambio climático. Anticipamos que, como señala un estudio del *Journal of Political Economy*⁶⁹, la clave es conseguir un abaratamiento del 50% por década de la energía solar fotovoltaica, lo que puede conseguir una sustitución masiva de los combustibles fósiles por energía solar durante 2.030-2.060. Este escenario conduce a un aumento de la temperatura tan sólo de **0.7°C** durante los próximos 50 años. Desde este punto de vista el

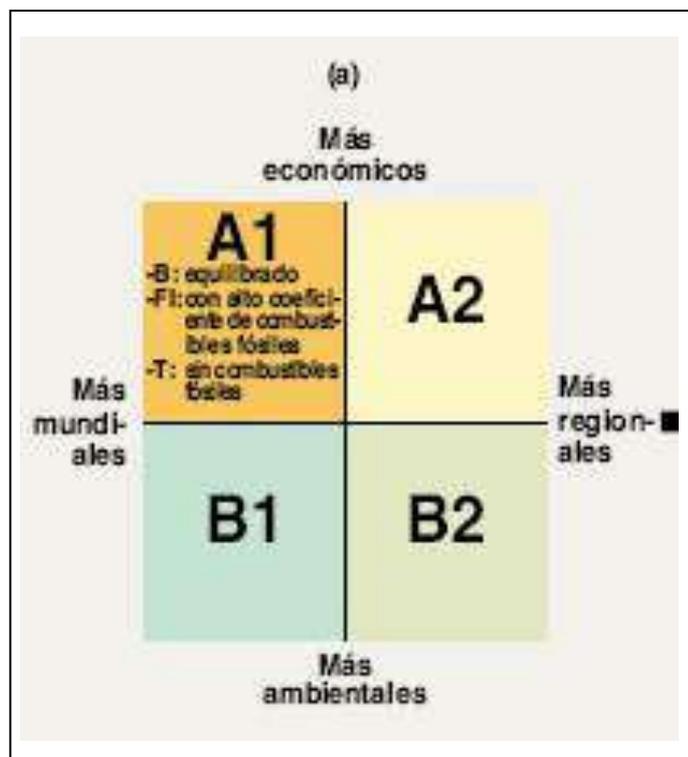


Figura 3.2. Cuatro categorías de escenarios principales del IPCC.

⁶⁹ Chakravorty et al, 1997.

objetivo actual del mercado solar europeo más que producir electricidad es reducir los costes.

No hay que pasar por alto el enorme potencial de las energías renovables. Según un reciente informe realizado conjuntamente por la Asociación Europea de la Industria Fotovoltaica (**EPIA**) y Greenpeace, España tiene de hecho potencial en energías renovables suficiente para cubrir 56 veces las necesidades de consumo previstas para el año 2.050. En la figura 3.3 se muestra⁷⁰ la previsión de crecimiento para las distintas formas de energías renovables. La energía solar es la energía mejor distribuida que existe⁷¹, de aquí su esperada primacía a largo plazo sobre el resto de energías. Es la energía que puede acercar realmente la generación de energía a su consumo. Ya para el año 2.050 se espera que sea la primera fuente renovable de generación eléctrica. Es cierto que en el 2.010 el aporte de la energía solar fotovoltaica (**ESF**) al mix energético total es bajo en comparación con otras fuentes de **EERR** como la eólica (hoy en día el viento cubre el 11% de la demanda eléctrica de España frente al 1% de la **ESF**). No obstante, la **ESF** tendrá una fuerte contribución, no a cumplir el protocolo de Kyoto de 2.010, sino el de 2.030 y sucesivos. En el informe “Solar Generation IV”, de GreenPeace junto con la European Photovoltaic Association (**EPIA**) se señala que en poco más de veinte años se producirá en el mundo energía solar fotovoltaica suficiente para satisfacer el 60% de las necesidades de electricidad actuales de los países **OCDE** de Europa. Según este informe, en su hipótesis optimista, la contribución solar supondrá del 20% al 28% de consumo eléctrico mundial.

Las energías renovables es el nuevo paradigma de un modelo de crecimiento sostenible con independencia energética. Podemos imaginar cual es la importancia en términos políticos, económicos, geoestratégicos y sociales. Las energías renovables pueden cambiar al mundo.

⁷⁰ Facilitada por la Asociación Española de la Industria Fotovoltaica (ASIF) en el 2004.

⁷¹ Sale todos los días y llega a la mayoría de los tejados

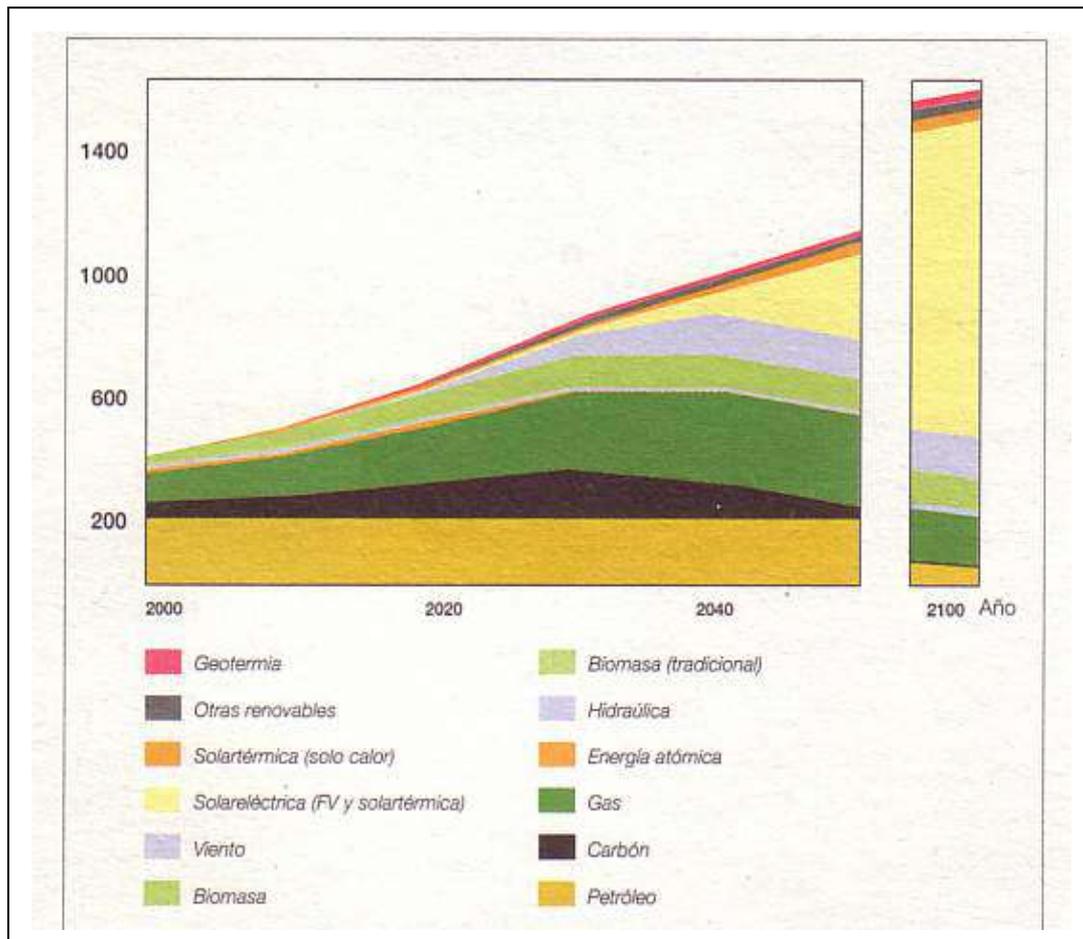


Figura 3.3. Previsión para el siglo XXI del consumo de energía primaria mundial (ExaJ/año). Notar la abrumadora primacía de la ESF (amarillo) para el año 2100. Fuente ASIF.

3.3 “Making A1T”

Hemos visto que existen distintos escenarios posibles de futuro dependiendo del tipo de decisiones políticas que se adopten para conciliar energía y medio ambiente. Asimismo, los escenarios globalizados se etiquetan por el subíndice “1”, mientras que los regionalizados lo hacen por el “2”. Afortunadamente, existe un escenario, el **A1T**, cuyo efecto es similar al escenario **B2** pero sin tener que renunciar drásticamente al crecimiento económico. Ahora bien, este escenario precisa una evolución del modelo energético hasta completar un **80%** de aporte energético mediante fuentes renovables en el 2.100. La clave para ello es conseguir un abaratamiento del 50% por década de la energía solar fotovoltaica, lo que puede conseguir una sustitución masiva de los combustibles fósiles por energía solar durante el periodo 2.030-2.060.

Para conseguirlo necesitamos activar la producción, para que la curva de experiencia de la industria fotovoltaica haga bajar los precios. Este es de hecho el efecto observado en la figura 3.4, donde se aprecia una sustancial bajada de los precios con el volumen de mercado. La razón de esta subida de la demanda la encontramos en la **ley de Energía Renovable (EEG)** nacida en Alemania, que incentiva la instalación de plantas de generación eléctrica de conexión a red basada en energías renovables (**ER**) mediante tarifa subvencionada. Este modelo ha sido copiado en múltiples países europeos, entre ellos España⁷². Gracias a ello somos ahora el segundo país en potencia eólica instalada a nivel mundial, y los segundos de Europa y cuartos del mundo en energía solar fotovoltaica (**ESF**).

La reducción de precios de los paneles fotovoltaicos se muestra en la figura 3.4. Esta reducción de precios se explica por el incremento espectacular de la producción de módulos en los últimos 10 años, superior al 30% anual. Actualmente tenemos paneles de silicio por debajo de los 2€/Wp e instalaciones de cubiertas fotovoltaicas de conexión por debajo de 4€/Wp⁷³. Dado que los costes de las **EERR** bajan en el tiempo y los de la generación convencional de energía eléctrica suben, llegará un momento en las **EERR** no necesiten más subvenciones del estado y sean totalmente competitivas a precio de mercado. Es lo que los técnicos llaman “paridad de red” (grid parity en inglés). Los países en alcanzar primero la paridad de red en **ESF** en Europa serán Italia y España. Esto es fácil de comprender pues son primero países del sur de Europa con una alta irradiación solar. Por otro lado son países con una alta dependencia energética exterior y por ende, con un alto coste de la energía convencional. La buena noticia es que la “grid parity” (paridad de red) fotovoltaica llegará en España pronto, del 2013 al 2015, y en eólica, incluso antes. Para explicar este importante concepto analicemos la figura 3.5. Esta es una gráfica cualitativa genérica de la Asociación Europea de la Industria Fotovoltaica (**EPIA**) en el contexto europeo. En ella observamos que el coste por kWh producido de la **ESF** disminuye en el tiempo (franja verde), mientras que el precio de las fuentes convencionales de electricidad aumenta (zona rayada). La curva verde

⁷² La Ley del Sector Eléctrico 54/1997, fue la primera que estableció en España un Régimen Especial para aquellas instalaciones que utilicen fuentes de energía renovable. La tarifa subvencionada que supuso el “boom” del sector apareció en la Ley del régimen especial de productores de energía eléctrica RD 436/2004.

⁷³ Para instalaciones “tipo” de 100kWp.

inferior corresponde a la zona de alta productividad, como es el caso de España dada su alta insolación. El rayado en rojo corresponde al precio de la electricidad en la hora pico de demanda, mientras que la inferior corresponde al precio promedio.

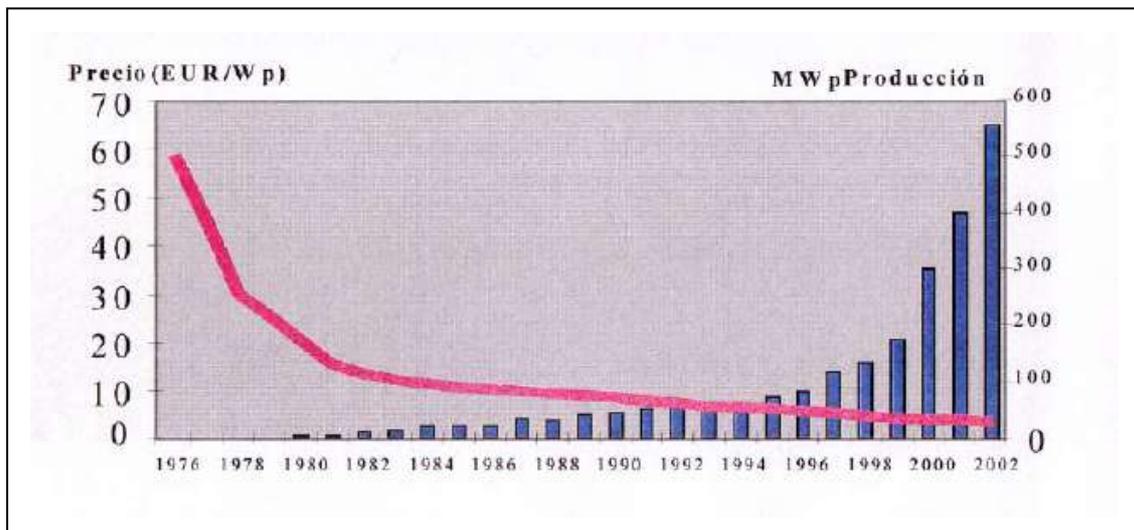


Tabla 3.4. Caída de precios de paneles de silicio (rojo) a medida que aumenta el volumen del mercado (azul) desde 1976 al 2002. Fuente: ASIF.

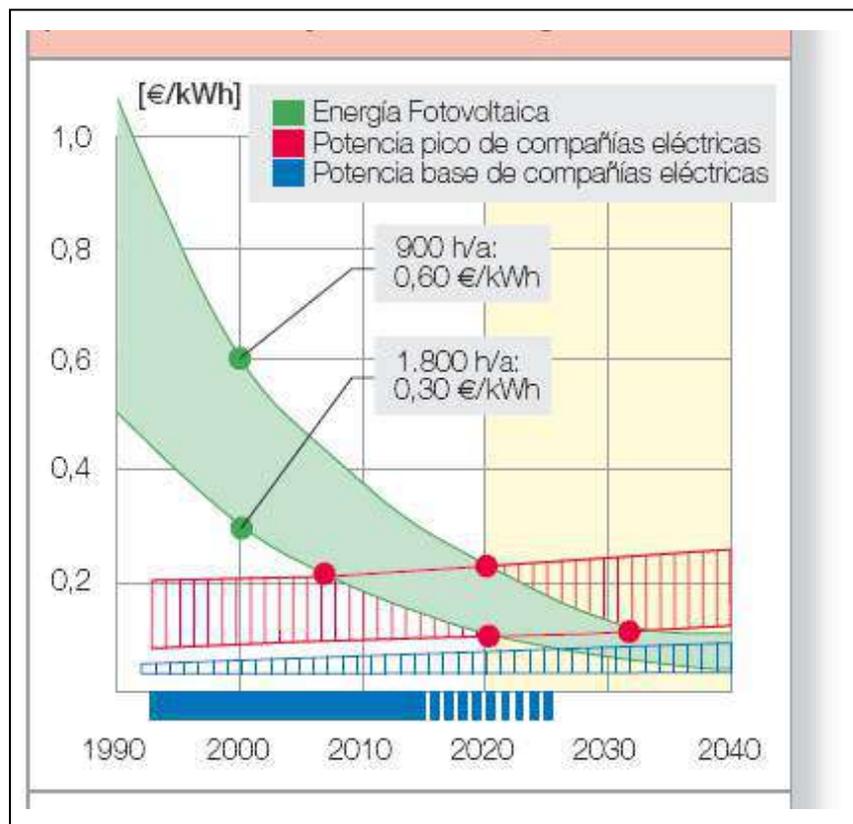


Figura 3.5. Curva de competitividad de la ESF. Fuente: Solar Generation IV. EPIA.

Si el precio de las **EERR** baja y el de las energías convencionales sube, llegará un momento en el que ambas curvas se corten, es decir, que ambas energías cuesten lo mismo al consumidor. Este es el momento de paridad de red, el cual se alcanzará primero como hemos visto en los países meridionales, extendiéndose progresivamente hacia el norte. Por consiguiente, mucho antes del año 2.020 la **ESF** será competitiva en el mercado eléctrico de nuestro país, sin que hagan falta más subvenciones de ningún tipo para despegar el sector.

Todas las energías han estado subvencionadas inicialmente, incluso el petróleo. No es descabellado conceder una década de incentivos al sector de las **EERR**, como una inversión de la sociedad en energías limpias. Como veremos posteriormente, la sociedad puede conseguir múltiples retornos de esta inversión, como los entre tres y seis millones de empleos en el mundo que según la **EPIA**⁷⁴ generará El sector **FV** para el 2.030.

⁷⁴ Informe “Solar Generation IV” de GreenPeace y la European Photovoltaic Industry Association (EPIA)

3.4 Renovables en acción

Según la Agencia Europea del Medio Ambiente (AEM), el **Desarrollo Sostenible** es *aquel que asegura la satisfacción de las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer las suyas propias*. En el terreno energético ello supone utilizar fuentes que se renuevan constantemente en la naturaleza como lo son el agua, el viento o el sol, entre otras. Las energías renovables responden a este anhelado modelo de progreso sostenible que reclama el protocolo de Kyoto. En el Tratado de Ámsterdam de 1.997 los gobiernos de la UE acordaron de hacer del desarrollo sostenible uno de los objetivos primordiales de la unión. Las Energías Renovables cuentan con el pleno apoyo de la Unión Europea como una herramienta fundamental para el desarrollo sostenible.

Se conocen por tanto como **Energías Renovables (ER)** aquellas que se producen de forma continua y que son inagotables a escala humana. Según Javier Anta, presidente de la Asociación de la Industria Fotovoltaica (ASIF), las **EERR** son aquellas que reúnen tres condiciones básicas:

- **Energía útil:** es decir, que nos proporcione energía que podamos usar directamente, como la electricidad, combustibles o el calor.
- **Inagotable:** en la escala de tiempo humana. Como por ejemplo la de un sol que durará todavía otros cinco mil millones de años.
- **Limpia:** es decir, que en el proceso de generación y uso de esta energía no se produzcan procesos nocivos para el medio ambiente.

Las energías renovables son energías **alternativas** al uso de combustibles fósiles no renovables, como el petróleo. Son además, fuentes de abastecimiento energético respetuosas con el medio ambiente. Existen diferentes fuentes de energía renovables, dependiendo de los recursos naturales utilizados para la generación de energía. Por ejemplo, son fuentes de energía renovable las plantas minihidráulicas, las eólicas, las de biomasa, las solares, las geotérmicas, y las que aprovechan la energía de las olas y las mareas. Todas las **EERR**, excepto la geotérmica y la mareomotriz, proceden de una forma u otra del sol. Por ejemplo, la radiación solar calienta de forma irregular a la atmósfera. El aire caliente se dilata y el frío se condensa. La diferencia de presión produce el movimiento de masas de aire: es decir, el viento. De hecho, del 1% al 2% de la radiación solar se convierte en viento, es decir, en energía eólica que aprovechan nuestros molinos aereogeneradores de electricidad. El viento y la radiación provocan a su vez la evaporación de las masas de agua que nutrirán a las centrales minihidráulicas. Por otro lado, el sol alimenta a las plantas verdes son capaces de transformar energía solar en energía química mediante el proceso que conocemos como fotosíntesis. Estas absorben CO₂ de la atmósfera y utilizan la energía del sol para transformarlo en oxígeno y carbohidratos. Las plantas verdes, base de la cadena trófica, son el origen de toda la biomasa.

3.4.1 Ventajas de las EERR

El uso de energías renovables posee tres tipos de ventajas: medioambientales, estratégicas y socio-económicas, que pasamos a analizar.

Ventajas medioambientales:

- **Limpieza:** Las **EERR** son limpias. A diferencia de las energías fósiles, las **EERR** no producen apenas emisión de CO₂ a la atmósfera ni de gases contaminantes. Las emisiones generadas durante el proceso de fabricación de los componentes de las instalaciones de energía renovables son compensados hoy en día rápidamente por las emisiones ahorradas por las mismas durante su tiempo de vida útil.
- **Residuos:** Las **EERR** no generan residuos de difícil tratamiento como lo hace especialmente la energía nuclear, y en menor medida, los combustibles fósiles. Estos residuos suponen una amenaza para el medio ambiente durante generaciones.
- **Disponibilidad:** Las **EERR** son inagotables, pues las renueva los propios ciclos naturales. Los combustibles fósiles son limitados. De hecho, en el año 2.020 habremos consumido la mitad de las reservas de combustible mundiales.
- **Impacto ambiental:** El impacto ambiental en la generación de electricidad de las energías convencionales es **31 veces** superior al de las energías renovables, según los resultados del estudio "*Impactos Ambientales de la Producción de Electricidad*", elaborado por **AUMA**.
- **Bajo TRE:** El tiempo de retorno energético (**TRE**) es el tiempo que tarda la generación de energía en compensar la energía que se usó para producir el sistema, es de 1 a 3.5 años, lo que está muy por debajo de su tiempo de vida previsto de más de 25 años..

Ventajas estratégicas:

- **Deslocalización:** Las **EERR** son autóctonas, mientras los combustibles fósiles se localizan en un número reducido de países, y por tanto provocan dependencia exterior.
- **Desarrollo tecnológico:** Las **EERR** han permitido a España desarrollar tecnologías propias, mientras que la convencional importa casi toda su tecnología.

Ventajas socioeconómicas:

- **Empleo:** Las **EERR** crean en promedio 5 veces más puestos de trabajo que las convencionales por unidad de energía generada. De hecho, las energías convencionales crean muy pocos puestos de trabajo respecto a su volumen de negocio. Así, con datos correspondientes a 2007, tanto el Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud (**ISTAS**) como la Asociación Empresarial Eólica (**AEE**) cifran en 189.000 empleos los generados en el

sector de renovables⁷⁵ en España entre puestos directos e indirectos. La tendencia, además, se consolida en todo el mundo. De acuerdo con un informe de la Dirección General de Energía de la Comisión Europea, en Europa el número de empleados en las renovables asciende a 1,4 millones. En todo el mundo, la cifra ronda los 2,3 millones; y se multiplicará por 10, hasta **20 millones** en 2030, si se cumplen las previsiones adelantadas por la Organización Internacional del Trabajo (**OIT**).

- ➔ **Equilibrio:** Las **EERR** contribuyen decisivamente al equilibrio interterritorial, pues suelen instalarse en ámbitos rurales. Las convencionales suelen procesarse en zonas muy desarrolladas. De hecho, en el mundo, no hay más de 17 países exportadores netos de petróleo del total de más de 200 países existentes.

Las razones de la primacía de las **EERR** sobre las fuentes de energía fósil convencionales se resumen en la tabla 3.6.

Tipo de razones	ER	E. convencionales
Medioambientales	Limpias	Contaminan
	Sin residuos	Generan emisiones y residuos
	Inagotables	Limitadas
Estratégicas	Autóctonas	Provocan dependencia exterior
	Fomentan el desarrollo tecnológico	Usan tecnología importada
Socioeconómicas	Equilibran desajustes interterritoriales; se suelen instalar en zonas rurales	Concentración en zonas desarrolladas.
	Generan 5 veces más empleo por MW que las convencionales	Escasa generación de empleo respecto a su volumen de negocio

Tabla 3.6. Ventajas de las **EERR** sobre las energías convencionales.

Por otro lado, entre las **EERR** destaca la energía solar fotovoltaica. Como hemos visto es la única fuente de energía renovable capaz de acercar la generación al consumo mediante integración arquitectónica, pues la solar es la energía mejor distribuida que existe. Por otro lado es una tecnología modular, silenciosa, sin partes móviles, bajo mantenimiento, que no produce emisiones ni residuos y con un bajo impacto visual. Por todas estas razones la energía solar fotovoltaica es la solución paradigmática en la que fundamentar los futuros mercados locales de la energía.

También hay que comentar como desventaja que la energía solar y eólica no son gestionables sino fluyentes, es decir, la intensidad de energía eléctrica generada depende de las condiciones climáticas y son por tanto impredecibles a corto plazo, lo que afecta la estabilidad de la red eléctrica. No obstante, las centrales solares y eólicas pueden hacerse gestionables si se complementan con una central de energía renovable gestionable, como lo son las centrales de biomasa. Los sistemas de **EERR** actúan de forma más efectiva cuando se complementan entre sí.

⁷⁵ De ellos, 37.730 corresponderían al sector de la energía eólica.

Por otro lado, las **EERR** pueden liberarnos de la tiranía de la red. Examinemos este importante concepto en la siguiente sección.

3.4.2 La revolución renovable de Greenpeace

Según un informe publicado en Noviembre del 2005 conjuntamente por la European Photovoltaics Industry Association (**EPIA**) y **Greenpeace**, España tiene un potencial de **EERR** suficientes para satisfacer 56 veces la demanda de electricidad prevista para el año 2.050 y 10 veces la demanda de energía total. En un segundo informe emitido en Abril del 2007 y elaborado para Greenpeace por expertos del Instituto de Investigación Tecnológica de la Universidad Pontificia de Comillas se amplía este trabajo con el estudio de viabilidad técnica y económica de un sistema de generación eléctrica peninsular 100% renovable. Basándose en estos datos Greenpeace invita a la revolución renovable⁷⁶ que supondría ir hacia un modelo energético integral basado al 100% en **EERR**. Para estos estudios se han optimizado económicamente diversos mix energéticos de **EERR**, aplicando una diversificación tecnológica en función de que fuentes de **EERR** son más abundantes en cada comunidad autónoma.

La principal aportación de este estudio, como él mismo reconoce, reside en plantearse por primera vez en la historia de España la viabilidad técnica y económica de los sistemas de generación 100% renovables, y la metodología de trabajo que establece. Los objetivos de **Greenpeace** son más exigentes que los del escenario **A1T** (100% de renovables para el 2.050 del primero, frente a 80% para el 2.100 del segundo). En cualquier caso, comparten en lo cualitativo el mismo espíritu: producir un cambio del modelo energético hacia energías limpias a un coste económico asimilable⁷⁷.

Conviene enfatizar que las fuentes de energía renovables son abundantes. Por ejemplo, la energía solar que recibe la tierra no es nada desdeñable. De hecho, es la energía primaria que bombea a nuestra biosfera fuera del equilibrio. La energía total consumida por la humanidad en el mundo es 7.000 veces menor que la energía solar que incide sobre la superficie de la tierra. Un sólo metro cuadrado recibe al cabo del año la energía equivalente a un barril y medio de Brent⁷⁸. Arabia Saudita recibe al año 1.000 veces más energía del sol que la que produce por sus recursos de petróleo y gas. En el caso de España, como indica Angel Caño de la Asociación de Productores de Energías Renovables (**APPA**), España consume cada año de electricidad el equivalente a la producción de un cuadrado de 33 km de lado. Además, a diferencia del petróleo tenemos energía solar garantizada para al menos 6.000 millones de años, antes de que el sol acabe engulliendo a la tierra en su fase de gigante roja.

⁷⁶ Ver www.energias.greenpeace.es

⁷⁷ 120.000 millones de euros, un 0.5% del PIB para alcanzar la meta del 100% en 25 años según el informe.

⁷⁸ El Brent es un tipo de petróleo que se extrae principalmente del Mar del Norte y que marcar la referencia en los mercados europeos.

3.4.3 Los costes de las ER

Los sectores críticos frente a las **EERR** suelen aducir en primer lugar su coste muy superior al de las energías convencionales. No obstante, la comparación directa entre los precios de las energías convencionales y las renovables no hacen justicia al sector pues ambos precios no son directamente equiparables. Las primeras no computan en sus costes las externalidades del sistema. Es decir, si pudiéramos computar todos estos costes, desde el riesgo geopolítico que comportan, la esclavitud de la dependencia energética, los accidentes tipo “Prestige”, el impacto medioambiental, y el coste de la

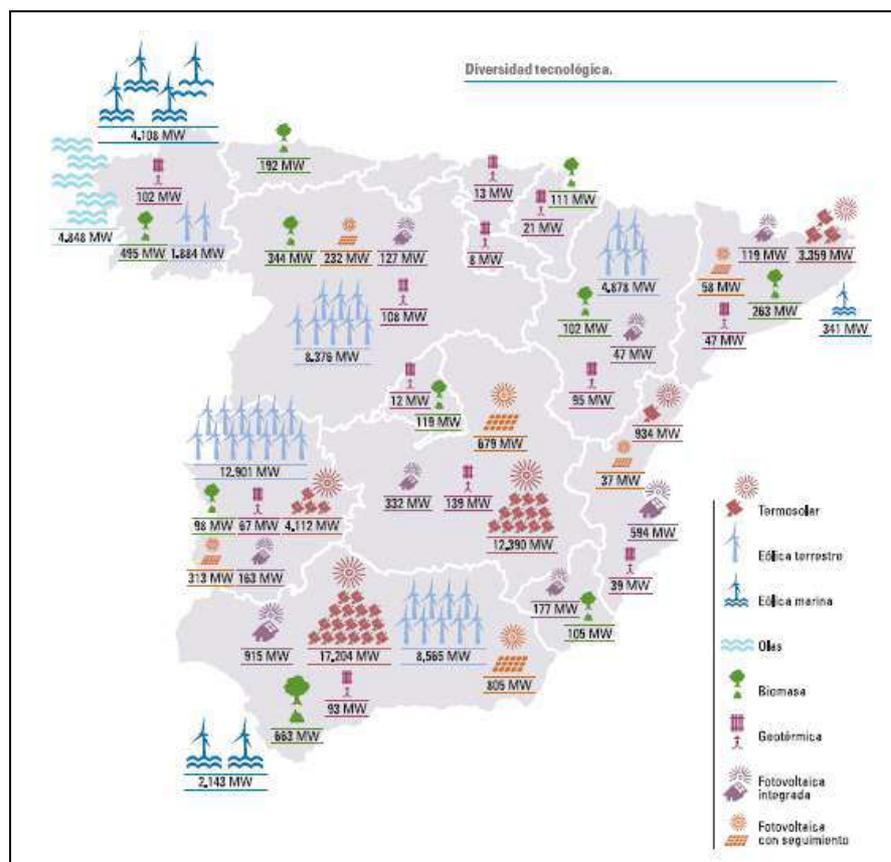


Figura 3.7. Ejemplo de un escenario 100% renovable. Fuente: Informe Renovables 100%. Greenpeace, 2007.

limpieza de la contaminación producida el balance de precios sería muy distinto. No obstante, aún así, dado su extraordinario dinamismo el coste de las **EERR** desciende rápidamente, mientras que el coste de las energías convencionales sigue subiendo constantemente en el tiempo con lo que se llegarán a cortar en un momento dado. Como hemos visto en el apartado 3.3, el coste de instalación de la **ESF** de conexión a red ha descendido últimamente a un ritmo del 5% anual pudiendo llegar a precios de libre mercado ya entre el 2.013 y el 2015 según la **ASIF**. Un informe de la **EPIA**⁷⁹, se señala a Italia y España como los países europeos en donde se alcance antes la paridad entre la

⁷⁹ Asociación de la Industria Fotovoltaica Europea. Cinco Días, 5-09-2008.

generación fotovoltaica y el precio de la electricidad. Esto se debe a que somos los países con más alta radiación solar y también con los precios de la electricidad más altos. De hecho, la mayoría de los países europeos alcanzaron la paridad sobre el 2.020. En el caso de la eólica, la reducción de precios producida en España es similar: 40% en 10 años. En este caso, le queda muy pocos años de hecho a los molinos para ser competitivos a precio de mercado, es decir, sin ningún tipo de subvención ni tarifa especial.

El sistema de mercado de derechos de emisión surgido tras el Protocolo de Kyoto permite que se comience a incluir costes ambientales en las cuentas de resultados de las tecnologías convencionales. Este sistema permite que países desarrollados que hayan superado su cuota de derechos de emisión conforme a lo asignado por el Protocolo de Kyoto, puedan comprar a países que todavía no lo han copado sus derechos de emisión. De esta manera se establece un coste económico para la tonelada de CO₂ emitida de más que revierte en los países menos desarrollados. El concepto se apoya en el carácter global del clima, es decir, que para el calentamiento global es la cantidad total de CO₂ en la atmósfera lo que importa, y no su distribución geográfica. El sistema de mercado de derechos de emisión pueda parecer a priori una estratagema arrogante del primer mundo para seguir contaminando. No obstante, lo cierto es que una vez analizados los diferentes escenarios **IPCC** de desarrollo económico y medioambiental resulta esencial disponer de este tipo de mecanismos de transvase y acoplo de los mercados energéticos y ambientales. Dicho de otra forma, estos mecanismos son especialmente efectivos en nuestra lucha a largo plazo contra el calentamiento global. Más bien, el principal problema es que el mercado todavía no se ha estructurado y que los derechos de emisión asignados han sido demasiado laxos. Para el año que viene, el 2.008, se espera que el coste de la tonelada de CO₂ suba todavía más y se sitúe en torno a los 20 €, lo que redundará aún más la balanza a favor de las **EERR**.

En segundo lugar, ciertos sectores críticos aducen también que las **EERR** tienen un alto coste para la sociedad pues están fuertemente subvencionadas. Curiosamente, según la propia Agencia Internacional de la Energía (**AIE**) las energías no renovables reciben 250.000 millones de dólares anuales, frente a los 16.000 millones de dólares de ayudas públicas que reciben las energías renovables. Seguimos anclados en la inercia del apoyo estatal a la economía fósil. Por otro lado, todas las energías han necesitado al principio de su desarrollo el apoyo del estado, y desde luego el petróleo entre ellos. No parece sensato negar a las energías limpias el apoyo que otras energías que no lo son han recibido.

En tercer lugar, las energías convencionales son responsables del 80% de los **GEI**. El 4 de Mayo de 2007 fue aprobado el documento sobre medidas de mitigación del **AR4** del **IPCC**. Según este documento seguimos emitiendo **GEI** a un ritmo frenético. De hecho, las emisiones de **GEI** aumentaron un 70% entre 1979 y 2004. El mayor responsable de esta subida es el suministro energético, cuyas emisiones han subido un 145%, seguido del transporte con un 120%, y la industria con un 65%. Con las actuales políticas las emisiones seguirán subiendo todavía más en los próximos años.

El documento, aprobado por representantes de 105 países, cuantifica el coste necesario para reducir las emisiones de **GEI** en las próximas décadas. Actualmente, la concentración de CO₂ en la atmósfera está en torno a los 290 ppm. Las medidas para

que esta concentración no supere las 535 ppm para 2.030 costarán más del 0,12% anual del **PIB** mundial hasta entonces. Este coste puede bajar hasta el 0,06%, pero a expensas de dejar subir las emisiones hasta llegar a 710 ppm.

Este mismo informa señala que “*no hay excusas para esperar*”, pues el mundo ya dispone de tecnologías, políticas y recursos para hacer frente al problema. Los países desarrollados, que suman el 20% de la población mundial, generan el 57% del **PIB** mundial y son responsables del 46% de las emisiones, deben liderar los cambios.

En cuarto lugar, últimamente se ha cuestionado en diversos foros las primas a las fuentes renovables de energía eléctrica que vierten su producción a la red. La Comisión nacional de la Electricidad (**CNE**) ha planteado que se debería subir la factura eléctrica que pagan los consumidores nada menos que un 31%. Algunos han culpado de esta subida al sobre coste derivado de pagar primas a las renovables.

A estas alturas es buen momento de hacer cuentas. Centrémonos por ejemplo en el caso de los parques eólicos, ya que asumen la mayor parte del coste. La **CNE** estima en 991 millones de euros el coste de las primas de los molinos de viento durante 2008 (unos 23 euros por cada español) Este precio puede parecer elevado. No obstante, desde la Asociación Empresarial Eólica (**AEE**) replican con sus cálculos que también ahorraron a los consumidores 1.198 millones de euros al desplazar otras tecnologías más caras, lo que da un balance positivo de 207 millones de euros. Además, según aseguran, con el movimiento de las palas de los aerogeneradores evitaron la compra al exterior de combustibles fósiles (gas, petróleo y carbón) por valor de 1.000 millones de euros y evitan la emisión de 18 millones de toneladas de CO₂ que hubieran sido generadas por las otras plantas térmicas para producir la misma electricidad.

En conclusión, los defensores de las energías renovables sostienen que hemos conseguido desarrollar en España liderazgo mundial en un sector estratégico de futuro. Un sector que genera cinco veces más puestos de trabajo que las energías convencionales, que nos permite reducir la dependencia energética del extranjero, y que es fundamental en nuestra estrategia contra el cambio climático. Un sector por último que es un auténtico motor de I+D+i, de desarrollo tecnológico. Un sector que nos permite exportar tecnología. Por dar un ejemplo, Iberdrola se consolidó en el 2009 como líder mundial en energía eólica al alcanzar los 10.000MW. En definitiva, hemos desarrollado un sector que ha permitido que España vaya a China a vender parques eólicos. Un sector del cual nos podemos sentir orgullosos.

3.4.5 El informe STERN

Vamos a concluir este importante apartado 3.4 con la descripción del celebre informe Stern, el cual nos ayudará a esquematizar las conclusiones más importantes de este apartado.

Sir Nicholas Herbert Stern, Baron Stern de Brentford nace en 1.946 en Gran Bretaña. Procedente del mundo universitario, trabaja desde 1.994 hasta 1.999 como economista jefe del Banco Europeo de Reconstrucción y Desarrollo. Es un conocedor de las economías de los países en desarrollo. Fue vicepresidente del banco mundial del 2.000 al 2.003. Luego, como asesor del Gobierno Británico, realiza desde Julio del 2005 hasta su publicación el 30 de Octubre del 2006 en Informe Stern sobre el impacto económico del cambio climático. En 2007 fue designado Lord.

El informe Stern arroja las siguientes conclusiones:

- ▶ El cambio climático (CC) existe, es una amenaza real global y requiere de una respuesta global y urgente.
- ▶ Los beneficios de una respuesta rápida y decidida frente al CC compensa el esfuerzo, sobre todo si los comparamos con los costes que implicaría el no hacer nada al respecto.
 - No hacer nada supone dejar que el cambio climático afecte a los elementos básicos de nuestra forma de vida: acceso al agua, producción de comida, salud, entorno, etc. **Stern** calcula que el coste del calentamiento global puede suponer la pérdida anual del 5 al 20% del **PIB** mundial.
 - En contraste, el coste de la acción para estabilizar la concentración de **GEI** en la atmósfera en el rango 500-550 ppm de CO₂ equivalente se puede limitar al 1-2% anual del **PIB** mundial. Esto significa que ralentizar el crecimiento mundial del PIB en un 1-2% anual puede ser suficiente para crear un escenario que permita la estabilización a los rangos antes mencionados. Este pago puede ser considerado como una “prima de seguro” para evitar catástrofes climatológicas a gran escala.
- ▶ La respuesta debe ser inmediata. La inversión que se efectúe en los próximos 10-20 años tendrá un impacto profundo en el clima de la segunda mitad del siglo XXI. Nuestras decisiones actuales o la falta de ellas pueden provocar alteraciones económicas entonces similares a las de las grandes guerras o a la de la catástrofe de 1.929.
- ▶ Aunque todos los países se verán afectados, los que más sufrirán el impacto económico del cambio climático son los países que menos lo ha provocado: los países pobres.
- ▶ Debemos combinar dos tipos de estrategias:
 - De **adaptación** al CC: para minimizar su impacto. Por ejemplo, investigando en nuevos tipos de cosechas más resistentes.
 - De **mitigación**: para reducir en lo posible la emisión de GEI que aceleren aún más el CC.

- ▶ Todos los países se deben involucrar en la mitigación. Los flujos financieros desde el primer hacia el tercer mundo son esenciales para conseguir el desarrollo de tecnologías bajas en carbón⁸⁰.
- ▶ Mitigación y desarrollo económico no son excluyentes. Al contrario. Los cambios estructurales en la economía y en el modelo energético permitirán desacoplar el crecimiento de la emisión de **GEI**.
- ▶ Para no superar el límite de las 550 ppm, el sector de generación de potencia en el mundo debe decarbonizarse en un 60% para el 2.050, además de conseguir recortes drásticos de emisiones en el sector transporte
- ▶ Para corregir el CC son necesarios tres elementos de política económica:
 - Internalización: esto es, poner precio al carbón a través de impuestos, comercio o regulación.
 - Promoción de I+D+i de nuevas tecnologías limpias.
 - Promoción de la educación, ahorro y eficiencia energética.

En conclusión, según Stern el cambio climático es una externalidad económica causada por el hombre. Es por tanto el mayor fallo de mercado que el mundo ha conocido. Debemos incorporar los costes provocados en el medio por la emisión de **GEI** en el precio de los combustibles fósiles de donde proceden. No hacer nada al respecto puede resultar carísimo. El calentamiento global puede costarnos el 20% del **PIB** mundial.

Debemos tener en cuenta que en la etapa preindustrial la concentración de CO₂ en la atmósfera era de unas 300 ppm (partes por millón). Esto significa que había 300 moléculas de CO₂ por cada millón de moléculas de gas en la atmósfera. En la actualidad, a Noviembre del 2008, ya es de 385 ppm. La concentración esta creciendo rápidamente a un ritmo de 2,5-3 ppm por año, debido sobre todo a la contribución de las economías emergentes del sudeste asiático. Por tanto, si no hacemos nada al respecto, la concentración rebasará las 750 ppm a partir del año 2.100. Si esto sucede, hay una probabilidad superior al 50% de que la temperatura media de la Tierra aumente en más de 5°C. Esta subida tendrá un efecto dramático. Basta recordar que en la Edad del Hielo, hace unos 12.000 años, la Tierra sufrió un descenso de su temperatura media precisamente de esta magnitud, 5°C. En esta época la capa de hielo era tal que unía a las islas británicas al continente. De la misma manera, un aumento de 5°C supondrá el deshielo de los polos, aumento del nivel del mar en 10 mt, la desertización del sur de España, desplazamientos masivos de población, etc.

Desde este punto de vista un cambio del modelo energético hacia energías limpias no es sólo un deber ambiental, es asimismo una necesidad económica y, al mismo tiempo, una oportunidad de desarrollo. Debemos estabilizar la concentración de CO₂ al menos en torno a 550 ppm. En este rango la probabilidad de superar los 5°C de incremento de temperaturas es ya pequeño, menor al 3%. Lo más probable es que esta concentración conduzca a un aumento de 2-3°C. Para ello, es necesario que en el año 2050 la emisión total de **GEI** en el mundo sea la mitad de la que fue en 1.990. Esto equivale a reducir el volumen anual de emisiones a 20.000 millones de Tm de CO₂.

⁸⁰ Los mecanismos de desarrollo limpio (**MDL**) que comentaremos en el apartado 4.2 son una herramienta importantísima en este sentido.

El avance de tecnologías energéticas renovables permite desacoplar el crecimiento económico de las emisiones de **GEI**. Podemos seguir creciendo económicamente si somos capaces de cambiar a energías limpias. Debemos pasar a corto plazo a un marco energético dominado por las energías renovables. ¿Cuales?

Veremos en el próximo apartado un abanico básico de energías renovables que tenemos a nuestra disposición.

3.5 Renovando el mix energético

En esta sección vamos a describir los distintos tipos de energías renovables de mayor relevancia.

3.5.1 Energía Solar Fotovoltaica (ESF)

3.5.1.1 Historia de la tecnología fotovoltaica

Para dar una idea panorámica de la evolución del mercado fotovoltaico, exponemos brevemente la historia de la tecnología fotovoltaica.

El punto de partida arranca en **1.839**, cuando Edmund Bequerel, un físico francés, descubre el efecto fotovoltaico cuando experimentaba con dos electrodos metálicos en una solución conductora, y apreció un aumento de la generación eléctrica cuando eran iluminados. En 1.873 Willoughby Smith descubre el efecto fotovoltaico en sólidos, en el selenio. Poco después, en 1.877, W.G. Adams y R.E. Day producen la primera célula fotovoltaica de selenio.

Un paso de gigante en la comprensión teórica del efecto se produce en **1.905**. Albert Einstein publica su artículo sobre el efecto fotovoltaico, casi al mismo tiempo que su artículo sobre la teoría de la relatividad, una de las grandes construcciones del intelecto humano. Este es el año milagroso de Einstein, donde como el rey Midas, convierte en oro todo lo que toca. Uno de sus grandes hallazgos de este año es comprender el efecto fotoeléctrico en base a su nueva hipótesis: los cuantos de luz, ahora llamados fotones. En **1.921** Einstein gana el premio Nóbel por su explicación del efecto fotoeléctrico. Esta teoría fue básica para la construcción de la nueva ciencia: la Mecánica Cuántica. La Mecánica Cuántica es la obra maestra del conocimiento científico. A ella debemos comprender más de cerca a la naturaleza. Pero no sólo esto. Hoy por hoy el 30% del **PIB** mundial esta basado en aplicaciones de fenómenos físicos relacionados con la Mecánica Cuántica.

Una de estas aplicaciones es la célula fotoeléctrica. En **1.954** Los investigadores D.M. Chaplin, C.S. Fuller y G.L. Pearson de los Laboratorios Bell en Murray Hill, New Jersey, producen la primera célula fotoeléctrica de silicio. Publican en el artículo "*A New Silicon p-n junction Photocell for converting Solar Radiation into Electrical Power*", y hacen su presentación oficial en Washington. El impacto no se haría esperar. Al año siguiente, en **1.955**, se le asigna a la industria americana la tarea de producir elementos solares fotovoltaicos para aplicaciones de la industria espacial. **Hoffman Electronic**, empresa de Illinois, ofrece células de de 14 mW al 3% de rendimiento al precio tan astronómico como su aplicación de 1.500 \$/Wp. La carrera por aumentar la eficiencia de las células comienza. En **1.957** Hoffman Electronic alcanza el 8% de rendimiento en sus células.

El 17 de marzo de **1958** se lanza el **Vanguard I**, el primer satélite alimentado con energía solar fotovoltaica. El satélite lleva 0,1W en una superficie aproximada de 100 cm², para alimentar un transmisor de respaldo de 5 mW, que estuvo operativo 8 años. La Unión Soviética, en plena carrera espacial, muestra en la exposición Universal de

Bruselas sus células fotovoltaicas con tecnología de silicio.

La carrera continúa. En **1.959** Hoffman Electronic alcanza el 10% de rendimiento en sus células comerciales. En 1.962 se lanza el primer satélite comercial de telecomunicaciones, el **Telstar**, con una potencia fotovoltaica de 14W.

En **1963 Sharp** da un gran paso adelante y consigue una forma práctica de producir módulos de silicio. En Japón se instala un sistema de 242 W en un faro, el más grande en aquellos tiempos. Aumenta la potencia de los sistemas fotovoltaicos. En **1.964** el navío espacial Nimbus se lanza con 470W de paneles fotovoltaicos. En **1.966** el observatorio astronómico espacial lleva 1kW de paneles solares.

En **1.977** la producción de paneles solares fotovoltaicos en el mundo es de 500 kW pero en franca progresión. En **1.980 ARCO Solar** es la primera empresa con una producción industrial de 1 MW de módulos al año. Después le seguirían **Siemens** y después **Shell Solar**. **BP** entra en el mercado fotovoltaico este mismo año.

En **1.983** la producción mundial excede los 20 MW, pero habrá que esperar hasta **1.994** para que se celebre la primera Conferencia Mundial fotovoltaica en Hawai. La progresión de la producción mundial es ya imparable. En **1.998** se celebra la segunda Conferencia Mundial fotovoltaica en Viena. En este año se alcanza un total de 1.000 MW de sistemas fotovoltaicos instalados en el mundo.

En **2.002** se producen más de 500 MWp de generadores fotovoltaicos al año.

En el **2.003** se celebra la tercera Conferencia Mundial fotovoltaica en Japón y continúa el desarrollo sostenido y exponencial del sector, al contar con el apoyo de la sociedad y las administraciones de los países desarrollados. En el 2.004 entra la ley del régimen especial en España. En tres años nos hemos convertido en el segundo mercado europeo y el cuarto del mundo. El **Protocolo de Kyoto** entó en vigor el 16 de febrero de **2.005**, teniendo a las energías renovables como uno de los pilares básicos para su cumplimiento.

Todos estos datos explican la curva de experiencia del sector fotovoltaico mostrada en la figura 3.4 y que es básica para entender el futuro del sector. La reducción de costes es connatural al aumento de la demanda. La tarifa subvencionada solo es necesaria hasta que la energía solar fotovoltaica sea competitiva a precios de mercado libre. Es entonces, sobre el año 2.015, cuando veremos aflorar la verdadera revolución fotovoltaica.

3.5.1.2 Funcionamiento

El efecto fotovoltaico se produce en una pequeña célula fotovoltaica, que no produce suficiente tensión para alimentar ninguna aplicación práctica. No obstante podemos reunir células en serie para que la tensión llegue al menos a 12 V, y encapsular el conjunto de células para dar rigidez al conjunto y protegerlo de los elementos atmosféricos. Ha nacido el módulo solar, unidad básica de generación de un sistema fotovoltaico electricidad.

Inicialmente, debido a su alto precio, la principal función de los sistemas fotovoltaicos era alimentar lugares aislados del abastecimiento de la red eléctrica convencional. No obstante, gracias a las leyes del régimen especial descritas en el apartado anterior, el uso actual ha evolucionado a instalaciones conectadas a red, donde el usuario se convierte en productor de electricidad y obtiene ingresos por su venta a la compañía eléctrica.

Sus ventajas han sido comentadas a lo largo de todo el libro. No obstante destacamos tres de ellas:

- **Materia prima gratis**: La **ESF** transforma directamente la energía del sol en energía eléctrica. Sin intermediarios, sea el viento, la biomasa, la acumulación química producida durante millones de años en forma de combustibles fósiles, o de las múltiples formas en las que el sol inunda de energía nuestro planeta. La materia prima de la **ESF** es el sol, y este no pasa factura luego.
- **Simplicidad**: La **ESF** es la única forma estática que conoce el hombre de generar electricidad. Si lo pensamos, estamos acostumbrados a las rotaciones de las dinamos, las turbinas, el giro de los aerogeneradores. Todo ello para convertir la energía del movimiento en electricidad, aprovechando la ley de Faraday. Por ejemplo, en una central térmica de alta temperatura los rayos del sol se concentran para calentar agua, cuyo vapor mueve una turbina, cuyo movimiento se transforma en energía eléctrica. En el caso de la **ESF** la energía solar se convierte directamente en electricidad sin intermediarios. Este es el secreto de su bajo mantenimiento: el no contener partes móviles en su funcionamiento⁸¹. Gracias a ello son asimismo silenciosas.
- **Generación distribuida**: El sol es la energía mejor distribuida que existe. Llega a prácticamente todos los tejados. Es por tanto una tecnología que permite acercar generación a consumo. No podemos instalar un aerogenerador en todos los tejados, pero en el futuro será fácil instalar módulos fotovoltaicos que satisfagan nuestras necesidades básicas. La **ESF** es paradigmática para sustentar un modelo energético descentralizado.

⁸¹ En este contexto, los motores de seguimiento solar que orientan en todo momento los paneles al sol son un contrasentido con esta filosofía. Su rendimiento económico ha sido cuestionado recientemente. Ver Jesús Martínez Linares. “Rentabilidad de seguidores solares: cálculo del gasto crítico de mantenimiento”. *Energética XXI*, número 58, pgs. 34-36 (Septiembre 2006). ISSN: 1577-7855.



Tabla 3.8. Paneles fotovoltaicos en la EXPO 2005 en Nagakute, Japón. Foto: Wikimedia Commons.

La aportación actual de la **ESF** a la generación eléctrica en España es insignificante hoy en día, un 0.04% en el 2006. No obstante, las características antes analizadas hacen que la **ESF** sea la principal fuente de EERR a largo plazo. De hecho, ya hoy en día en Baviera, al sur de Alemania, sus paneles fotovoltaicos generan más del 1% de su electricidad.

3.5.2 Energía Solar Térmica

El Sol es la fuente primordial de energía. Todas las energías renovables, excepto la geotérmica y la mareomotriz, son generadas de una forma u otra por el Sol. La radiación solar bombea la energía sobre la que se sustenta la vida en la tierra. Podemos considerar a la biosfera como un mecanismo de repartición y autoorganización de esta energía a través de la pirámide trófica. El sol es también la fuente original que nutre nuestro consumo energético: el es motor del ciclo de agua que eleva el vapor de agua del mar hasta las presas de nuestras centrales hidroeléctricas. Incluso nuestros combustibles fósiles no son sino depósitos químicos de energía solar, acumulada durante millones de años⁸².

Esta energía está en su mayor parte desaprovechada. El Sol irradia cada segundo 1.1 10^{20} kW hora. A la tierra sólo llega una billonésima parte de esta energía, es decir, tan

⁸² Aunque el sol tiene 10.000 millones de años, todavía le resta otros 5.000 millones de años más quemando hidrógeno de manera estable.

sólo 1.5 trillones de kW hora al año. Sin embargo, debido a fenómenos de reflexión, dispersión y absorción producida en los gases de la atmósfera sólo un 47% de esta energía llega a la superficie terrestre. La cantidad de energía que actualmente consume el mundo de forma comercial es aproximadamente 85 billones (85 millones de millones) de kW hora. Esta cifra es **7.000** veces inferior a la energía solar que incide sobre la superficie de la tierra cada año.

El principio básico común a todos los sistemas solares térmicos es extraordinariamente simple: captar la radiación solar y transferir el calor a un medio portador, generalmente un fluido como el agua. El captador o colector es básicamente un material absorbente de la radiación solar protegido por un cristal para lograr un efecto invernadero. El principio de funcionamiento es muy sencillo. De hecho, los primeros colectores planos comerciales datan de una patente de **1.889** efectuada por el estadounidense Clarence L. Kemp. No obstante, ha habido que esperar más de un siglo para que la crisis energética nos haga replantearnos a la energía solar térmica como un aliado para acercar la energía solar a nuestras vidas.

De hecho, la energía solar térmica es la energía líder de las renovables. A finales del 2.004, la capacidad mundial instalada en energía solar térmica ascendía a **70 GW**⁸³. La energía solar térmica goza de un altísimo potencial. Si los 13,5 millones de viviendas españolas emplearan energía solar para calentar el agua de casa (ducha, cocina, etc.), nuestra economía ahorraría más de 1.000 millones de euros al año, que es el precio que ahora pagamos por los combustibles que alimentan las calderas convencionales⁸⁴.

En Europa el país líder es Alemania, seguido por Austria, Grecia, Francia y por fin España. Curiosamente, en la mayoría de las tecnologías renovables Europa es el líder mundial. En energía solar térmica (**EST**), si bien somos líderes en cuanto a tecnología, no lo somos en cuanto a su utilización. En este terreno China domina el mercado. De hecho, el 40% de los captadores solares instalados en el mundo se encuentran en este país. También en Israel y Japón el porcentaje de metros cuadrados solares por habitante es asimismo muy superior al de Europa.

⁸³ El “*Solar Heating and Cooling Programme*” de la Agencia Internacional de la Energía ha desarrollado una equivalencia que permite expresar el volumen de energía solar térmica en kW, en vez de en metros cuadrados. Concretamente el factor es de 0,7 kW/m².

⁸⁴ Para hacernos una idea, cada m² de captadores instalados permite economizar de media 55 Kg. de Gas Propano, 66 litros de gasolina ó 215 Kg. de leña al año.

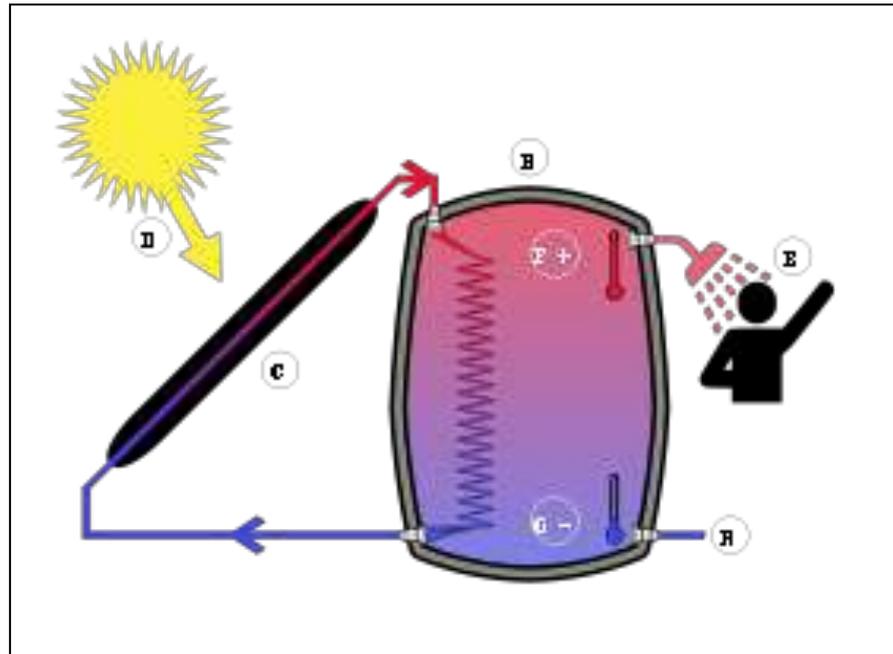


Tabla 3.9. Generación de agua caliente sanitaria (Acs) con paneles de energía solar térmica. Foto: Wikipedia.

3.5.3 Energía Solar Termoeléctrica

La energía solar puede ser aprovechada de diversas maneras. Por un lado puede utilizarse para calentar agua. Ejemplos son los equipos domésticos que ya han empezado a colonizar nuestras azoteas, y que son usados para nuestra ducha o nuestra calefacción. Por otro lado, como hemos visto podemos usar el efecto fotoeléctrico para transformar la radiación solar en energía eléctrica.

No obstante, si conseguimos reunir suficiente energía como para evaporar agua en grandes cantidades, podemos aprovechar el vapor generado para mover una turbina eléctrica. En este efecto se basa la energía solar termoeléctrica. Para concentrar la energía de los rayos del sol hasta este punto debemos reflejarlos con grandes espejos o helióstatos.

Un ejemplo paradigmático de esta tecnología es la planta **PS10** de Abengoa en Sanlúcar la Mayor, en la provincia de Sevilla. Como se aprecia en la figura cuenta con 624 helióstatos que concentran la luz en una gran torre de 100 metros sobre un punto que el ingenio sevillano no ha tardado en bautizar como el “ojo de Sauron”. La PS10 es la mayor planta de Europa y la **primera del mundo** en generar electricidad de manera comercial para una red eléctrica nacional. La planta PS10 fue inaugurada el 30 de Marzo del 2.007. Es tan sólo la primera. PS10 tiene 11 MW de potencia. No obstante, cuando Abengoa complete los 200 MW previstos para el 2.013 generará tanta electricidad como para satisfacer las necesidades de una ciudad de 180.000 habitantes, como por ejemplo Sevilla, ahorrando la emisión de 600.000 tn anuales de CO₂.

La solar termoeléctrica es la menos desarrollada de las tecnologías solares, al menos en número de plantas. Sólo hay cinco grandes plantas termoeléctricas en funcionamiento en el mundo y dos de ellas pertenecen a firmas españolas: Abengoa y Acciona. Esta última tiene una central en Estado Unidos de 64 MW. La inversión de este tipo de tecnología es alta, del orden de 3 millones de euros por MW de potencia instalada. La solar termoeléctrica es una tecnología joven con mucho por madurar. Lo importante es que España es ya una referencia en este tipo de tecnología.

3.5.4 Eólica

El Sol es la fuente primordial de energía renovable en la tierra. Se encuentra bombeando permanentemente energía a este pequeño planeta azul perdido en el espacio. Entre el 1% y el 2% de la energía proveniente del sol se convierte en viento. El origen del viento estriba en que la atmósfera absorbe la radiación solar de forma irregular debido a diversos factores: diferencias entre la superficie marina y la continental, elevación del suelo, alternancia entre el día y la noche, nubosidad, etc. Estos factores originan diferencias de presión entre masas de aire que para igualarse generan el viento. Esto supone un enorme potencial de energía, del orden de 53 TWh anuales, cinco veces más que el actual consumo eléctrico en todo el planeta. Ahora bien, no toda esta energía es aprovechable. Hay que tener en cuenta que con la tecnología actual sólo se pueden aprovechar en la práctica los vientos horizontales. Estos son los que soplan paralelos y próximos al suelo. Además solo son útiles cuando su velocidad esté comprendida entre unos límites que suelen ir de 3 m/s (11 km/h) hasta los 25 m/s (es decir, 90 km/hora). Los primeros aerogeneradores tenían bajos rendimientos, del orden del 10%. Los actuales poseen sofisticados sistemas de control que les permiten alcanzar rendimientos hasta del 50%. Este nivel es considerable, ya que, por hidrodinámica, la fracción máxima de la energía del viento que puede capturar un aerogenerador es del 59%. Este límite fue encontrado ya en 1.919 por el físico alemán **Albert Betz**. La razón es simple: si pudiéramos extraer el 100% de energía cinética del viento, este quedaría totalmente parado una vez pasado el aerogenerador, sin posibilidad de permitir más circulación de viento. La Física suele ser más sencilla de lo que pensamos, si sabemos entenderla y hablar en su lenguaje. Aún con todos estos límites, el potencial eólico es enorme, e inmensamente desaprovechado.

El desarrollo tecnológico ligado a los aerogeneradores ha sido enorme. Ello ha permitido pasar de los aerogeneradores de unas pocas decenas de kW de la década de los ochenta, a las turbinas actuales típicamente de 2 MW, aunque algunas llegan a los 5 MW. Hoy en día, las torres de los aerogeneradores de 2MW alcanzan fácilmente los 100 metros⁸⁵. El peso de los aerogeneradores se ha reducido a la mitad, así como el nivel de ruido y la producción de energía se ha multiplicado por 100 en los últimos 15 años. Otro factor destacable es su robustez. El tiempo de vida de un aerogenerador es de 20 años. Podemos compararlo con otro motor muy cercano a nosotros: el de nuestro coche. El tiempo de vida útil de un motor de automóvil típico es de tan sólo 5.000 horas de funcionamiento continuado.

⁸⁵ La gran envergadura de los aerogeneradores es necesaria debido a que el aire es un fluido de bajo peso específico.

La industria eólica es además un motor de generación de I+D+i en nuestro país, a diferencia de la tecnología asociada a fuentes convencionales, la cual se genera en el exterior. Por otro lado, esta tecnología ha experimentado un rápido descenso de precios de coste de instalación, lo que la convierte en la primera energía renovable que será rentable directamente a precios de mercado en muy pocos años.

Por otro lado, en cuanto a producción, la eólica es una alternativa real a las centrales nucleares. Por ejemplo, la energía eólica batió en España el 19 de marzo de 2007 un récord de producción, gracias al fuerte viento que azotó gran parte de la península en ese día. La potencia eólica generada, 8.375 MW a las 17.40 horas, superó a la producida por todas las centrales nucleares de España que juntas generaban en ese momento 7.742 MW. Posteriormente, este record ha sido ampliamente superado. El 14 de Enero del 2010, la producción de energía eólica alcanzó el record máximo de potencia instantánea. Nada más y nada menos que 11.693 MW, el **42%** de la demanda eléctrica peninsular de ese momento. No es un máximo aislado. De hecho, el anterior máximo se produjo el 8 de noviembre del 2009, con una potencia similar 11.620 MW.

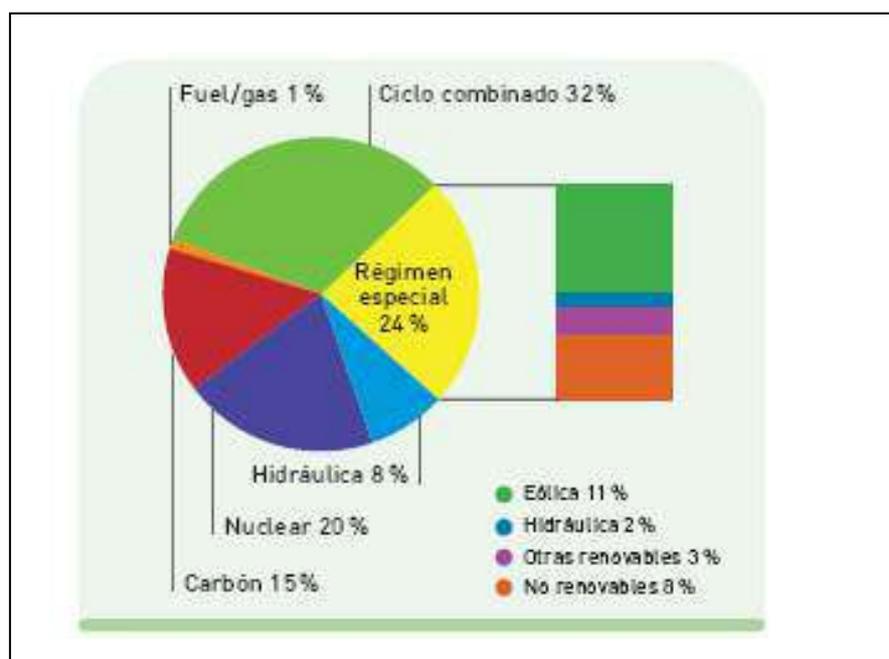


Fig 3.10. Cobertura de la demanda anual de energía eléctrica.

Fuente: El sistema eléctrico español 08. REE.

Desde hace unos años en España es de hecho mayor la capacidad teórica de generar energía eólica que nuclear en picos de fuerte viento. Si miramos al promedio anual, los resultados se muestran en la Fig. 3.10. Vemos que los parques eólicos cubren a finales del año 2008 el 11% de la demanda anual de energía eléctrica en España frente al 20% de la energía nuclear.

Se le reprocha usualmente a la energía eólica que, al contrario que la nuclear, es una fuente de energía no gestionable. Esto significa que no podemos adecuar la generación

de energía a la demanda que la red necesita en cada momento. El viento sopla cuando él quiere, no cuando nosotros lo necesitamos. No podemos predecir con certeza que cantidad de energía generará la fuerza del viento en cada momento. No obstante, existe una solución renovable para este problema: la hibridación. Los parques eólicos pueden ser complementados con plantas de biomasa para asegurar la constancia de la producción. La biomasa es un combustible que se puede almacenar. Podemos quemar biomasa para producir energía eléctrica cuando haya demanda y no sople el viento suficiente. Estas plantas híbridas eólica mas biomasa son 100% renovables, limpias y solucionan el problema de la gestionabilidad.

Persiste todavía una cierta polémica en relación al impacto visual de los parques eólicos. Las localizaciones de mayor perfil de viento son precisamente aquellas de mayor impacto visual. Las objeciones sobre impacto visual han sido contestadas enérgicamente por las asociaciones ecologistas como “GreenPeace” o “Ecologistas en Acción”. Por ejemplo, en palabras de Ladislao Martínez, de Ecologistas en Acción *“quien se recrea en los daños ambientales de la energía eólica se asemeja a aquellos medios de comunicación de nuestras sociedades opulentas que insisten en hablar del colesterol como el problema más acuciante de salud del planeta ignorando que existe el hambre”*⁸⁶

Una alternativa son los parques eólicos en el mar (parques “**offshore**”). Los vientos en el mar son más fuertes y constantes. Estos parques están siendo tomados muy en serio por los países más avanzados en tecnología eólica. Por ejemplo, Alemania espera contar con 1.200 MW eólicos offshore para el 2013, mientras que Dinamarca el objetivo es 4.000 MW. Reino Unido y Holanda están empezando a construir estos parques marinos y Francia e Irlanda tiene planes para hacerlo. En España, Greenpeace⁸⁷ estima que es posible instalar 25.000 MW eólicos en el mar⁸⁸ de aquí al 2030. El 20 de Julio del 2007 el ejecutivo aprobó un real decreto que permite la instalación de parques eólicos offshore en las costas del litoral español⁸⁹. Iberdrola y Acciona tiene proyectos para levantar este tipo de parques en las costas de Cantabria y de Cádiz. Ahora bien, son los Ministerios de Industria, Turismo y Comercio, y el Ministerio de Medio Ambiente quien tiene a su cargo realizar estudios del litoral para determinar las zonas idóneas para parques eólicos offshore, que deberán tener un mínimo de 50 MW de potencia. En concreto, el parque offshore podrá estar situado a unos 10 km del cabo de Trafalgar, entre Conil y Barbate. Los planes iniciales son instalar 273 molinos de 3,6 MW cada uno, lo que arroja una potencia similar a la de una central nuclear, capaz de satisfacer una demanda de unos 700.000 hogares.

Los parques offshore son una nueva modalidad de generación energética. España se ha unido a un camino ya tomado por países como Reino Unido, Alemania, Noruega o Dinamarca. No obstante, su tecnología está toda por desarrollar. La tecnología de molinos de tierra con una potencia tipo de 1,5-2 MW no son apropiados para su uso en

⁸⁶ Citado en el artículo ¿Qué piensa la gente de los parques eólicos? 18 de Junio del 2002 (www.energias-renovables.com, sección hemeroteca/histórico).

⁸⁷ “Viento en popa. La necesidad de un plan eólico marino en España”. Greenpeace, Junio del 2003.

⁸⁸ Otros expertos estiman que esta cifra es quizás excesiva, dado que la profundidad máxima viable es de 25-30 metros y nuestras aguas aumentan rápidamente su profundidad a poca distancia de la costa.

⁸⁹ Además de ampliar en 2.000 MW la potencia eólica prevista por el **PER 2.005-2.010** que ahora sube hasta 20.000 MW.

mar, donde deberían tener una potencia de 5 MW. Esto implica un peso de unas 500 toneladas. La instalación de estos molinos supone un por tanto un verdadero reto logístico y de ingeniería. El coste medio por Megavatio eólico marino instalado será el doble que el terrestre, compensado, eso sí, por la mayor productividad de estas plantas en el mar.

Existen varios “mitos” que se escuchan en relación a los aerogeneradores. El primero es que se gasta más energía en su fabricación de la que ellos aportan durante su vida media. La tecnología ha convertido esta crítica en totalmente obsoleta. Los modernos aerogeneradores recuperan toda la energía empleada durante su fabricación, instalación, mantenimiento y desmantelamiento en tan sólo dos o tres meses⁹⁰. Otro mito es el de ocupación del terreno. Los aerogeneradores y los caminos ocupan menos del 1% de un parque eólico típico, dejando el 99% restante para los usos anteriores del terreno, típicamente de agricultura y pastoreo.

Una de los problemas de los parques eólicos es el impacto en la avifauna. No obstante, este impacto puede ser minimizado eligiendo adecuadamente el emplazamiento del parque eólico, alejadas de las zonas de tránsito de avifauna. La legislación pide de hecho al promotor del parque un estudio específico de impacto sobre la avifauna. Según un estudio efectuado en la Comunidad Foral de Navarra entre Marzo del 2000 y Marzo del 2001 la tasa de colisiones fue del 0.1% anual, es decir una colisión de un ave al año por cada mil. Estudios similares efectuados en Dinamarca muestran que las aves se acostumbran rápidamente a los aerogeneradores y desvían su trayectoria para evitarlos. La legislación medioambiental española es en cualquier caso muy exigente con la ubicación del parque, habiéndose denegado muchas licencias por la presencia de avifauna en la zona propuesta.

Por último hay que indicar que las concesiones de los parques eólicos se conceden por tiempo limitado. Al finalizar la vida útil de la instalación el desmantelamiento recupera el terreno a su estado anterior sin dejar huellas. No existe nada más impactante visualmente que el bosque de cables y torres de nuestro ubicuo sistema eléctrico. No obstante no lo cuestionamos pues nos hemos acostumbrado a él. En el caso de los parques eólicos, si bien el juicio estético es siempre algo subjetivo, al menos podemos pensar que no es un impacto irreparable, sino que en el futuro podremos sustituirlos por otras fuentes renovables de menor impacto visual. Por el momento, la energía eólica cumple un importante y necesario papel en la transición de la economía fósil hacia las energías renovables.

España es una potencia eólica a nivel mundial. En 2006, España tenía instalada una capacidad de energía eólica de 11.615 MW, siendo así el segundo país en el mundo en cuanto a producción, junto con Estados Unidos, y sólo por detrás de Alemania. Estados Unidos está despegando con fuerza en el sector eólico. Tras una década en donde ha ido muy por detrás de Europa, ahora ha tomado un ritmo frenético. De hecho, si en el 2004 apenas se instalaron 372 MW eólicos, tras dos años de intenso dinamismo, nos acaban de desbancar a España como segundo productor eólico mundial. Alemania sigue siendo el país que más potencia eólica tiene instalada con mucho en todo el mundo: 20.622 MW a 1 de Enero del 2007. El país germano concentra más del 60% de la potencia instalada en el planeta. No obstante, la consultora Emerging Energy Research

⁹⁰ Fuente: Asociación Danesa de la Industria Eólica.

pronostica que ya para el 2.015 Estados Unidos será el líder mundial en energía eólica con 49.000 MW instalados.

Por comunidades autónomas, Galicia lidera por el momento el sector. A fecha de Enero de 2007, Andalucía tiene 609 MW instalados, tan solo el 5% de la potencia instalada en España⁹¹. Por delante nuestra cinco comunidades: **Galicia** con 2.603 MW (22%), Castilla la Mancha con 2.311 MW (20%), Castilla León con 2.120 MW (18%), Aragón con 1.548 MW (13%) y Navarra con 916 MW (8%).

En conclusión, no sabemos que diría Don Quijote si viera estos nuevos molinos de viento implantados por todo el territorio nacional. Lo cierto es que según el **IDAE** nuestros parques eólicos ya producen electricidad suficiente para abastecer a más de tres millones de familias.



Tabla 3.10. Parque eólico. Foto: Wikimedia Commons.

3.5.5 Biomasa

⁹¹ Datos de la Asociación Empresarial Eólica (AAE). www.aeolica.org

La biomasa comprende a las tecnologías que explotan recursos orgánicos de un modo sostenible, ya sean madera de las masas forestales, cultivos energéticos, residuos de las industrias agrarias y ganaderas o el biogás generado en vertederos.

La biomasa es importantísima en un país tradicionalmente agrícola como España. De hecho, según el **PER** la biomasa debería ser en 2.010, con 5.138 ktep⁹² la principal energía renovable del país, por delante de la eólica cuya previsión al 2.010 es de 3.914 ktep. Sin embargo, la biomasa ha sido hasta ahora el patito feo de las **EERR**. De hecho, solo se han instalado el 20% de la cantidad prevista al 2.010. El anterior RD 436/2004 que regulaba la generación en régimen especial no concedía una retribución suficiente a la biomasa. Esto hacía que el 85% de la materia prima del país no se aprovecha, y que parte importante de la que si se aprovecha se exporte al exterior.



Tabla 3.11. Instalación doméstica de biomasa en Chiclana.
Depósito, caldera y tolva. Foto del autor.

El nuevo RD 661 del 2007 concede un notable incremento retributivo a la biomasa. Esto tendrá notables efectos. Por ejemplo, ahora es posible explotar energéticamente los recursos forestales, que antes quedaban en el monte⁹³. Esto ayudará a reducir el número de incendios forestales. Otro aspecto fundamental a destacar es el elevado empleo generado por las redes de aprovisionamiento de la materia prima, que se estima en más de 15.000 nuevos puestos de trabajo directos⁹⁴ al 2.010, y el triple de indirectos. La biomasa es por tanto un recurso importante para dinamizar el tejido productivo rural. Y es que la biomasa puede proceder de diversas fuentes. Así podemos distinguir la:

- ▶ Biomasa natural: la procedente de ecosistemas naturales, como por ejemplo, las podas de provenientes de las limpiezas de los bosques.

⁹² Kilotoneladas equivalentes de petróleo.

⁹³ Sólo Galicia genera 6 millones de m³ de madera excedentaria al año.

⁹⁴ Fuente: APPA biomasa.

- ▶ Biomasa residual: los residuos forestales y agrícolas, los residuos biodegradables industriales tanto forestales como agrícolas, como por ejemplo el orujillo, el hueso de aceituna, la poda del olivar, los restos del algodón, el sarmiento, los lodos de las depuradoras, etc.
- ▶ Cultivos energéticos: aquellos que se realizan expresamente para generación de energía. Estos pueden ser de cardo, girasol, algodón, brasita carinata, existiendo una amplia investigación sobre nuevos tipos de variedades.

A nivel conceptual, podemos concebir la biomasa como energía del sol almacenada. Es una clase especial de energía solar, donde los captadores de energía no son los paneles solares artificiales fabricados por el hombre, sino las propias plantas con su acción fotosintética⁹⁵. Como ventaja, es que podemos usar la biomasa para obtener cualquier tipo de energía final. Podemos quemarla con una caldera para obtener calor, por ejemplo para calentar agua. También podemos a partir del calor producir energía eléctrica con una turbina. Por último podemos usarla como materia prima para, a partir de transformaciones químicas, producir biocarburantes para el transporte, como el biodiesel o el bioetanol. A ellos les dedicamos el próximo apartado.

3.5.6 Biocarburantes

Todavía nos queda esperar más de 10 años a que la tecnología de coches de hidrógeno sea una realidad cotidiana. De aquí al 2.020, mientras esperamos a esta realidad, el turno le corresponde a los biocarburantes como el etanol o el biodiesel. Suyo es pues el futuro inmediato.

Al contrario de lo que ocurre con el petróleo, hoy por hoy ningún biocarburante puede abastecer en sí mismo el mercado mundial. Según Hirohiko Hoshi, unos de los directivos de Toyota, *“el futuro será policarburante, donde gasolina y el gasóleo convivirá con etanol, biodiesel, combustibles sintéticos y biogás”*⁹⁶. Existe todavía mucha I+D+i que realizar en nuevas tipos de biocombustibles.

¿Son los biocarburantes una buena idea? Entre otros efectos, reducen la dependencia del petróleo, favorece la diversificación energética, reducen la emisión de gases de efecto invernadero y mejoran la calidad del aire. Por otro lado, el rendimiento de la fotosíntesis es muy bajo, del orden del 2%. Este es muy inferior por ejemplo al rendimiento de los paneles fotovoltaicos que permiten convertir directamente la energía solar en energía eléctrica aprovechable. Además, el cultivo intensivo para producción de biocarburantes pueden tener impacto en los precios del mercado agroalimentario. Según la OCDE los cereales y lácteos subirán entre un 20% y un 50% en los próximos 10 años⁹⁷. Los productos ganaderos se encarecerán también a través de la subida del precio de los piensos. El precio del maíz se ha incrementado un 60% y el del trigo un 50% en el último año, aunque en esto ha influido también el aumento de la demanda de China e India. China ha reducido a la mitad su objetivo de producción de bioetanol para el 2.010

⁹⁵ Dicho sea de paso, la eficiencia fotosintética menor que la de los paneles, ya que consigue transformar en energía química tan sólo el 2% de la energía solar incidente.

⁹⁶ El Mundo, 16 de Junio del 2.007.

⁹⁷ Estudio elaborado conjuntamente por la división de Mercados y Comercio Agrícola de la Organización para la Cooperación Económica y el Desarrollo (OCDE) y la FAO. Una referencia del estudio puede encontrarse en “El Economista” de 5 Julio del 2007.

como consecuencia del aumento de los costes de la materia prima y del miedo a la reducción del terreno cultivable disponible. Dada su importancia, el impacto sobre el planeta del despertar del “dragón asiático” (China e India) será analizado en detalle en el último capítulo. Por otro lado, la producción de biocarburantes puede suponer una amenaza medioambiental si ello deriva en una reducción de la selva amazónica. Brasil, quien se convertirá en los próximos años en el primer productor mundial de bioetanol, produjo en 2.005 trece millones de toneladas de bioetanol, lo que generó, según cifras oficiales, 4.5 millones de puestos de trabajo, entre empleos directos e indirectos. Los biocarburantes son por tanto un poderoso motor de desarrollo para Brasil. Lula insiste en que puede certificar la calidad medioambiental de los biocarburantes que quiere importar a Europa para que podamos cumplir nuestro objetivo del 10% de cuota de biocarburantes para el 2.020. No obstante, existen denuncias⁹⁸ de deforestación ilegal y destrucción agro-industrial de la selva amazónica creciente bajo el gobierno de Lula. Como vimos en el primer capítulo la destrucción de la selva amazónica es uno de nuestros principales problemas ambientales del planeta. Su protección es prioritaria para la humanidad. Necesitamos que también lo sea para el gobierno de Lula. De la gestión acertada de los acuerdos comerciales que se establezcan entre Europa y Brasil dependerá que podamos transformar la compra de biocarburantes a este país de una amenaza a una oportunidad potencial de control ambiental. De lo que no cabe duda es que necesitamos una solución global para un problema que es de todos. Algo así como una carta fundamental de los derechos ambientales del planeta, con carácter vinculante. ¿Necesidad, utopía, o fantasía? Hablaremos de ello en el último capítulo.

Lo que es cierto es que los biocarburantes son una auténtica oportunidad de desarrollo del tercer mundo, rico en sol y tierras de labranza. Los biocombustibles generan riqueza en zonas subdesarrolladas y fijan la población a la tierra reduciendo la migración a las ciudades. África ocupa un papel central en este debate. Es el único continente totalmente desgajado del crecimiento económico que el resto del mundo ha experimentado y que analizaremos en el capítulo cinco. Un África que está reforzando sus vínculos económicos, comerciales y políticos con Brasil que ya organiza para 2008 una “Conferencia Mundial sobre Biocombustibles”. Se trata de unir la tecnología brasileña a con las condiciones climáticas y suelos favorables de América Central, el Caribe y África. Dada el enorme potencial de generación de ingresos y empleo, los biocarburantes son una autentica opción de desarrollo sostenible para el tercer mundo. Al combinar crecimiento económico, inclusión social y conservación ambiental este esquema es un poderoso aliado para que Europa prevenga la inestabilidad social y política del continente vecino y, en última instancia, la presión de la migración africana. Ahora bien para que la revolución de los biocombustibles pueda transformar África es necesario que los países ricos abran sus mercados a estos nuevos productos.

Estamos pues en un periodo de transición energética. En los próximos 50 años vamos a asistir a una diversificación progresiva del mix energético, donde veremos surgir, competir y desarrollarse distintas tecnologías. Lo importante es abrir camino. De hecho, existen multitud de biocarburantes de segunda generación⁹⁹ en fase de desarrollo que todavía no se comercializan. Asimismo, es previsible que el sector desarrolle rápidamente tecnologías que requieran una menor cantidad de materia prima o que empleen las partes no comestibles de los cultivos. Otra posibilidad es desarrollar

⁹⁸ El País de 6 de Julio del 2.007.

⁹⁹ Aquellos que se extraen de residuos no aptos para el mercado alimentario. Mención especial merece la empresa **IMECAL** con un proyecto de generación de bioetanol de la fracción orgánica de la basura.

cultivos energéticos viables en zonas no aptas para los cultivos agroalimentarios. Un ejemplo es la jatrofa, planta venenosa que como indica Alfonso Ausin, presidente de Bionor Transformación, sería fácilmente cultivable en el desierto almeriense¹⁰⁰. Basándose en estas prospectivas, muchos analistas coinciden que el riesgo a largo plazo sobre la subida del precio de los alimentos se ha sobreestimado.

Los biocarburantes más extendidos hoy por hoy son los tradicionales: el bioetanol, el biodiesel y el biogas. En Brasil, el 40% del combustible empleado en automóviles es bioetanol. Estados Unidos y Brasil producen el 80% del bioetanol del mundo, obteniéndolo a partir de maíz y caña de azúcar, respectivamente. La Comisión Europea ha fijado un objetivo de sustituir el 5.75% de los carburantes en el transporte por biocarburantes para el 2.010, y del 10% para el 2.020. Sin embargo, a finales del 2005 la producción de bioetanol en la UE tan sólo estamos al 0.7% del consumo de gasolina en automoción. **Suecia**, país europeo con mayor apoyo político a los biocarburantes, incorpora el 5% de bioetanol a la gasolina. Por otro lado, el cumplimiento de estos objetivos europeos debería suponer un impacto moderado para los mercados alimentarios en la vieja Europa. En España, según el Ministerio de Agricultura, solo requeriría utilizar el 7% de los cultivos de cereales producidos, que en cualquier caso se encuentran subvencionados por la UE.

La situación en España es interesante. En el 2006 el consumo de biocarburantes en España tan solo representó el 0.53% del mercado nacional de gasolina y gasóleo para el transporte. No obstante esto va a cambiar en poco tiempo. En España se ha aprobado recientemente la reforma de la disposición adicional decimosexta de la ley de hidrocarburos¹⁰¹, con el consenso de todos los partidos políticos. En esta ley se establece objetivos anuales mínimos: un 1.9% indicativo en 2.008, y de manera obligatoria un 3.4% en 2.009 y un 5.83% en el 2.010. Una buena noticia para ser optimistas en la consecución de estos objetivos es que España es el mayor productor de bioetanol de Europa, aunque hoy por hoy exportamos la producción. De hecho, en España tenemos una compañía líder en bioetanol: Abengoa, quien es ya el primer productor europeo de biocombustibles y el quinto de Estados Unidos.

España se está posicionando con fuerza en el mercado europeo del biodiesel. Según previsiones de la consultora **DBK**¹⁰² alcanzará dos años antes de lo previsto el objetivo de producción de 2.2 millones de toneladas fijado por el Plan Energías Renovables (**PER**) del 2005. Ahora bien, este auge de la producción todavía no se traduce en un aumento del consumo, que a Junio del 2007 es tan solo del 0.53% de la demanda. Nuestra excelente producción se destina a la exportación, pues vamos bastante retrasados en consumo. De hecho, deberíamos multiplicar por 55 el consumo actual de biodiesel y por 8 el de bioetanol para poder cumplir en tres años los objetivos del **PER**.

¹⁰⁰ El Mundo, 16 de Junio del 2.007..

¹⁰¹ Ley 34/1998 del sector de hidrocarburos (LSH).

¹⁰² Expansión, 12 Junio 2007.

3.6 H₂OPE

3.6.1 El hidrógeno

El hidrógeno (H₂) es la fuente de energía más importante del universo. En su estado de plasma es el responsable fundamental del brillo de las estrellas. El hidrógeno es también el elemento más abundante del universo. Nuestro sol es hidrógeno en un 73% y nuestro universo hidrógeno en un 75%¹⁰³. En el centro de las estrellas, a través del proceso denominado **fusión nuclear**¹⁰⁴, dos átomos de hidrógeno¹⁰⁵ se unen para formar helio y liberar una enorme cantidad de energía. ¿Podemos usar esta fuente de energía limpia aquí en la tierra? Los físicos llevan años intentándolo pero todavía estamos a mucha distancia de tener éxito en esta empresa. Para conseguirlo hay que lograr reproducir las condiciones de temperatura que existen en el sol en un laboratorio en la tierra, y esto no es tan fácil.

Excluida la fusión nuclear, debemos aceptar que aquí abajo en la tierra, el hidrógeno no es una fuente de energía sino un **vector energético**, es decir, un portador de energía que debe ser producida por otros medios, por otras fuentes primarias. Por consiguiente, el hidrógeno sirve para almacenar energía que ya se ha liberado previamente.

Para entender porque el hidrógeno cumple tan bien esta función debemos hablar de su estructura. El hidrógeno diatómico (H₂) es una de las sustancias químicas más simples. Dos átomos de hidrógeno unidos, nada más. Es el compuesto más ligero que existe, de hecho es 15 veces más ligero que el aire. A temperatura ambiente es un gas extremadamente inflamable, incoloro, inodoro y no tóxico. En el aire el hidrógeno arde violentamente. Curiosamente, las llamas de hidrógeno ardiendo son invisibles. El lector puede comprobarlo si examina cuidadosamente una foto de la lanzadera espacial, tal y como aparece en la figura 3.10. Si nos fijamos bien, las llamas de hidrógeno de los tres motores principales de la aeronave son muchísimo más tenues que las llamas de los dos cohetes propulsores que lo sostienen. Estas últimas son llamas usuales de hidrocarburos. Esto hace que sea muy difícil detectar visualmente si un escape de hidrógeno esta ardiendo. Por otra parte, en los fuegos alimentados por hidrógeno las llamas ascienden mucho más rápido con el gas a través del aire, causando menos daños que los fuegos alimentados por hidrocarburos.

La gran cantidad de energía liberada en su combustión¹⁰⁶ es un factor esencial para entender su importancia. El hidrógeno posee más **densidad energética** por unidad de masa que cualquier otro combustible conocido. Tiene de hecho 33,3 kWh por kilogramo frente a los 13,9 kWh/kg del gas natural o los 12,4 kWh/kg del petróleo. No obstante, a pesar de que es el elemento más abundante del universo en la tierra es absolutamente escaso. En nuestro planeta no existe hidrógeno en estado libre. Si existiera se oxidaría rápidamente, y si no, se escaparía al espacio pues la fuerza de gravedad del planeta no es lo suficientemente fuerte para retener a este elemento tan ligero.

¹⁰³ En masa. Si consideramos en número de átomos, ¡esta cifra asciende hasta el 90%!

¹⁰⁴ No confundir con la fisión nuclear, o desintegración de núcleos pesados, desde luego proceso nada limpio en cuanto a los problemas de emisión de desechos radioactivos.

¹⁰⁵ O de sus isótopos.

¹⁰⁶ Para los amantes de la química, esto significa $2 \text{ H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2 \text{ H}_2\text{O}(\text{l}) + 572 \text{ kJ/mol}$.



Figura 3.12. Diferencia entre la llama de hidrógeno (3 motores superiores) y la de hidrocarburos (2 motores inferiores). Foto: lanzadera espacial Atlantis en 1988, cortesía de la NASA.

Aunque en la tierra no exista hidrógeno en estado libre, si que abunda en compuestos. De hecho el peso agua es en un 11% hidrógeno. Toda la materia orgánica contiene hidrógeno. Por ejemplo, nosotros somos hidrógeno en un 10%. El petróleo y el gas natural también, pues estos son biomasa y biogás del pasado sepultado en yacimientos fósiles. Podemos obtener hidrógeno rompiendo los enlaces de estas moléculas orgánicas mediante distintos procedimientos. De hecho casi toda la producción mundial de hidrógeno¹⁰⁷ se basa en los combustibles fósiles. Todavía en el 2003, sólo el 4% del hidrógeno del mundo provenía del agua.

Generar hidrógeno como combustible a partir de combustibles fósiles es un contrasentido que además sigue liberando CO₂ a la atmósfera. El reto es por tanto ser capaz de generarlo a partir de fuentes renovables; por ejemplo de la energía eólica. Existe un estudio de Greenpeace que estima que con 25.000 MW eólicos¹⁰⁸ en parques “offshore” podríamos generar hidrógeno para satisfacer el 8% del consumo del sector transporte previsto para el 2.030.

El hidrógeno es una pieza fundamental para cerrar el puzzle de la economía solar. Las energías renovables permiten acercar la generación de energía eléctrica al lugar de consumo. No obstante, si queremos hacer obsoleta la red de distribución, si queremos formar mercados locales de energía, necesitamos un medio para almacenar la energía

¹⁰⁷ 45 millones de tn de hidrógeno en el año 2.003, procedente del gas natural (48%), petróleo (30%), y carbón (18%).

¹⁰⁸ Hoy en día están proyectados 20.000 MW eólicos para el 2.010.

eléctrica producida por las **ER**. Es aquí donde entra en juego el hidrógeno: como almacén de la energía producida por fuentes renovables.

Todavía necesitamos 10 años más para desarrollar la tecnología del hidrógeno. Existen importantes retos que superar: encontrar nuevos catalizadores que permitan acelerar el proceso de la hidrólisis, solucionar el problema del volumen, etc. Este último problema es de singular importancia. Podemos enfriar el hidrógeno 250°C bajo cero para hacerlo líquido y que ocupe 700 veces menos volumen, pero esto consumiría una gran cantidad de energía. Un gran número de soluciones están siendo investigadas. La propia General Motors (**GM**) estima que hacen falta todavía 10 años para tener en la calle un verdadero coche de hidrógeno a nivel comercial, aunque TOYOTA le ha tomado la delantera. El H_2 usado en los medios de transporte produciría una combustión totalmente limpia en la que el único producto sería el agua, eliminando por completo las emisiones de CO_2 .

3.6.2 Las pilas de combustible

Todas las baterías convencionales se agotan. Imaginemos que pudiéramos idear una pila que se recargara de forma continua. Esto es en esencia una **pila de combustible**. Podríamos definirla como un dispositivo electroquímico de conversión de energía diseñada para permitir el reabastecimiento continuo de los reactivos consumidos. Al contrario que las baterías convencionales que poseen una capacidad limitada de almacenamiento de energía, las pilas de combustible producen electricidad de forma continua a partir de una fuente externa de combustible y de oxígeno.

Las baterías convencionales consumen reactivos sólidos y, una vez que se han agotado, deben ser eliminadas o recargadas con electricidad. Por el contrario, los reactivos típicos utilizados en una celda de combustible son hidrógeno (en el ánodo) y oxígeno (en el cátodo).

Otra diferencia fundamental entre las pilas de combustible y los motores de combustión usuales es la mayor eficiencia de los primeros. La eficiencia de las células de combustible, a diferencia de los motores de combustión (interna y externa) no está limitada por el ciclo de Carnot ya que no siguen un ciclo termodinámico. Por lo tanto, su eficiencia es muy alta en comparación, al convertir energía química en eléctrica directamente. De hecho algunos de estos dispositivos alcanzan un 95% de eficiencia (aunque un valor típico

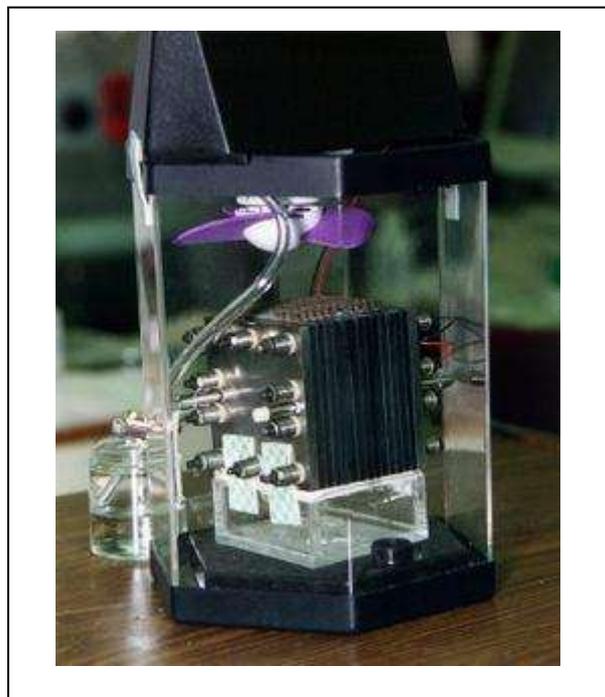


Figura 3.13. Pila de hidrógeno. Foto: Wikimedia Commons.

es del 60%), valor que contrasta con el 30% de algunos motores de combustión.

Es notable la increíble progresión tecnológica de las pilas de combustibles que ha permitido un acusado abaratamiento del producto. En el 2002 una pila de combustible típica tenía un coste de 850 € por kilovatio de energía eléctrica útil, debido el alto precio principalmente a los catalizadores. En el 2007, el precio se ha reducido a 25 €/kW.

Las pilas de combustible tienen una aplicación directa en el sector de la automoción. La electricidad generada puede servir para alimentar el motor eléctrico del automóvil. Existe una auténtica carrera entre las compañías automovilísticas en desarrollar el coche de hidrógeno. No obstante, no sólo hace falta desarrollar la tecnología de las pilas de combustible, sino buscar formas baratas de obtener hidrógeno y distribuirlo mediante una red de “hidrogeneras”¹⁰⁹. La Unión Europea tiene como objetivo para el 2020 conseguir que el 2% de los coches europeos se muevan mediante pilas de combustible alimentadas por hidrógeno.

Debido a su alto rendimiento, su funcionamiento silencioso¹¹⁰, y sin emisiones de gases de efecto invernadero las pilas de combustible son ideales para generar energía dentro de núcleos de población, o en nuestras casas. Un modelo interesante de cómo funcionaría una economía basada en el hidrógeno la tenemos en Islandia. En 1999, este país ya anunció su intención de convertirse en la primera sociedad del mundo basada en el hidrógeno. Ya cuenta con la primera estación comercial de hidrógeno de Europa. Este es producido a partir de agua y electricidad producida en una central geotérmica situada a 30 kilómetros de la capital Reykjavik. Para ello Islandia goza de enormes ventajas: abundantes recursos renovables, basados en su enorme potencial en energía geotérmica, y una población de tan sólo 270.000 habitantes. De hecho, prácticamente toda la generación eléctrica del país procede de sus centrales geotérmicas e hidroeléctricas. Sin embargo, sus autobuses, automóviles y barcos de pesca (de los que depende su economía en un 70%) siguen usando el petróleo. Islandia está decidida a abandonar el petróleo en 30 años. Para ello acometió en el 2002 un proyecto ambicioso: pasar de la sociedad del carburante a la sociedad del hidrógeno. Para ello cambiarán toda la flota de autobuses a una alimentada con pilas de combustible: hidrógeno y oxígeno transformados en vapor de agua y electricidad. A estos les seguirán los automóviles personales y luego los barcos de pesca. Puede que Islandia, por su pequeña población y su enorme abundancia de recursos renovables, sea el primer laboratorio natural para probar la economía del hidrógeno. Hay que aplaudir su iniciativa, admirar su acierto y estar atentos a su evolución.

¹⁰⁹ Las hidrogeneras son las estaciones de servicio donde repostar el hidrógeno.

¹¹⁰ La pila no tiene partes móviles, lo que evita no sólo el ruido sino el desgaste de las mismas.

3.7 Conclusión

*“En época de crisis,
la imaginación es más importante que el intelecto”.*
Albert Einstein.

Nos alejamos de la época donde el combustible tenía un origen común: el petróleo. El futuro de la energía parece estar llenos de innovaciones y de distintas fuentes alternativas de energía. No obstante, a pesar de la frase que inaugura esta apartado, y con permiso de Albert Einstein, parece que en época de crisis la voluntad de cambio es más importante que la imaginación o el intelecto. Tenemos soluciones, lo que falta es la voluntad política de llevarlas a cabo.

La conclusión principal de este capítulo es que en época de crisis, la voluntad de cambio es todavía más importante que la imaginación o el intelecto. Los dos últimos han encontrado a **AIT**: un escenario que permite mitigar el cambio climático sin tener que sacrificar crecimiento económico. Ahora queda encontrar la voluntad política que permita llevarlo a cabo. En esencia, **AIT** se basa en incrementar fuertemente la contribución al mix energético de las **EERR**, a la vez de incentivar el ahorro y la eficiencia energética. En España afortunadamente existen gran cantidad de recursos renovables con una distribución geográfica muy variada, como se muestra en la tabla 3.7. Si bien las tecnología renovables son todavía caras, los precios de instalación pueden bajar sensiblemente con una apoyo institucional que favorezca una acción intensiva en **I+D+i** y un sistema de subvenciones adecuado para que la industria energética desarrolle una curva de experiencia que permita disminuir los precios.

Es por tanto momento para examinar que hemos hecho al respecto, a lo que dedicamos el próximo capítulo.

Capítulo 4

¿Pero estamos cambiando?

“Mamihlapinatapai”.

Palabra que en Tierra de Fuego designa aquella situación en la que dos personas se miran entre sí esperando que la otra emprenda una acción que ambas desean sin que ninguna de ellas esté dispuesta a tomar la iniciativa.

4.1 Introducción

Una vez planteada la solución, basada en fuentes de energías renovables (**ER**), es hora de analizar la respuesta del hombre a dado a la misma. Empezaremos por describir el Protocolo de Kyoto, y si estamos cumpliendo o no con él. Para concluir, analizaremos la situación energética de España, que nos colocan frente a frente a los nuevos retos/oportunidades de esta nueva era energética.

4.2 Cuestión de Protocolo

El hombre ha tomado conciencia de que su actividad está produciendo cambios que pueden resultar **catastróficos** para su propia supervivencia. Como hemos visto, si no se toman medidas, el cambio climático puede repercutir negativamente en todas las esferas de la vida. La manifestación de este problema en episodios climáticos extremos, como inundaciones y sequías, han creado la necesidad urgente de comprender y abordar el problema. Fruto de esta preocupación, nace en 1994 la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (**UNFCCC**). La convención goza de adhesión universal, muestra de la voluntad política de los gobiernos de todo el mundo para hacer frente al cambio climático. De hecho, el Convenio Marco sobre Cambio Climático, aprobado en 1992 en **Río de Janeiro**, ha sido firmado y ratificado por 188 países. No ocurre lo mismo a la hora de plasmar esta voluntad en medidas concretas. La Cumbre de Kyoto (diciembre de 1997) concluyó con la adopción del **Protocolo de Kyoto**, una serie de medidas jurídicamente vinculantes, encaminadas a la reducción de emisiones de gases de invernadero. El protocolo propone alcanzar para el período 2008-2012 emisiones de gases de invernadero 5,2 por ciento menores a las de 1990. Las proporciones varían para cada país, siendo la reducción del **8%** para el conjunto de la Unión Europea, un 7% para EE UU y un 6% para Japón. El protocolo ha sido ratificado por 120 países. El protocolo de Kyoto necesitaba para entrar en vigor ser aprobado por los países responsables del 55% de las emisiones mundiales según los índices establecidos en el año 1990. Esto ocurrió el **16 de febrero de 2.005**, después de que el representante de Rusia entregara oficialmente los documentos de ratificación del acuerdo.

En conclusión, el tratado prevé reducir la emisión de gases de efecto invernadero un 5,2% respecto a los niveles de 1990 en el periodo de 2008 a 2012. La Unión Europea se ha convertido en la gran defensora del Protocolo, y el gran reto, una vez conseguido el apoyo ruso, es conseguir el del mayor contaminante mundial: los **Estados Unidos**, que aún no han ratificado el acuerdo.

Hemos pasado, por tanto, de un periodo de negociación mundial sobre las medidas que se pueden aplicar, a un segundo periodo de plasmación de estas medidas en planes concretos de actuación por parte de los gobiernos.

Una de las herramientas creadas por el propio Protocolo de Kyoto son los Mecanismos de Desarrollo Limpio (**MDL**). Según la definición del Instituto de Comercio Exterior (**ICEX**), estos consisten en la realización de proyectos en países en desarrollo, que generen un ahorro de emisiones adicional al que se hubiera conseguido si su hubiera utilizado tecnología convencional. Una vez que estos proyectos son certificados, las emisiones ahorradas pueden ser comercializadas y adquiridas por entidades públicas o privadas de países desarrollados para el cumplimiento de sus propios compromisos de reducción. Esta posibilidad ha llevado a muchas compañías españolas a invertir en países en desarrollo para cumplir con las obligaciones impuestas por los Planes Nacionales de Asignación (**PNA**). Existe un comercio internacional de derechos de emisión, que actúa como herramienta de transvase de recursos de los países del tercer mundo a países en desarrollo. Este mercado está apoyado por la constitución del mercado europeo de emisiones, creado por la Unión Europea para ayudar a las empresas a cumplir con el protocolo de Kyoto. La bolsa europea del CO₂ se ha caracterizado en su primera fase piloto de tres años (desde su creación el uno de Enero del 2.005 al 31 de

Diciembre del 2.007) por una gran volatilidad, con precios oscilando entre 30 €/tn y 0.08 €/tn, cerrando el ejercicio 2.007 a 22,43 €/tn. Su segundo periodo 2.008-2.012 tiene ya carácter obligatorio y va a ser clave para demostrar si el sistema, uno de los pilares para la consecución de los objetivos de Kyoto y del escenario A1T, funciona o no.

Pero, ¿hay tanta diferencia de emisiones entre los diferentes países? Veámoslo en la figura 4.1. En ella se representan las emisiones totales de CO₂ por país provenientes de la quema de combustibles fósiles, producción de cemento y de la quema de gas. El tamaño de cada país se ha escalado en el mapa¹¹¹ para que sea proporcional a sus emisiones de de CO₂ del 2004. Resulta notable la ridícula contribución de la mayor parte del continente africano y de Sudamérica. También destaca el “gigantismo” de Estados Unidos y China como principales emisores del planeta. El principal emisor de los últimos tiempos ha sido **EEUU**, arrojando ella sola el 26% de la emisión mundial. China le ha arrebatado recientemente este dudoso honor. En España emitíamos en el año 2.000 6.8 toneladas de CO₂ por habitante, cifra cercana a la media de 8.4 tn/hb de la Unión Europea. Ahora ya la hemos superado con cerca de 10 toneladas de CO₂ por habitante.

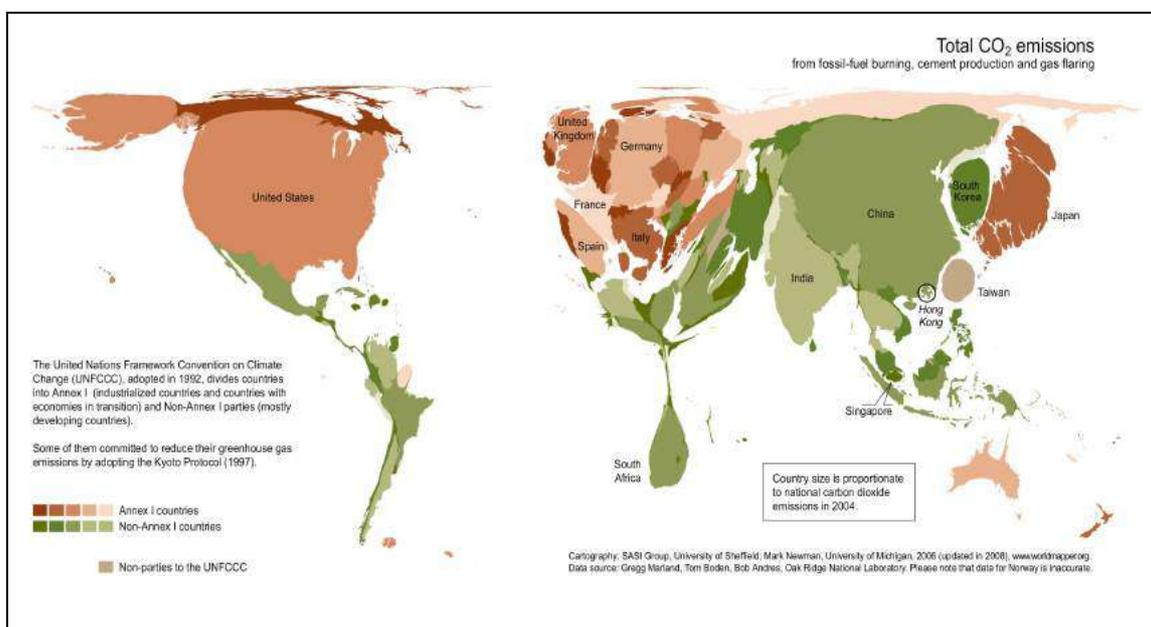


Figura 4.1. Emisiones de CO₂ por país. Fuente: *UNEP/GRID-Arendal*

La quema de combustibles fósiles con fines energéticos constituye la primera causa de este fenómeno. Esto se aprecia en la figura 4.2, donde se muestra las distintas contribuciones por sectores¹¹² de las emisiones mundiales de CO₂ en el año 2.000. Vemos que los sectores de procedencia son muy variados. Destaca la generación de electricidad y calefacción; la industria, el transporte, la deforestación. A su vez de todos

¹¹¹ <http://maps.grida.no/go/graphic/total-co2-emissions-from-fossil-fuel-burning-cement-production-and-gas-flaring>

¹¹² <http://maps.grida.no/go/graphic/world-greenhouse-gas-emissions-by-sector1>

los gases de efecto invernadero emitido por esos sectores, el CO₂ es con mucho el gran protagonista.

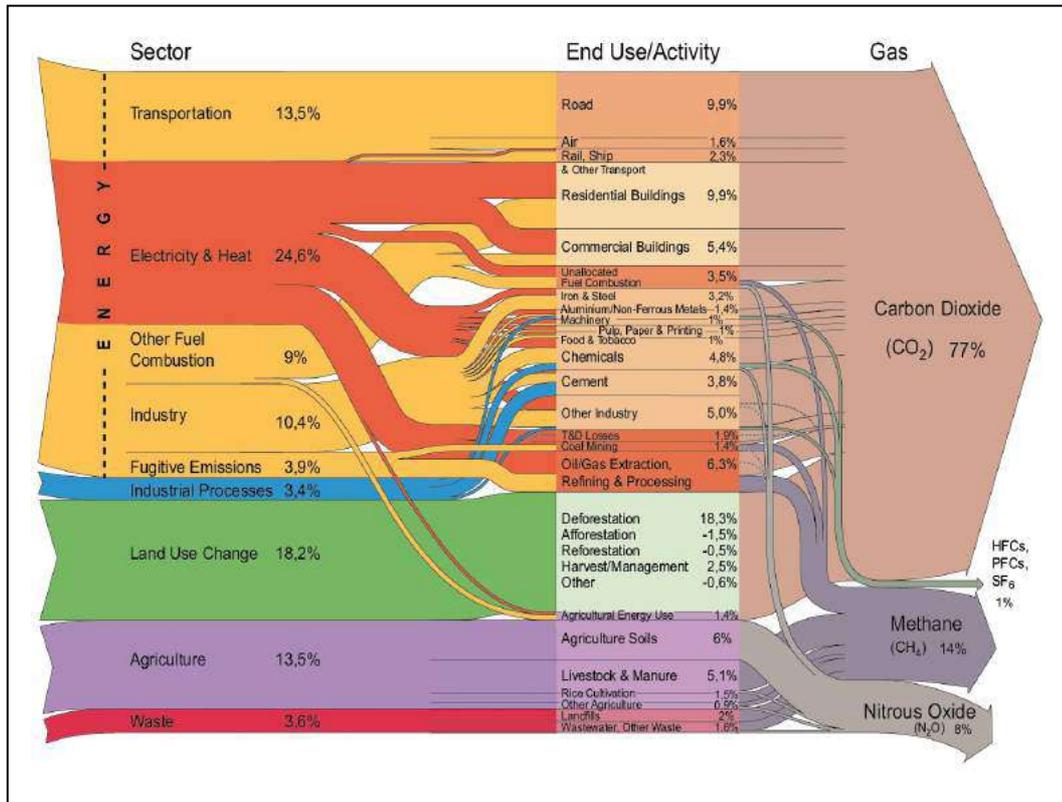
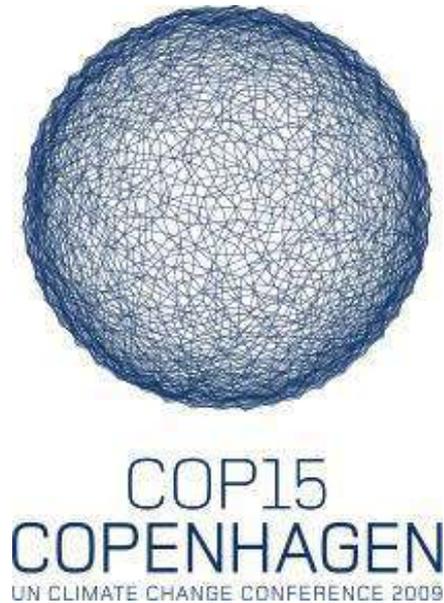


Figura 4.2. Distribución por sectores de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero en el año 2.000. Fuente: *UNEP/GRID-Arendal*.

4.3 Hopenhaguen

En diciembre del 2009 un enorme trasatlántico estaba amarrado en el puerto de Copenhague en Dinamarca. No quedaban camas de hotel en la capital danesa, así que este fue nuestro hotel improvisado para acoger a distintas moviientos de la sociedad civil, entre ellas **The Climate Project (TCP)** del vicepresidente de EEUU **Al Gore** en la que asistía como embajador climático de la rama española. Una enorme ilusión nos embargaba. Copenhague estaba inundada de miles de activistas climáticos pidiendo un tratado justo, ambicioso y vinculante que sucediera al protocolo de Kyoto, y que convirtían a la capital danesa en la capital de la esperanza. Pero Hopenhaguen paso a volver a ser Copenhague bien pronto. Lo paradójico es que Estados Unidos y China, lo dos países mas contaminantes del mundo, certificaron la defunción de la esperanza convirtiendo al tratado en una mera declaración de intenciones.



Pese a la voluntad manifiesta del presidente norteamericano **Barack Obama** de avanzar en esta materia, ese arreglo no fue, finalmente, posible tanto por la resistencia de China como por la incapacidad del Congreso estadounidense de aprobar una legislación energética compatible con los propósitos de Copenhague. Obama no quería firmar ningún acuerdo que, como ocurrió con el de Kioto, suscrito por Bill Clinton, no fuera después refrendado por el Congreso.

Esta situación nos haría perder 6 años.

En resumen, el **Protocolo de Kioto** de 1997 es un acuerdo con arreglo a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (**CMNUCC**) que constituye el único instrumento jurídicamente vinculante a escala mundial para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

Sin embargo, como muchos de los principales emisores no formaban parte de este acuerdo, el Protocolo de Kioto solo cubría el 18% de las emisiones mundiales. En el primer periodo de compromiso del Protocolo (2008-2012), los países participantes se comprometieron a reducir sus emisiones en una media del 5% por debajo de los niveles de 1990. La unión Europea (**UE**) y los quince Estados miembros que la componían en aquel entonces (**UE-15**) fueron aún más lejos y se comprometieron a una reducción del 8% para el conjunto de la Unión.

Al fracasar la cumbre del clima de Copenhague del 2009, que hubiera fijado las condiciones del relevo para 2012, habría que esperar a Paris en el 2015, para cristalizar las esperanzas de Hopenhaguen.



4.4 Paris bien vale una misa

Paris, 12 de diciembre del 2015. Vuelta a la carga. Esta vez no estábamos dispuestos a repetir Copenhague. 14.000 activistas climáticos esperábamos el



último sábado la firma del tratado en el arco del triunfo con el mismo teléfono de abogado en el bolsillo, pues estábamos convencidos de que nos iban a detener en la Francia del estado de emergencia tras los atentados yihadistas. Fuimos caminando hasta la Torre Eiffel escoltados por miles de policías, pero esta vez, lo conseguimos. Tuvimos por fin un tratado que era menos de lo que pedíamos pero mucho más de lo que esperábamos.

Para explicar las luces y las sombras del acuerdo de Paris escribí un artículo para Diario 16 que ahora transcribo. Se trata de una conversación ficticia en la barra de un bar entre Mr. Light, que nos hablará de las luces, y Mr. Shadown que enfatizará las sombras.

Mr. Light

□ Paris es un acuerdo histórico, el más ambicioso de la historia de la lucha contra el cambio climático. Con carácter vinculante se establece un máximo para el aumento de la temperatura media del planeta a finales de siglo entre 1.5°C y 2°C.

Mr. Shadow

□ Un mero brindis al sol, pues no se establecen los mecanismos que han de llevarnos a ese objetivo. De hecho, no se define ninguna fecha concreta para que se alcance el techo de emisiones en cada país por separado.

Mr. Light

□ Es cierto que el principal instrumento para conseguir el objetivo son las contribuciones nacionales a los recortes de emisiones de gases de efecto invernadero. Ahora bien, 186 países de los 195 presentes en Paris ya han presentando sus propios planes de reducción de emisiones de forma voluntaria, y es que la cumbre de Paris comenzó con la tarea preparada, idea que debemos agradecer a **Laurent Fabius**.

Mr. Shadow

□ Si, pero estas propuestas son planes "NINI", pues no son NI vinculantes NI suficientes. Aún si se llevaran a cabo nos llevarían a un aumento de la temperatura media del planeta de cerca de 3°C a final de siglo.

Mr. Light

□ Bueno, pero por eso se han establecido mecanismos de revisión al alza cada 5 años, junto con herramientas de transparencia y de control como inventarios de reducción de emisiones. Además el acuerdo recoge que los nuevos planes tienen que ser más ambiciosos que los existentes; ¡no hay marcha atrás!

Mr. Shadow

□ Revisión que no se aplica para todo el mundo. El tratado incluye una excepción, China, quien se ha librado de estas revisiones aun siendo el mayor emisor mundial con 9.000 Tn de CO₂ anuales. Tan sólo China es responsable de un 27% de las emisiones mundiales.

**Mr. Light**

□ Es cierto que hubo que ceder frente a China en este punto. Pero también es cierto que China ha prometido recortar sus emisiones por unidad de PIB entre un 60%-65% para 2030 con respecto a los niveles de 2005 y alcanzar su techo de emisiones para esta fecha. También es verdad para conseguir esta meta China planea apoyarse más en la energía nuclear que en la renovable.

Mr. Shadow

□ ¿Y que me dices del segundo país más contaminante, de Estados Unidos? Obama ha presionado para que el tratado no fuera vinculante. Algo decepcionante de alguien quien nos hizo soñar con el "Yes, we can" y al final se ha quedado en el "Yes, we could".

Mr. Light

□ Con el capitolio dominado por los republicanos hubiera sido imposible que ratificaran un acuerdo vinculante; como ya le pasó a Clinton. Es verdad que quizás no pusiera toda la carne en el asador el Obama de la primera legislatura, el de Copenhague. No obstante, Obama este pasado verano aprobó mediante decreto el recorte de emisiones más ambicioso para la industria de Estados Unidos, un 30% para 2030. Además impone la adopción de energías renovables a escala nacional. Este gesto ha sido fundamental para poder presionar ahora en París a India y a China. Parece que Obama ya está de salida y ha querido dejar un legado para la historia.

Mr. Shadow

□ Yo no estaría tan orgulloso. El planeta necesita un acuerdo vinculante y lo necesita ya. Es una cuestión de justicia climática.

Mr. Light

□ Es cierto que hay mucho en juego, pero también los intereses en contra del acuerdo son descomunales por lo que ha habido que hacer malabarismos. Poner a todo el mundo de acuerdo de cómo se cambia el sistema energético no es tarea fácil. Lamentablemente ha habido que renunciar al carácter vinculante del recorte de emisiones, pero a cambio casi todo el mundo ha entrado en el acuerdo. Lo han firmado 187 países de los 195 países que



asistieron a la cumbre. Es todo un éxito si lo comparamos con el protocolo de Kyoto. El esquema de Kyoto de establecer primero un límite vinculante de reducción de emisiones para cada país, aunque más justo, se ha demostrado complejísimo. Aunque su objetivo era muy modesto, conseguir tan solo un 5% de reducción global con respecto a 1990, no consiguió hacer despegar un cambio del sistema productivo. Ahora Paris le da la vuelta a la estrategia. Para conseguir el cambio de tendencia hace vinculante el “que”, (el límite de 2oC), y deja el “como” al mercado y a los países. La pelota esta ahora en manos del binomio mercado-innovación tecnológica, y por otro lado de la ciudadanía, que debe presionar a sus líderes políticos en cada país para que no se duerman. Pero quizás lo hagan ahora, pues la carrera por dominar el mercado de la nueva economía verde ha comenzado. Donde no ha llegado la conciencia, quizás lo haga el mercado.

Mr. Shadow

□ ¡Pues vaya tela! Estamos hartos de que el mercado y los intereses económicos dominen a la política; por encima del sentido común, de los ciudadanos y de los derechos ambientales. Pero es que encima vamos ya tarde para indefiniciones ¡El Planeta no puede esperar! De hecho, los países lo tienen ahora que ratificar el tratado en sus parlamentos y en todo caso el acuerdo no entrara en vigor hasta el 2020, y siempre que lo ratifiquen al menos 55 países que representen el 55% de las emisiones mundiales. El hombre ha entrado en el sistema climático como un elefante en una cristalería, y quiere salir también a paso lento de elefante.

Mr. Light

□ Cierto. Pero insisto, el acuerdo ya envía un mensaje claro a los mercados y a los inversores. El acuerdo es el certificado de defunción de la economía fósil a medio plazo. Para el año 2050 la primacía estará en las energías renovables, pues el acuerdo recoge que para entonces los países no emitirán mas que lo que la naturaleza y la tecnología sean capaces de absorber. La transición de la economía fósil a la economía solar, la basada en energías renovables, ya esta encima de la agenda a escala global. Podemos decir que después de Paris esta transición es irreversible.



Mr. Shadow

□ ¿Pero de que sirve si no se dice como vamos a llegar a este objetivo? De nuevo un mero brindis al sol (nunca mejor dicho!) No solo hay indefinición en los plazos sino en la senda de descarbonización que tiene que seguir el mundo antes que nos explote la inmensa burbuja de carbono que la economía fósil está inflando temerariamente. Una vez mas las emisiones son algo que producen sobre todo los países del primer mundo y sufren más los del tercero.

Mr. Light

□ Bueno, hoy en día los países industrializados solo emiten el 35% de las emisiones mundiales de CO₂. Ya el primer emisor mundial es China. India esta también entre las 4 economías mas contaminantes del planeta. En cualquier caso, cuanto a la diferenciación, el acuerdo admite que son los países desarrollados quienes deben encabezar los principales esfuerzos. Por ejemplo, el de movilizar 100.000 millones de dólares anuales a partir de 2020.

Mr. Shadow:

□ Insuficiente. Ya el informe **Stern** nos advierte que tenemos que invertir el 1% del PIB mundial anual si queremos evitar que el cambio climático nos cueste del 5 al 20% del mismo.

Mr. Light

□ Cierto. Por eso el fondo anual se revisará al alza a partir del 2025. Paris es el primer acuerdo universal en las historia de las negociaciones climáticas. Inicia una nueva etapa: la descarbonización de la economía. Es verdad que es tan sólo el primer paso, pero en la dirección adecuada. Dice Gandhi que la velocidad es irrelevante si vas en la dirección equivocada. En Paris hemos colocado la brújula en la buena dirección.

Luces y sombras del tratado de Paris. He intentado con esta conversación ficticia abordar tan sólo dos ángulos de visión sobre el problema (¡y hay muchos más!) Parece que Paris no es un acuerdo suficiente, pero al menos es un acuerdo, y es universal. No es un punto de llegada sino una puerta de salida que se abre tarde, pero se abre. Esta claro que queda mucho por hacer y que no hay que bajar la guardia para presionar a los gobiernos que cumplan el acuerdo y revisen al alza sus compromisos. Estamos al comienzo de una historia que todos debemos escribir. Pero esta vez y a diferencia de Copenhague, todos los países marchan por fin en pelotón y por la dirección adecuada. En el futuro los libros de texto dirán que Paris fue el comienzo del final de la era de los combustibles fósiles. De hecho, **Al Gore** comenta que Paris es simplemente el certificado de defunción de la economía fosil. Paris bien merece un acuerdo, ¡el planeta también!

4.5 Y en esto llego Trump ...

El 1 de junio de 2017, el presidente Donald Trump anunció la retirada de Estados Unidos del acuerdo de París generando una gran conmoción.

Pude comprobarlo en persona durante la **Cumbre del Clima de Marrakech** que coincidió justamente con la elección del señor **Trump** el martes 8 de Noviembre del 2016. Pude ver a todos los activistas norteamericanos profundamente consternados. *“Los norteamericanos nos hemos acostado con un presidente líder mundial en la lucha contra el cambio climático, y nos hemos levantado con un presidente electo negacionista”*.

Pero no hay mal que por bien no venga. Esta presencia tuvo un efecto aglutinador que jamás había visto previamente. Un carácter revulsivo, que provocó que todos los actores redoblaran sus esfuerzos en acelerar los acuerdos y afianzar sus compromisos climáticos ante el temor a que **Trump** cumpla su promesa y se salga del acuerdo de París. La batalla va a ser colosal.



Pude conversar con el **Dr. Jonathan Pershing**, director de política energética de la Energy Policy and Systems Analysis (EPSA) del Departamento de Energía, y negociador de John Kerry, quien vino a Marrakech como delegado de Obama. El Dr. Pershing me tranquilizó. Por una parte, el acuerdo de París incluye una cláusula de demora de 4 años para los gobiernos que quieran salirse del tratado. Por otra parte, la acción de EEUU en el cambio climático no está sólo en su gobierno. Implica además a los estados, las ciudades, y sobre todo sus empresas. Las empresas norteamericanas no van a dejar pasar una oportunidad de negocio de trillones de dólares a nivel global. De hecho, según expertos de la Singularity University, la descarbonización de la economía

supone una oportunidad de negocio de entre 80 y 240 trillones de dólares a nivel mundial de aquí al 2050.

El 16 de Noviembre del 2016 Obama se despedía entregando en la **ONU** una hoja de ruta de descarbonización, un plan de reducción de emisiones del 80% para el 2050 (respecto a los niveles de 2005) A fecha de hoy todavía el mundo se debate entre el legado de **Obama** y los intentos de frenar al acuerdo de Paris por parte de la actual gobierno de Estados Unidos.

4.6 ¿Utopía o realidad?

Para poner un ejemplo muy concreto del grado de evolución de los acuerdos, vamos a analizar a continuación el avance en Europa y España centrandolo en una ventana temporal concreta, la del primer periodo de compromiso del protocolo de Kioto (2008-2012)

La **UE** ratificó su compromiso con las **EERR** con la llamada **triple 20**: conseguir que las **EERR** aporten el 20% del consumo total de energía para el 2020, y una reducción de al menos un 20% en las emisiones de gases de efecto invernadero en comparación a los niveles de 1990. Por otro lado para el 2020 un 10% de los carburantes consumidos por el sector del transporte deben estar basados en biocombustibles o en biomasa. Estos datos son un verdadero reto. La **UE** tiene hoy 27 países y casi 500 millones de ciudadanos. Aunque Europa quiere el 20% de su consumo basado en **EERR**, hoy en día el sector **EERR** solo supone un 6% del balance energético europeo.

Y ¿cómo anda España? Según un reciente informe de la **Agencia Europea del Medio Ambiente (AEMA)**, en el que se han seguido las emisiones de los seis gases de efecto invernadero, España ha sido el país de la Unión Europea que más ha incrementado sus emisiones de este tipo de gases en el periodo 1990-1999, y es el que se encuentra a más distancia de los **objetivos de Kyoto**.

No obstante, hay elementos de actuación muy positivos. De hecho la propia Comisión Europea reconoce que el reto de la triple A está lejos del alcance de la gran mayoría de países miembros, pero no para España. Nuestro país reúne para la Comisión los elementos básicos para conseguirlo. Solo están en mejor posición Alemania, Suecia, y en menor medida Hungría. Ello se debe a la aplicación de la “ley del régimen especial”, a la que, dada su importancia, dedicamos un apartado propio.

4.6.1 La ley del régimen especial

Desde el punto de vista legislativo, el primer gran paso en España para un modelo energético renovable fue la Ley 54/1997, de 27 de noviembre, del Sector Eléctrico. Esta ley establece los principios de un nuevo modelo de funcionamiento que, en lo que se refiere a la producción, están basados en la libre competencia. Para ello establece la existencia de un nuevo Régimen Especial de producción eléctrica, distinto al ordinario, en donde el precio de la energía viene determinado por la relación entre oferta y

demanda. Esta ley no solo acoge a las renovables, sino también a otras fuentes innovadoras como las centrales de cogeneración. Fue el pistoletazo de salida inicial para las renovables en España.

No obstante, para despegar el sector hacia falta incentivar las renovables con una tarifa especial que permitieran contabilizar los diversos beneficios medioambientales y estratégicos de las renovables. El Real Decreto RD 436/2004 fue un revulsivo en este sentido¹¹³. Básicamente, este real decreto se inspira en el esquema de tarifa subvencionada alemán. El concepto básico es sencillo. Se trata de incentivar la instalación de plantas de generación de electricidad mediante fuentes renovables, pagando una prima a la electricidad que estas plantas inyecten a la red eléctrica¹¹⁴. Esta prima es esencial, pues sin ella las plantas todavía no serían competitivas frente a fuentes convencionales de generación eléctrica. Ahora bien, no es un cheque en blanco. El estado revisará las primas periódicamente reduciéndola del orden de un 5%, a medida que los precios de instalación van bajando a medida que el mercado aumenta y se va consolidando. Las primas se dan en función de la producción, es decir de los kilowatios hora de energía eléctrica que generen, por lo que el mercado tenderá a aumentar el rendimiento de los equipos. En resumen, la ley del régimen especial es una buena idea alemana que muchos países, como España, Italia, Portugal, etc, han copiado con mayor o menor éxito. Hay que tener en cuenta que las energías fósiles convencionales no internalizan los costes ambientales que llevan aparejados. La prima extra asignada a las energías renovables es en cierta medida una compensación por el coste que nos ahorran al ser en sí mismas energías limpias.

La ley se asienta sobre dos pilares básicos: una tarifa razonable para el inversor y el acceso y posibilidad de conexión a las redes eléctricas. De nuestra capacidad para legislar en consecuencia dependerá el futuro del sector.

4.6.2 Los resultados de Andalucía

Una vez expuesto todo lo anterior, nos encontramos en condiciones de analizar el papel que pueden jugar las energías renovables y en especial la energía solar fotovoltaica en nuestra provincia en nuestra urgente lucha contra el cambio climático.

Vemos que las razones esbozadas en la tabla 3.5 parecen especialmente adecuadas para Andalucía. Todavía más, somos una zona geográfica que a la hora de fomentar las **EERR** combina poderosas razones de necesidad:

- ▶ España es el país de la Unión Europea con mayor dependencia energética. Importamos un 80% de nuestra energía del exterior.
- ▶ Somos la región más afectada de Europa por el cambio climático.

con razones de fortaleza:

- ▶ **Abundancia:** Andalucía posee un amplio **recurso solar**, y en particular la Bahía de Cádiz. Estamos situado en la zona de más alta solarización de Europa, como puede apreciarse de la gráfica 4.10. El sol puede ser una excelente oportunidad

¹¹³ Renovado en sus líneas generales por el RD 661/2007 aprobado el 25 de Mayo del 2007.

¹¹⁴ “Feed-in tariff”

de desarrollo y no sólo en el ámbito turístico. España recibe de hecho de media al año 1.600 kWh/m². Esto nos hace junto con Portugal el país más soleado de Europa. Asimismo posee un extraordinario recurso de biomasa debido a sus grandes extensiones agrícolas y un abundante recurso eólico, sobre todo en el área del estrecho.

y de oportunidad:

- ▶ Las **EERR** generan una amplia actividad y la apertura de un buen número de empresas. La energía eólica y la solar ocupan el primer y segundo puesto en la creación de empresas entre todos los sectores de las **EERR** en España.
- ▶ **Alto potencial de I+D+i.** Las **EERR** están basadas en una tecnología joven que todavía requiere un amplio desarrollo. Sólo podremos ser líderes en **EERR** si sabemos aprovechar esta oportunidad para investigar y producir tecnología propia ahora que se está iniciando la construcción del mercado internacional. Es momento de que Andalucía muestre que conoce el valor de la innovación como motor de desarrollo. Sobre todo teniendo en cuenta que la **UE** destinará a las **EERR** la mayor parte de los 1.000 millones de euros que reserva hasta el 2013 para I+D+i en energía.

Estas razones de oportunidad son especialmente pertinentes en energía solar, biomasa y energía eólica, donde tenemos la fortaleza de la abundancia del recurso. Por ejemplo, la industria eólica invierte nada más y nada menos que el 10% de su valor añadido en I+D+i, esto es, 10 veces más que la media nacional y el doble de los sectores denominados punteros, por ejemplo el informático o el farmacéutico. Así han conseguido aumentar la potencia de los aereogeneradores desde 330 kW hasta 2 MW o más. La industria eólica exporta además bienes al extranjero por valor de 1.500 millones de euros anuales.

Volviendo al potencial de I+D+i en **ESF**, disponemos ya de cierta infraestructura en tecnología y capacidad de fabricación nacional. De hecho, tenemos a **ISOFOTON**, una importante fábrica de módulos fotovoltaicos en Málaga que exporta el 80% de su producción. Tenemos iniciativas tan importantes como las plantas de energía solar térmica de alta temperatura de **Abengoa** en Sanlúcar la Mayor en Sevilla, que será la mayor planta solar térmica de la Unión Europea, y la segunda del mundo, pues tiene previsto alcanzar los **300 MW** en el 2013. Esta potencia es capaz de generar energía suficiente como para abastecer hasta 180.000 hogares, tantos como los de una ciudad como Sevilla. Tenemos a su vez ocho agencias de la energía andaluzas integradas en la red europea **FEDARENE** (Federación Europea de Agencias de la Energía y el Medio Ambiente), entre ellas la Asociación Provincial de la Energía de Cádiz (**APEC**). Tenemos una ley para el fomento de las **EERR** y el ahorro energético, que obliga a todos los edificios en uso de la Junta de Andalucía a incorporar energía solar térmica. A su vez, el Plan Andaluz de Sostenibilidad Energética (**PASENER**) continua el camino marcado por el actual Plan Energético de Andalucía, para alcanzar el objetivo de que en el año 2010 un 15% de la energía total demandada por los andaluces tenga su origen en fuentes renovables.

Aunque otras comunidades reaccionaron más rápido que nosotros, Andalucía está tomando posiciones en la carrera por las renovables. Según el Observatorio de la

Sostenibilidad de España, en el 2005 Andalucía ya era la primera comunidad autónoma en superficie de energía solar térmica instalada (213.138 m²), y la mayor potencia de biomasa instalada (93.760 kW).

Quedan muchos aspectos que corregir y medidas y contenidos que implementar, pero no cabe ninguna duda que algo se está moviendo en Andalucía en relación a las **EERE**. Andalucía, aunque empezó rezagada frente a otras comunidades de España, está haciendo valer sus condiciones climáticas privilegiadas. De hecho, en **ESF** de conexión a red teníamos 7.6 MWp instalados en el 2005 y 584 MW en el 2008, lo que da muestra del enorme avance de la **ESF** en la región. Andalucía tiene una oportunidad histórica no sólo de integrarse sino de liderar un sector de futuro. Para ello debe entusiasmar a sus jóvenes, a sus investigadores y a sus emprendedores en una tarea colectiva. Estamos bien situados para ello, pero debemos reaccionar pronto para hacer un hecho de esta oportunidad histórica. Esta vez no podemos dejar pasar el tren de las **EERR**.

4.6.3 Los resultados de España

Analizamos a continuación nuestros resultados en los indicadores más importantes relacionados con la problemática tratada en este libro. Empezaremos con la reducción, o la falta de ella, de emisiones de **GEI**, para posteriormente analizar la progresión del mercado de **EERR** español.

4.6.3.1 Emisiones

En España el impacto de la subida del precio del crudo será especialmente fuerte en la inflación, debido a nuestra acusada dependencia energética del 80%¹¹⁵. De hecho gastamos como nuevos ricos. Nuestra dependencia energética en 1.990 era del 66%. En el 2.005 hemos subido al 80%.

En cuanto al gas, España depende de forma crítica de países como Argelia¹¹⁶, en donde el crecimiento del movimiento fundamentalista islámico puede entrañar una falta de estabilidad a medio plazo.

La evolución de nuestras emisiones desde el 1.990 hasta el 2.007 se detalla en la figura 4.3. En 2.007 emitimos un **52%** más de emisiones de CO₂ que en 1.990. Esto se debe principalmente al aumento del consumo, de la intensidad energética y a la sequía que disminuye nuestra generación de energía hidráulica. De hecho, España es el país de la Unión europea más alejado de cumplir con nuestros compromisos de Kyoto. Como podemos apreciar en la figura 4.3, el objetivo Kyoto es que España emitiera sólo hasta un 15% más lo que emitíamos en 1990. A pesar de que el rango concedido para España es muy generoso, como podemos apreciar en la tabla comparativa 4.4, sencillamente no hemos hecho “la tarea”.

¹¹⁵ Si tenemos en cuenta que el uranio que abastece a nuestras centrales nucleares no es precisamente español, el porcentaje de dependencia externa sube hasta el 90%.

¹¹⁶ En contra de lo comúnmente asumido, España importa de Argelia solo el 30% del gas y de hecho 2/3 del aprovisionamiento nos llega por barco. No obstante, el resto de países de procedencia son Nigeria, Trinidad y Tobago, Catar, Omán y Noruega. Salvo el último, no parece que estos países sean una garantía de estabilidad.

Como señaló el Ministerio de Medio Ambiente en Abril del 2.006, si excluimos a los países en desarrollo, España es el país industrializado donde más ha aumentado las emisiones de CO₂. Conviene recordar que nuestros problemas energéticos se desarrollan en un contexto en donde el Mar Mediterráneo sube de nivel 3 veces más rápido, y se calienta 5 veces más deprisa que el resto de los mares¹¹⁷ y en donde rige el panorama hacia el 2.080 expuesto en el primer capítulo de este libro.

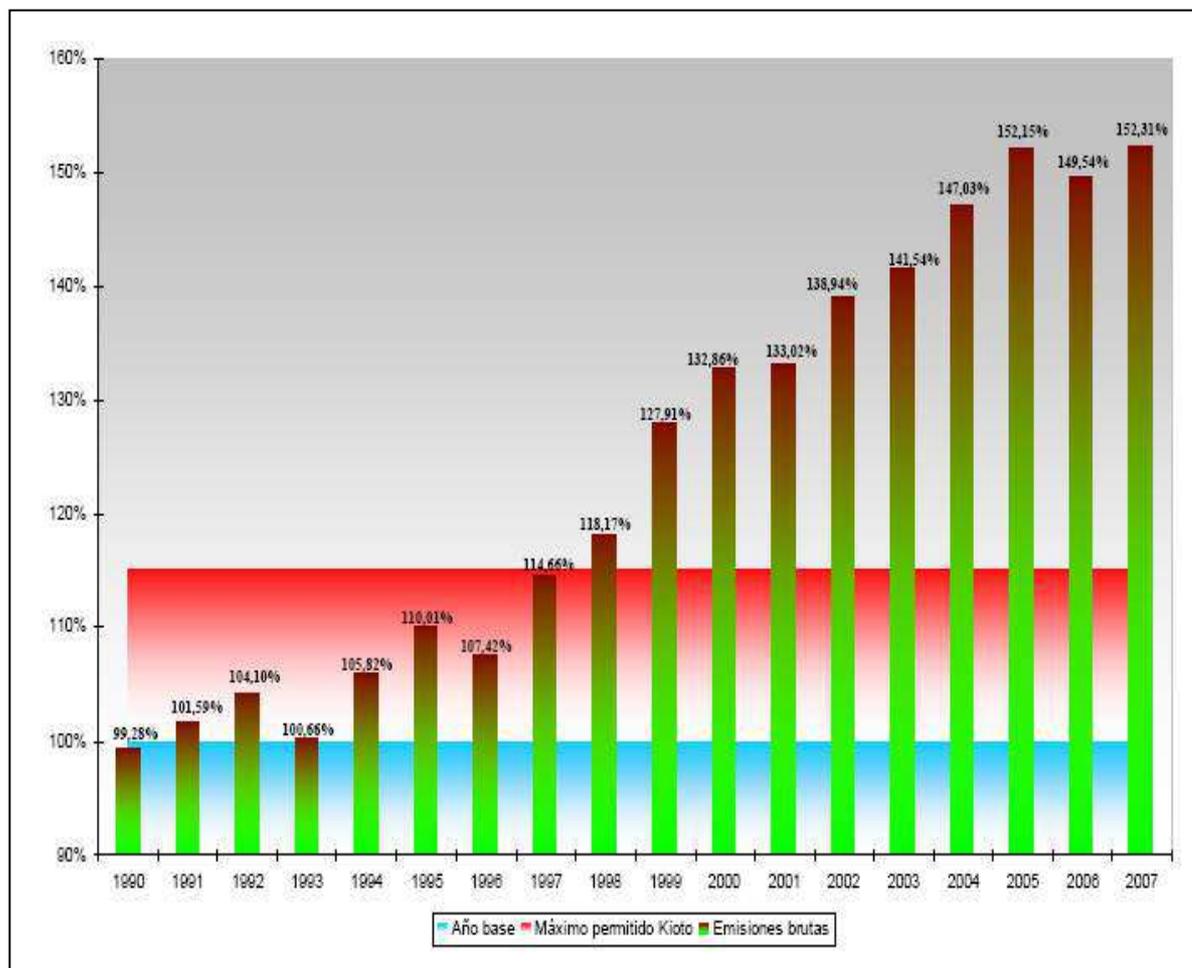


Figura 4.3. Evolución de las emisiones de gases efecto invernadero en España desde 1990 hasta el 2007. En azul se muestra la emisión del año base 1990, en rojo el máximo permitido para el 2.010, correspondiente a un 15% superior al año base. El valor del año 2007 supera el 52% del año base. Fuente: AEMA. Gráfico: Informe CCOO-World Watch.

El 2.006 refleja un cambio de tendencia: es el primer año donde se ha reducido la intensidad energética en España, es decir donde el consumo se ha incrementado menos que el PIB y además, con la primera caída del consumo de energía final desde 1.992. Después de muchos años, por fin hemos conseguido en el 2.006 reducir nuestras emisiones de CO₂ un 4,1% gracias a las eólicas y a las lluvias que han permitido incrementar la producción de las centrales hidráulicas.

¹¹⁷ Según un estudio conjunto ente la Universidad de Alicante y la NASA publicado el 23-09-2006.

	Objetivos UE	Estimaciones para 2010		Objetivos UE	Estimaciones para 2010
Austria	-13,0	+14,8	Letonia	-0,8	-46,1
Bélgica	-7,5	+1,2	Lituania	-0,8	-50,5
Rep. Checa	-8,0	-24,4	Luxemburgo	-28,0	-22,4
Dinamarca	-21,0	+4,2	Holanda	-6,0	+3,6
Estonia	-8,0	-56,5	Polonia	-6,0	-12,1
Finlandia	0,0	+9,9	Portugal	27,0	+46,7
Francia	0,0	+6,4	Eslovaquia	-8,0	-22,4
Alemania	-21,0	-19,8	Eslovenia	-8,0	+4,7
Grecia	25,0	+34,7	España	15,0	+51,3
Hungría	-6,0	-28,5	Suecia	4,0	-1,0
Irlanda	13,0	+29,6	R. Unido	-12,5	-18,8
Italia	-6,5	+13,9	UE-25	-	-4,6

Tabla 4.4. Emisiones de CO₂ según la Unión Europea en porcentajes de variación con respecto al año de referencia: 1990.

La previsión para el 2.007 era halagüeña. En este año el estado destinó 268 millones de euros a mejorar la eficiencia energética. El ahorro y eficiencia energética es una verdadera asignatura pendiente. De hecho, España consume un 19% más de energía por unidad de producto interior bruto que la media de la UE. También 2.007 es el año donde se preparan leyes para el fomento de la biomasa, otra de nuestras asignaturas pendientes. El 85% de la biomasa que se genera en España se desaprovecha según un informe¹¹⁸ de Boston Consulting elaborado para la recién constituida Asociación Española para el Aprovechamiento de la Biomasa (AAB). Esta energía desaprovechada supone el 45% de nuestro objetivo de Kyoto para 2012. Finalmente, en Julio del 2.007 el gobierno aprobó 80 medidas urgentes contra el cambio climático en el marco de la Estrategia Española de Cambio Climático y Energía Limpia. La intención es reducir 271,7 millones de toneladas de CO₂ hasta 2.012, un total de 61,1 millones de toneladas adicionales a las inicialmente previstas. Los costes son de 400 millones de euros anuales, desde 2.008 hasta 2.012. Todas estas medidas son interesantes, pero vemos en el gráfico 4.3 como de nuevo en 2007 incrementamos nuestras emisiones y volvimos prácticamente al mismo valor del 2005.

¹¹⁸ Cinco días de 09-02-2007.

En el año 2008 se hizo visible un poderoso agente de reducción de emisiones: la crisis económica. En el año 2008 las emisiones cayeron un 10% con respecto a las del 2007; fundamentalmente debido a la crisis y la menor actividad industrial. También influyó poderosamente una rebaja del 30% del carbón importado debido a que dobló su precio, y por supuesto el aumento de fuentes energéticas renovables. El listón de exceso de emisiones queda por tanto en el **42%** a finales del 2008. Remarcablemente, la crisis nos va a ayudar a cumplir los objetivos de Kyoto. Por otro lado, la crisis del sistema financiero esta frenando, y mucho, el desarrollo de nuevas inversiones en energías renovables.

En conclusión, continuamos a la cabeza de los países más contaminantes de Europa. Queda todavía mucho trabajo por hacer. De hecho, para poder llegar a los objetivos de Kyoto en el 2012, el propio gobierno estima en Enero del 2009 que deberemos comprar en el próximo lustro 159 millones de toneladas de derechos de emisión de gases de efecto invernadero. De hecho ya estamos comprando derechos de emisión a Hungría y vamos camino de ser el mayor comprador de derechos de emisión de CO₂ a Europa del Este.

4.6.3.2 ESF

Tras nuestro boom fotovoltaico del 2008, España es el líder mundial en potencia fotovoltaica (**FV**) instalada por habitante, seguido por Alemania. Europa es la verdadera locomotora de la energía solar fotovoltaica (**ESF**) en el mundo: Europa reúne el 80% de la potencia instalada en el mundo en el 2008. El 2008 fue un gran año para la **FV** en España. En este año instalamos el 45% de toda la potencia FV instalada en el mundo. La increíble progresión en el tiempo de la potencia FV instalada en España se muestra en la figura 4.6.

POTENCIA FOTOVOLTAICA POR HABITANTE	
	W/habitante
España	75,19
Alemania	65,08
Luxemburgo	50,46
Bélgica	6,67
Portugal	6,40
Italia	5,33

Tabla 4.5. Seis primeros países europeos en potencia FV por habitante en el 2008.
Fuente: Euroobserver. Gráfico: ASIF.

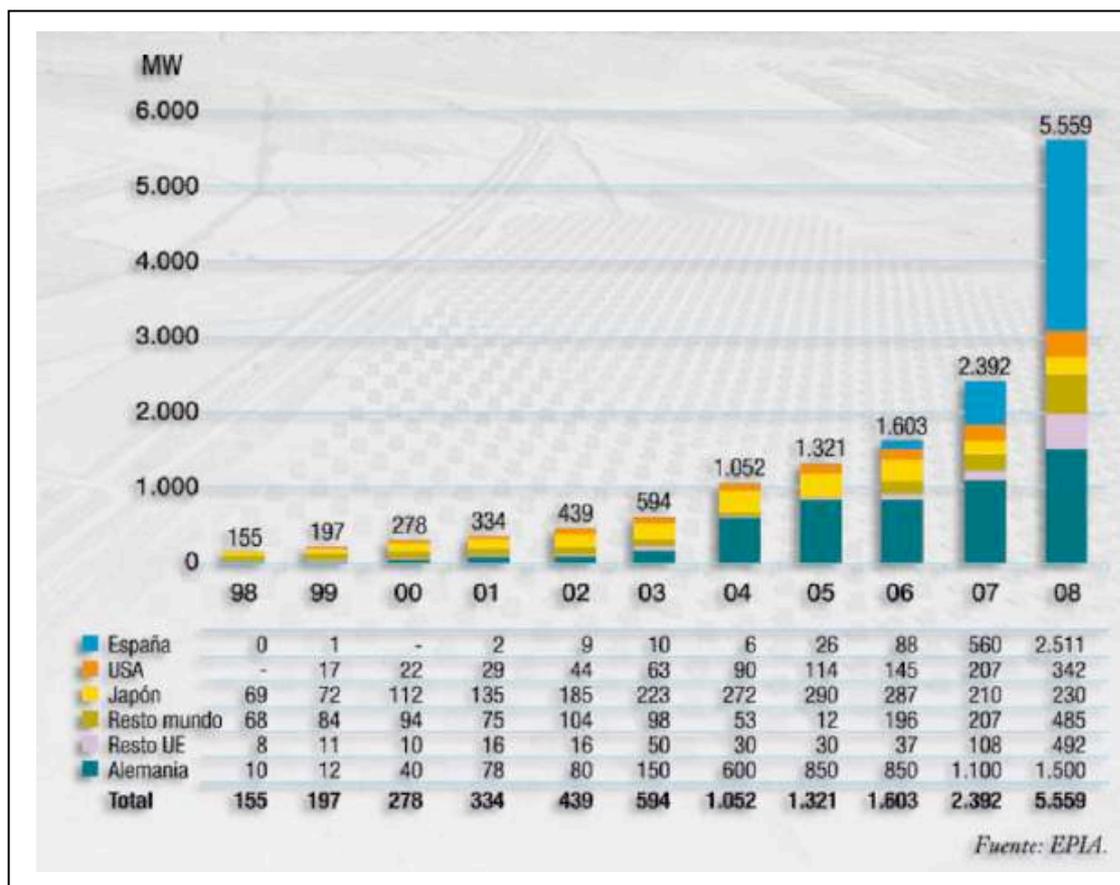


Tabla 4.6. Progresión de la potencia FV instalada en España (en azul) desde 1998 al 2008. Fuente: EPIA. Gráfico: ASIF.

La tabla 4.6 hace bueno el dicho “más vale una imagen que mil palabras”. Otro indicador de este crecimiento acelerado lo da el número de inversores en este tipo de energía. Según datos de la propia CNE, el número de inversores ha pasado de 6 en 1.998 a 2.000 en el 2.007, es decir, se ha multiplicado por trescientos en tan sólo 10 años.

En España tras el 2008 tenemos según la CNE 3,3 GWp de potencia fotovoltaica. Ahora bien, ¿cómo se reparte esta potencia por comunidades autónomas? La figura 4.7 responde a esta pregunta. Vemos como Andalucía es, tras Castilla la Mancha, la segunda comunidad en potencia FV instalada en España.

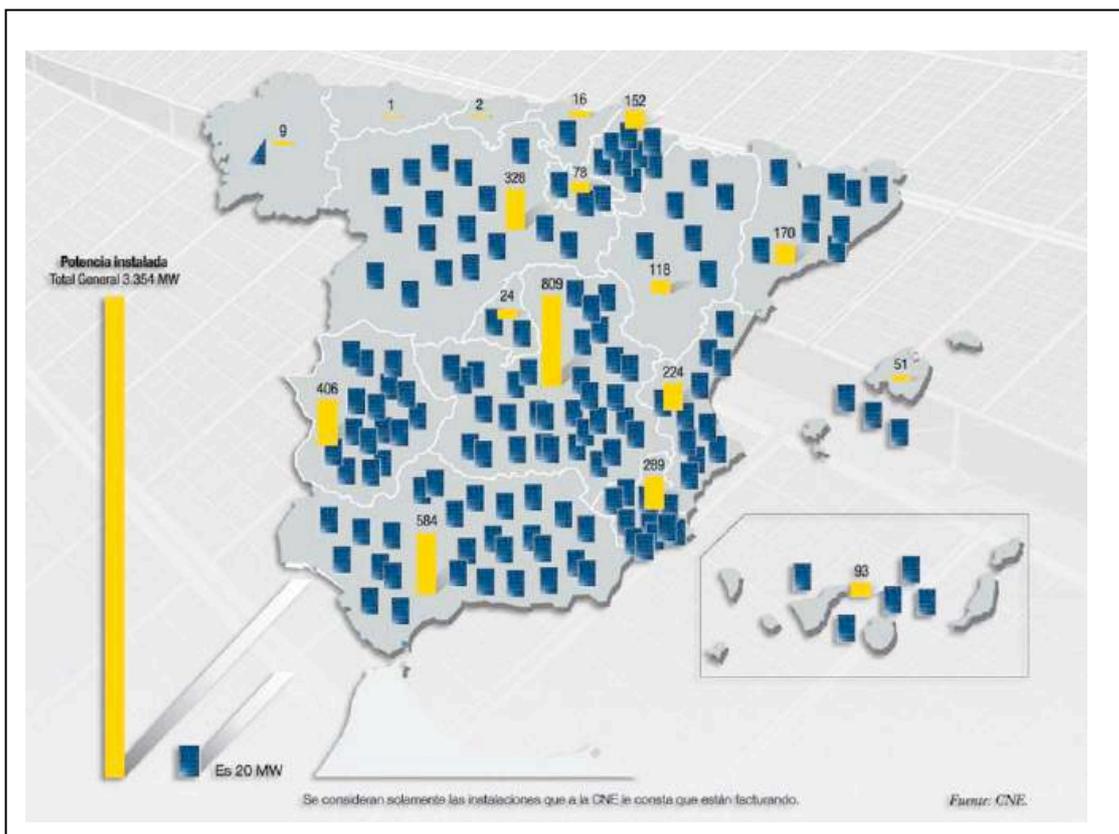


Gráfico 4.7. Potencia FV conectada por comunidades autónomas en 2008. Fuente: CNE. Gráfico. ASIF.

Muchas voces hablan del extraordinario potencial fotovoltaico de España. Entre ellas Shin Zhengrong, una de las mayores fortunas de China y fundador de la empresa Suntech, mayor suministrador de módulos de España. En opinión del Dr. Zhengrong *“España tiene todas las condiciones para ser líder mundial de la energía solar”*¹¹⁹.

El futuro es prometedor. Los objetivos del nuevo Plan de Energías Renovables 2.010-2.020 es que la potencia eléctrica generada en España en el 2.020 sea un 40% de origen renovable. Este objetivo es necesario, si queremos cumplir con el objetivo europeo de llegar al 2.020 con un 20% de origen renovable del total de energía primaria consumida en España. Para ello necesitamos pasar de los 20.000 MW actuales de potencia renovable instalada a 85.000 MW en 12 años, además de hacer “bio” el 15% de nuestros carburantes. Nos queda por tanto por delante un esfuerzo considerable: multiplicar por cuatro nuestra potencia instalada en energías renovables.

¹¹⁹ Expansión, 30 de Mayo del 2007.

En resumen, en **ESF** si estamos haciendo la tarea. La industria fotovoltaica española tiene la capacidad de cubrir el 10% del mercado mundial de paneles. En potencia instalada somos segundos de Europa y cuartos del mundo. De hecho, somos los primeros del mundo en potencia instalada per cápita. No obstante, conviene analizar este espectacular crecimiento. En el 2.006 instalamos 120 MW, lo que supone crecer a un ritmo del 130%. En el 2.007 el mercado creció un 630%. En el 2.008 el mercado creció un 450%. Este ritmo es insostenible. La propia Asociación para la Industria Fotovoltaica (**ASIF**) pide unos crecimientos razonables y continuados del 20% anual.

Ajuste duros legislativos han provocado en el 2009 una gran contracción del sector: el famoso “apagón fotovoltaico” español. Este apagón se manifiesta en el gráfico 4.8,

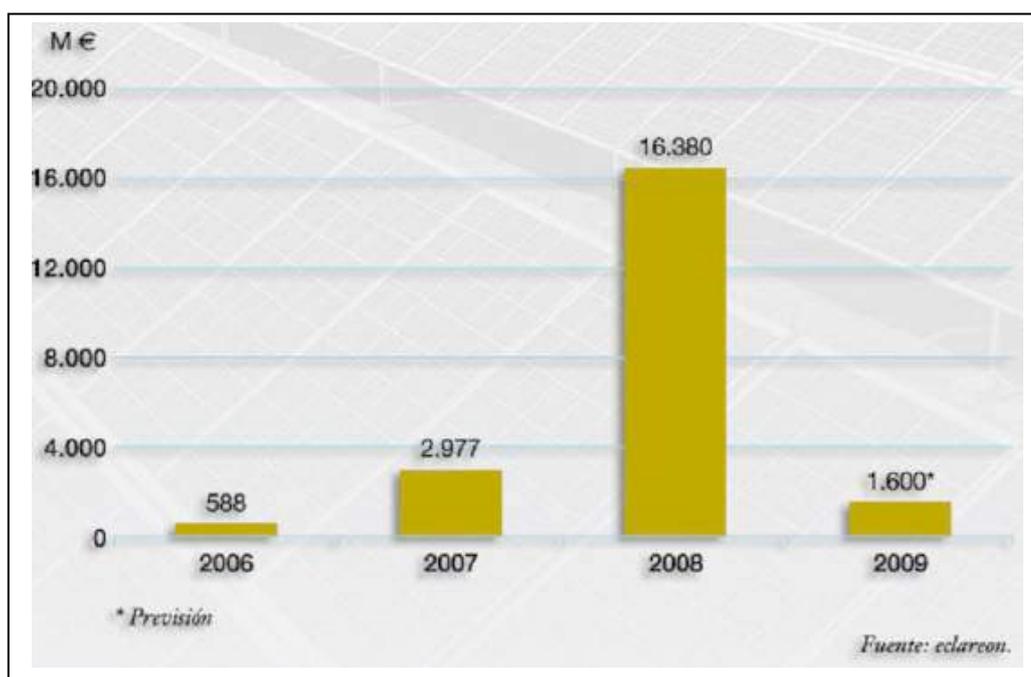


Gráfico 4.8. Valor del mercado fotovoltaico español. Fuente: Eclareon. Gráfico: ASIF.

donde vemos que la inversión ha disminuido 100 veces, generando una gran distorsión en la industria y la pérdida de miles de empleos.

Aunque un ajuste es necesario, dado el boom descontrolado del sector, también es cierto que este mismo boom lo ha provocado en gran medida una reglamentación que no ha resultado eficaz para estimular de forma ordenada el sector. Este sí ha sido el caso de Alemania, país modelo en desarrollo fotovoltaico. Un país con menos sol que España, pero quizás con algo más de capacidad de prospectiva.

4.6.3.3 Eólica

Como hemos visto en el capítulo anterior, en energía eólica España es la segunda potencial mundial. Es con mucho nuestro sector de energía renovable más avanzado. Ya en el 2.007 el sector emplea en España 35.010 personas¹²⁰ y producía el 8.5% de toda la generación de electricidad del país. Un solo año más tarde, a finales del año 2008 los parques eólicos cubrían el 11% de la demanda anual de energía eléctrica en España. Definitivamente, la energía eólica es un puntal de la Estrategia Española de Cambio Climático y Energías Limpias (EECCCEL).

Por su volumen, su tecnología y su potencial de desarrollo, la energía eólica es un puntal de la economía del país. De hecho, según la patronal eólica esta es en la actualidad la cuarta fuente de energía eléctrica del país en potencia instalada¹²¹, por encima de la energía nuclear. Pero aún hay más, esta misma asociación prevé que a finales del 2.007 la energía eólica superará al carbón, y será la tercera fuente de energía eléctrica en potencia instalada del país. España posee ya instalados 11.600 MW, es decir, un 15% de los 74.288 MW instalados en el mundo. Si bien somos los segundos en el ranking mundial por detrás de Alemania, puede que Estados Unidos nos arrebatase el segundo puesto durante el 2007¹²². Tenemos además una compañía, **Iberdrola**, que es líder mundial en energía eólica, con 7.698 MW previstos para este año. De ellos, 4.100 MW están en España repartidos en 13 comunidades autónomas.

4.6.3.4 Biomasa

Esta es nuestra asignatura pendiente. El Plan de Energías Renovables 2.005-2.010 (PER) espera conseguir 5.138 ktep para el 2.010, más incluso que el sector eólico con 3.914 ktep. Alcanzar este objetivo exige tener instalado 1.695 MW en el 2.010. Actualmente hay tan sólo unos 500 MW. Uniendo los usos eléctricos y térmicos, la contribución total de la biomasa debería suponer 9.208 ktep en 2.010, casi la mitad de las 20.220 ktep que deben aportar el conjunto de las energías renovables.

En los últimos 10 años se han abandonado el 10% del total de la superficie agrícola de secano de España. Los nuevos cultivos energéticos suponen una oportunidad al campo español. De hecho, sin en el 2.004 habían tan sólo 6.800 Ha dedicadas a estos cultivos, en el 2.005 se cuadruplicó esta cantidad, alcanzando las 27.230 Ha. Ya en el 2.006 esta cifra ascendió a 200.000 Ha según la Asociación de Productores de Energías Renovables (APPA).

De momento, la apuesta más importante en biomasa se ha dado en los residuos de podas de viñedo, olivos y frutales. En España se encuentran las mayores extensiones mundiales de estos cultivos, por lo que la biomasa es un recurso renovable natural para nuestro país.

¹²⁰ De estos 15.450 son empleos directos (fabricación, obra civil, montaje, operación y mantenimiento de los parques).

¹²¹ Aunque en generación ocupa el sexto puesto.

¹²² Fuente: AAE. Cinco Días. 16 Junio del 2007.

4.6.3.5 El mix eléctrico español

Después de lo visto ¿cual es el peso de las **EERR** en el mercado eléctrico español? Es buen momento para analizarlo. Según datos de la Comisión Nacional de Electricidad (CNE) recogidos en el Informe Anual de ASIF 2009, la tarta eléctrica española en cuanto al tipo de recurso utilizado en la generación se reparte así:

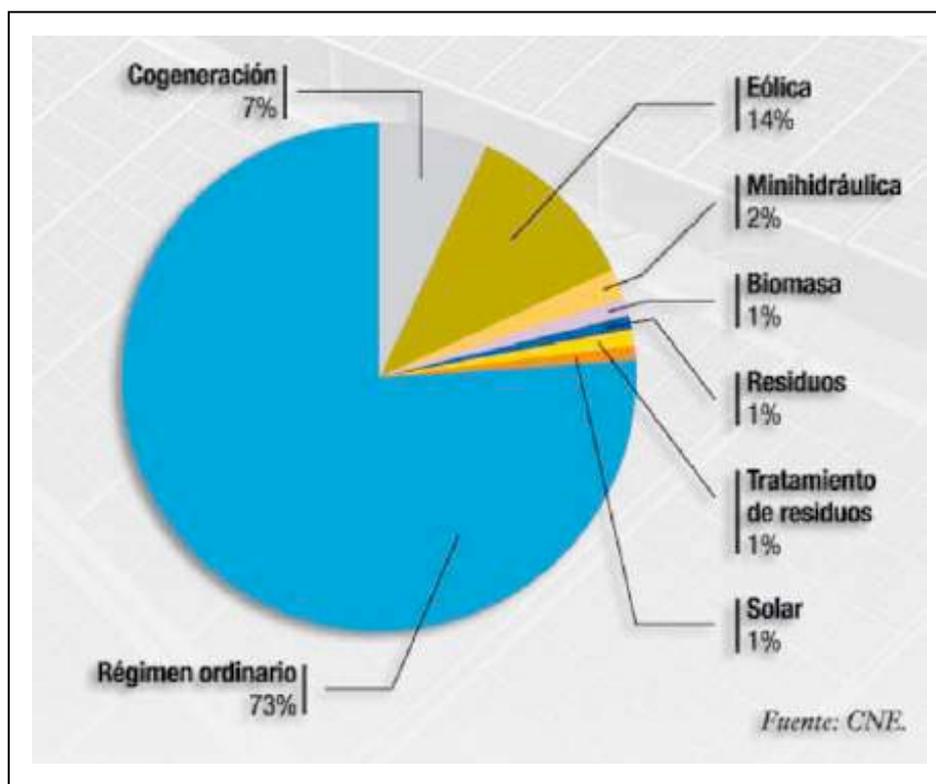


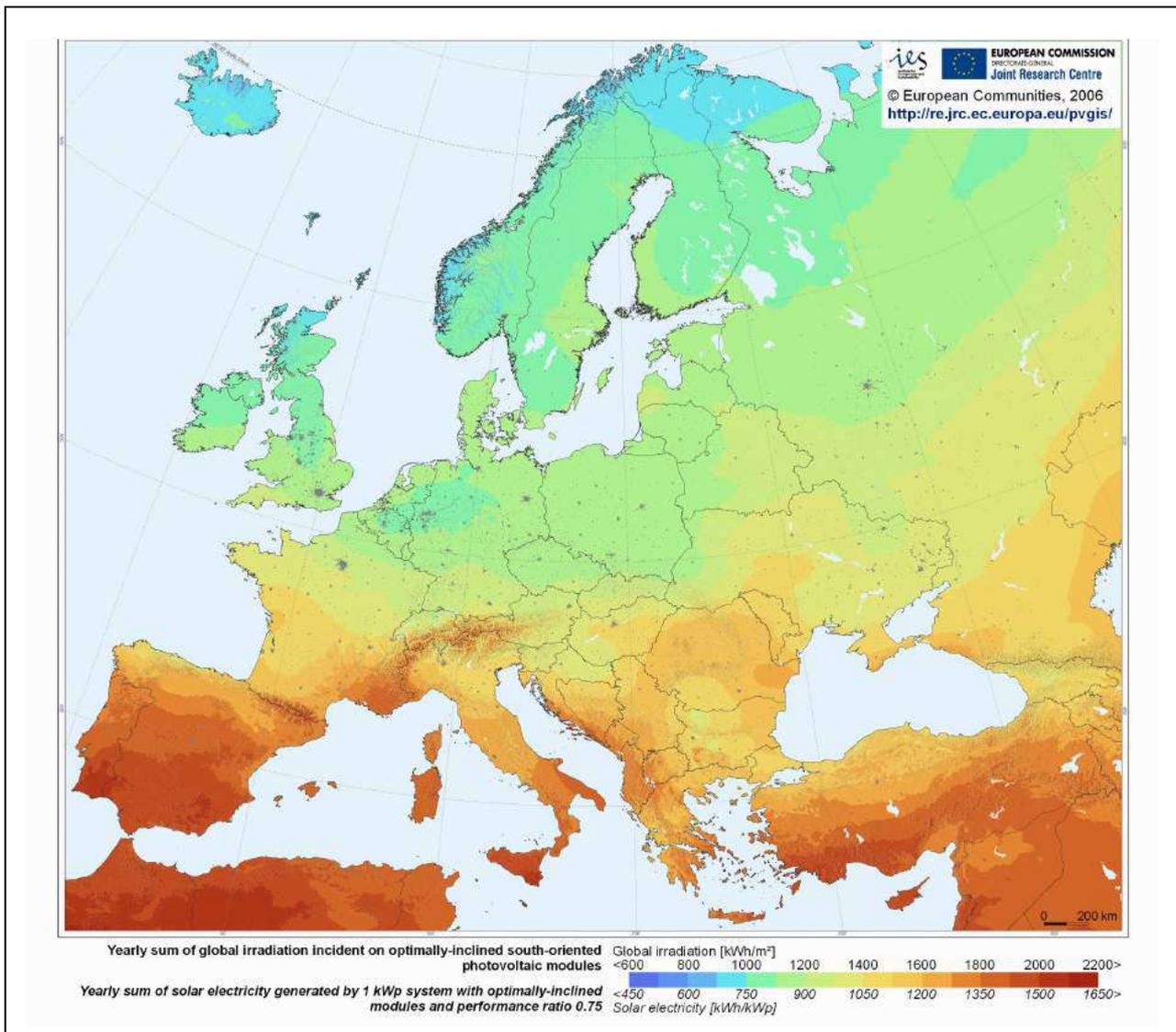
Gráfico 4.9. Participación de las **EERR** en la demanda eléctrica nacional.
Fuente: CNE. Gráfico: ASIF.

La eólica es la energía que más aumenta su contribución al mix eléctrico español, y es que en energía eólica en España aprobamos con nota. De hecho, en la Europa de los 25, el uso del viento como fuente de energía supuso tan sólo el 2% de la energía total. En conclusión, España esta diversificando sus fuentes energéticas de generación eléctrica. Esta estrategia parece más que razonable en un país con una dependencia energética del exterior del 85%. Necesitamos continuar en una senda de estabilidad que favorezca el crecimiento y desarrollo de las **ER**.

Asimismo, hemos avanzado considerablemente en conciencia social. Un informe sobre Eficiencia Energética ha sido realizado por LogicaCMG en el 2007 a más de 10.000 consumidores de diez países europeos, entre ellos España. En él, un **94%** de los consumidores españoles se confesaron preocupados por el cambio climático y un **79%** reconoció que el consumo de energía que realiza afecta al cambio climático. Ahora “tan sólo” queda predicar con el ejemplo. Un buen número de consejos prácticos se ofrecen en el último capítulo para ayudarnos en este sentido.

4.6.4 Los resultados de Europa

Alemania es el referente claro en energías renovables a nivel mundial. Su insolación es escasa, como se puede apreciar en el mapa europeo dado en la gráfico 4.11¹²³. Es realmente digno de admiración que con una insolación tan baja Alemania se encuentre prácticamente “alfombrada” de paneles solares fotovoltaicos. Como se puede apreciar en la tabla 4.6 sólo Alemania instaló en el 2.008 1.500 MW de los 5.500MW instalados en el mundo. De esta manera Alemania ocupa el primer lugar en el mundo. En



Gráfica 4.11. Potencial FV en Europa. FOTO: PVGIS © European Communities, 2001-2008.

Alemania, nada más y nada menos del 62% de las casas y edificios cuentan con energía solar, ya sea térmica o fotovoltaica.

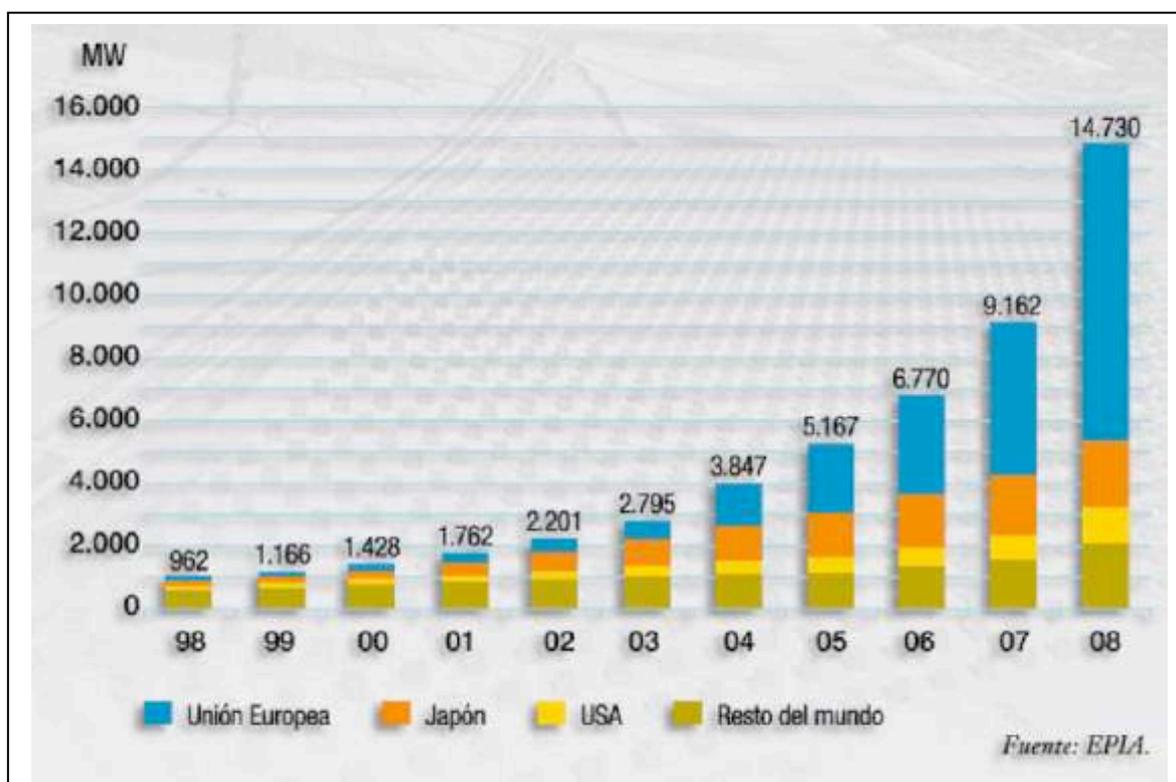
¹²³ Šúri M., Huld T.A., Dunlop E.D. Ossenbrink H.A., 2007. [Potential of solar electricity generation in the European Union member states and candidate countries. Solar Energy](http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/), 81, 1295–1305, <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>.

En resumen, la UE depende hoy por hoy en un 50% del petróleo y el gas importado. Esta cifra podría elevarse al 70% en el 2.030. Como hemos visto esta proporción varía mucho de país a país. Por ejemplo, Dinamarca es completamente autosuficiente, mientras que España o Italia tienen que valerse en más del 80% en recursos externos. La energía es uno de los principales problemas de Europa. Baste decir que existe una necesidad urgente para modernizar la infraestructura energética de la UE, lo que costará 800.000 millones de euros en los próximos 20 años¹²⁴.

4.6.5 Los resultados del Mundo

A finales de 2.008, la capacidad acumulada instalada de los sistemas solares fotovoltaicos de todo el mundo superó la cifra de 14,7 GW¹²⁵. Esta capacidad es suficiente como para abastecer el consumo eléctrico de unos cinco millones de hogares europeos. Estos valores contrastan con los 1,4 GW existentes a finales del año 2.000. El mundo ha multiplicado su potencia FV instalada por 10 en tan sólo 8 años. Las instalaciones de células y módulos FV en todo el mundo han aumentado en una tasa media anual superior al 35% desde 1.998.

Además de Alemania, España y Japón, es destacable también el progreso en Italia y



Gráfica 4.14. Mercado mundial FV acumulado. Fuente: EPIA. Gráfico: ASIF.

¹²⁴ European citizens' consultations. Comisión Europea.

¹²⁵ Informe Anual ASIF 2009.

Francia. Otro país que sin duda va a ser un referente mundial es Corea con 50 MW instalados durante el 2.007, y que puede multiplicar por diez su potencia en el 2.010.

Ahora bien, en cuanto a dinamismo especial mención merece el caso de California. Sus rápidas iniciativas como el **CSI** la situaron como el tercer mercado fotovoltaico del mundo en el 2.006, con 58 MW instalados, y un crecimiento del 40% con respecto al año anterior. El **CSI**, que en este caso no se refiere a la popular serie de TV sino a la “*California Solar Initiative*”, ha sido apoyada por su gobierno con 3.200 millones de dólares en los próximos 11 años. La atracción de California reside en su ambiente empresarial. Según la consultora SolarPlaza “*Silicon Valley volverá a convertirse en el centro de una industria basada en el silicio: pero esta vez se trata de la energía solar*”. Muchas firmas de capital riesgo antes orientadas al sector informático se han volcado para lanzar a las incipientes empresas fotovoltaicas a los mercados comerciales y bursátiles.

Gracias a este dinamismo se prevé que **EEUU** se convierta pronto en el segundo mercado mundial, tras Alemania, pudiendo llegar incluso a los 1,4 GW en 2.010¹²⁶.

¹²⁶ Fuente **EPIA**.

4.7 El ciclo de la indecisión

Las preguntas unen y las respuestas separan.

Jesús M. Linares

El cambio climático es un problema global, que como tal requiere de una solución global. El problema es doble: no sólo requiere poner de acuerdo a los gobiernos de la mayoría de los países del planeta. También requiere poner de acuerdo, dentro de cada país, a los diversos estamentos involucrados en todas las fases del problema. Por poner un ejemplo, contaremos un relato que habla por si mismo.

Se cuenta que al comienzo de las reuniones del **IPCC**, hace unos 20 años, un anciano científico japonés pidió la palabra y dijo. *“Los científicos hemos constatado que existe un problema de emisiones, pero no lo podemos resolver. Dado que el CO₂ lo producen las máquinas tenemos que llamar a los ingenieros. Estos a su vez, dirán que existe la tecnología necesaria para solucionar el problema, pero que reemplazarlas cuesta mucho dinero. Hay por tanto que llamar a los economistas. Estos harán sus cálculos y dirán que para conseguirlo habrá que cambiar nuestro actual modelo social basado en el transporte individual y el derroche energético. Así que los economistas llamarán a los sociólogos. Estos a su vez dirán que es un problema de escala de valores que ellos no pueden resolver. Así que acudirán a los filósofos para que nos digan que valores deberíamos priorizar”*.

Parece ser que tras 20 años el relato ha resultado ser una “profecía”, se ha ido cumpliendo paulatinamente. Los metereólogos del **IPCC** han hecho su trabajo, demostrando con total rotundidad la existencia del calentamiento global y su naturaleza antropogénica. Por ello han recibido el premio Nobel de la Paz del 2008. Los ingenieros han demostrado que ya existe la tecnología para solucionar el problema¹²⁷ Los economistas, han calculado los costes de efectuar una transición de nuestra actual economía fósil a una economía solar. Por ejemplo, el **informe Stern** concluye que lo más caro es no hacer nada. Seguir como hasta ahora nos puede costar hasta el 20% del PIB mundial. Todos estamos de acuerdo que nuestro actual modelo de vida es insostenible en todas sus facetas. Ahora bien, ¿cómo cambiar nuestro modelo de vida? Le toca el turno, como anticipaba nuestro científico japonés, a los sociólogos y a los filósofos porque en esencia, lo que estamos planteando es una **cuestión moral**. Debemos replantearnos nuestro papel en el mundo y nuestra forma de relacionarnos con la naturaleza.

Este ciclo de rotaciones del problema entre diversas comunidades de especialización es demasiado largo y confuso. Es como si nos pasáramos la pelota de unos a otros porque al final, creemos que el problema es demasiado grande como para resolverlo. En el camino aparecen diversos iluminados que arrojan sin pudor todo tipo de dudas sobre el mismo. No hace falta negar el calentamiento global. Basta sugerir que existen dudas

¹²⁷ Ver por ejemplo el Estudio *Renovables 100%* de la Universidad de Comillas y Greenpeace.

sobre el mismo. La reticencia al cambio hará el resto. La estrategia recuerda a la de las grandes compañías tabacaleras americanas. Estas lograron retrasar durante décadas la campaña antitabaco del gobierno, aún cuando la relación entre consumo y cáncer estaba totalmente demostrada. Podemos recordar eslóganes como *“Mas médicos fuman camel”*. La compañía de tabaco Brown & Williamson, en un memo de 1960 decía *“La duda es nuestro producto, ya que es el mejor medio para combatir la convicción existente en la mente del público en general”*. Esta estrategia es más que suficiente cuando nos interesa más la duda que la certeza. En este sentido el gran pensador americano Upton Sinclair decía que *“Es difícil conseguir que un hombre entienda algo, cuando su salario depende de que no lo entienda”* Como sostiene Al Gore, el cambio climático es una verdad, pero una verdad incómoda.

Ya ha pasado por tanto la época de las discusiones sobre la naturaleza del problema. Estamos ya por tanto en una época de consecuencias. Debemos reaccionar e implementar rápidamente soluciones antes de cruzarnos con un punto crítico, a partir del cual sea ya muy difícil retornar. No obstante, las reacciones son todavía tibias y moderadas, mucho menores de lo que corresponde a la magnitud del problema.

Conviene por tanto reflexionar sobre nuestra posición ante el problema. Hablar de sociología, hablar de compromiso, hablar de moral. A ello dedicamos el siguiente capítulo.

4.8 Crisis climática versus crisis económica

Vivimos en un mundo de insostenibilidad. Como hemos visto en capítulos anteriores existen 6 fuentes de insostenibilidad del modelo energético, siendo la insostenibilidad ambiental tan sólo una de ellas.

Estamos asistiendo a un desmoronamiento de un mundo que creíamos firmemente asentado. Descubrimos con estupor que la pretendida solidez del mercado y del modelo de neoliberalismo económico a ultranza estaba en verdad asentada sobre bases frágiles. La crisis financiera del 2.008 es un ejemplo más de insostenibilidad del modelo económico. Fruto de esta crisis, son muchos los que se han planteado la conveniencia de “postergar” medidas para paliar el cambio climático hasta no haber resuelto la crisis económica. Los adalides de tales planteamientos ignoran dos hechos fundamentales:

I) En nuestra crisis climática está caracterizada por la presencia de **puntos críticos**. Estos son puntos irreversibles de inestabilidad del sistema. Una vez sobrepasados se hace virtualmente imposible volver atrás. El deshielo del **permafrost**, suelo congelado típico de zonas de altas latitudes que cubre un cuarto del total de las tierras continentales, ilustra el punto crítico más cercano. En cinco años el océano glacial ártico se derretirá totalmente en verano. Este punto crítico puede desembocar, como una reacción en cadena, el que lleguemos a otros puntos críticos, como el deshielo de Groenlandia, que subirá 6 metros el nivel del mar, afectando a millones de personas en todo el mundo, o la alteración de la **circulación termohalina** con graves repercusiones climáticas. El principio de precaución, que debe presidir todo sistema de gestión de riesgos, señala que deberíamos actuar en estos casos de grave amenaza, aún si tuviéramos un elevado nivel de incertidumbre sobre sus causas. En nuestro caso ni siquiera tenemos la excusa del desconocimiento. Desde la publicación del cuarto informe del **IPCC** en Valencia, en Febrero del 2007, no existe ninguna duda ni sobre la existencia del calentamiento global, ni de su carácter antropogénico. Ambas cosas han sido demostradas con total rotundidad por este grupo de más de 2.500 científicos de 130 países diferentes.

II) La economía solar, basada en fuentes energéticas renovables, es la base del escenario **AIT** del **IPCC**. La existencia de este escenario es una buena noticia: nos dice que la lucha contra el cambio climático no es incompatible con el crecimiento económico. Al contrario. Las energías renovables (**EERR**) generan 5 veces mas empleo por unidad energética que las fuentes convencionales. Las **EERR** ya han generado 2.3 millones de empleos en todo el mundo y puede crear hasta 20 millones de empleos en el 2.030¹²⁸

Por consiguiente, precisamente en situación de crisis, donde necesitamos modelos de economía productiva frente a economía especulativa, donde necesitamos inversiones que generen empleo, inversiones estratégicas sobre productos que generan valor añadido, I+D+i, generación de tecnología propia, precisamente porque estamos en crisis, se hace más necesario que nunca invertir en el transito de la economía fósil, agotada, caduca y obsoleta, por el nuevo modelo dinámico de economía solar, generadora de empleo y riqueza.

¹²⁸ Según las previsiones del instituto Sindical del Trabajo, Ambiente y Salud (ISTAS) de CCOO.

4.9 Conclusión

La Unión Europea comenzó su proceso de integración con el mercado común del carbón. Curiosamente, ahora la lucha contra sus efectos la está consolidando. De hecho, hemos celebrado el cincuenta aniversario del Tratado de Roma que creó la Comunidad Económica Europea sobre la base del acuerdo sobre carbón y el acero de 1.950. Ahora, los decretos europeos para reducir las emisiones de CO₂ nos ponen a la vanguardia mundial de la lucha contra el calentamiento global.

Nuestro actual modelo energético es manifiestamente insostenible. España es particularmente frágil en este escenario, especialmente en tres ámbitos concretos:

- ▶ Medio Ambiente: España es el país más afectado de la UE por el cambio climático.
- ▶ Kyoto: Según la Agencia Europea del Medio Ambiente (**AEMA**) y el propio Ministerio de Medio Ambiente español, España ha sido el país de la Unión Europea que más ha incrementado sus emisiones de gases de efecto invernadero en el periodo 1990-1999, y es el que se encuentra a más distancia de los **objetivos de Kyoto**.
- ▶ Dependencia energética: La acusada dependencia energética exterior de nuestro país, del 80%, es muy superior a la media de los países de la UE, Este es un grave problema que constituye una deficiencia estructural, es fuente de elevados déficit comerciales y, sin duda, un factor latente de inestabilidad

En conclusión, España es el país más afectado de Europa por el cambio climático, y la crisis energética. A pesar de esto, no hemos adquirido todavía verdadera conciencia del problema. Según la Fundación Entorno, tan sólo el 23% de las empresas españolas manifiestan un compromiso real por el desarrollo sostenible. En cuanto a la población en general, si más del 90% de la población española manifiestan su disposición de instalar a nivel doméstico EERR si existieran verdaderas subvenciones para ello, son muy pocos los que estarían dispuestos a pagar más por una electricidad limpia proveniente de fuentes de **ER**.

Estamos en el inicio de una nueva era energética: la era postpetróleo. La era del petróleo debe de terminar aún si este no se agotara. Como comentó el jeque Yamani¹²⁹, *“La edad de piedra no terminó por la escasez de piedra y la era del petróleo también terminará, pero no será por escasez de petróleo”*. En cualquier caso, el agotamiento de los recursos y la subida del precio del petróleo va a precipitar aún con más fuerza la transición hacia la era postpetróleo.

En relación al cambio climático hemos pasado, como comenta Al Gore, de una época de discusiones a una época de consecuencias. Es el momento para que la sociedad reflexione en el contexto más amplio posible sobre energía y desarrollo sostenible. La sociedad en su conjunto debe decidir que tipo de escenario adopta para combatir el calentamiento global. En este sentido es de la máxima importancia explicar, y así lo hemos hecho, la relevancia de apoyar la **ESF** en relación al escenario **A1T** del **IPCC** de la **ONU**.

¹²⁹ Uno de los fundadores de la **OPEP**.

Por último hemos cerrado el tercer vértice de este triángulo explicando porque la **ESF** sostenible, limpia, renovable y distribuida, es ante todo una oportunidad histórica de desarrollo. España es rica en fuentes de energías renovables. Si las aprovecháramos podríamos pasar en 30-40 años de ser un país dependiente energéticamente, donde el 80% de la energía tiene que ser importada del exterior, a ser un país exportador de energía. Estamos asistiendo a una nueva revolución tecnológica, la revolución energética sostenible en donde podemos ser algo más que espectadores. España está en el momento adecuado y en el lugar oportuno. Las **EERR** nos pueden permitir diversificar nuestro modelo económico basado en turismo y ladrillo. La propia **UE** recomienda destinar parte de los fondos estructurales y de cohesión a las **EERR**, fondos que en el caso de España ascendieron a 10.000 millones de euros hasta 2.013. El escenario está montado. Ahora depende de nosotros, y de nuestra capacidad de organizarnos en torno a un objetivo común.

Capítulo 5

Mi cambio

Este capítulo esta dedicado a mi pueblo: Chiclana, que condujo el sol de mi infancia por sus pinares y playas, abriendo mi alma a su costa de horizontes inquietos, y arropándola con el calor entrañable de los amigos sinceros, el esplendor de los sueños imposibles y el recuerdo imborrable del sabor cotidiano de las cosas sencillas.

5.1 Introducción

Hablemos de sociología. Hasta ahora hemos planteado desde un punto de vista técnica del problema y de sus posibles soluciones. Tenemos que hablar ahora de la capacidad de una sociedad de tomar las decisiones correctas para su supervivencia. De hecho, en el estudio del calentamiento global, nos asalta frecuentemente una cuestión de calado: ¿es posible que una sociedad compleja con un alto nivel de organización pueda tomar decisiones catastróficas para sí misma? La respuesta es sí. Para comprender el alcance de la inconsciencia humana analizaremos en este capítulo el caso de la extinta civilización de la isla de Pascua, que autodenominaban así a su isla: **RAPA NUI**, “*el ombligo del mundo*”. Veremos que tenemos una lección que aprender de este jardín del edén conducido por sí mismo al ecocidio¹³⁰.

Empezaremos este capítulo esbozando las visiones optimistas y menos optimistas del futuro de la humanidad. Nos sumergiremos en la extinta civilización de **RAPA NUI** para extraer enseñanzas de su fracaso. Esto nos llevará a un análisis psicológico de la persistencia humana en los errores.

Este promete ser un contexto interesante para analizar cual puede ser nuestra contribución a la solución del problema. Supongo que a estas alturas te has hecho la siguiente pregunta: ¿qué puedo hacer yo, a título individual, para contribuir a solucionar el problema, o al menos, a no agravarlo aún más? Aquí encontrarás algunas ideas al respecto.

¹³⁰ Suicidio ecológico, o colapso de una civilización por el daño que ella mismo infringe a su medio ambiente.

5.2 Homo tecnologicus

El factor principal para pasar a un mundo sin combustibles fósiles es conseguir abaratar sustancialmente el precio de las energías renovables y muy especialmente el de la energía solar. Las energías renovables como la eólica y la solar están bajando sus precios muy rápidamente. La energía eólica le queda poco para ser competitiva a precios de mercado, mientras que la solar le faltan una o dos décadas. **A1T** es un escenario basado en una gran inversión en I+D+i en tecnologías limpias. Si el problema del calentamiento global ha sido causado por la tecnología ¿será capaz la tecnología de solucionarlo?

La ciencia y la tecnología son tan sólo herramientas, es decir, son moralmente neutras, o al menos deberían serlo. Es el hombre quien decide como utilizarlas. ¿Es capaz la ciencia y la tecnología de solucionar el problema del cambio climático? Hasta ahora hemos sido capaces de utilizarlas para solucionar grandes retos. Quizás sea buen momento para hacer un alto en este recodo del camino y enumerar una serie de logros del “*homo tecnologicus*”.

La civilización ha logrado gracias a la ciencia y la tecnología un progreso considerable y continuado. Durante la mayor parte de los 2 millones de años que llevamos en el planeta la esperanza de vida ha estado entre 20 y 30 años, En el siglo XX, la esperanza de vida se ha duplicado, llegando a los 67 años. La tasa de mortalidad infantil también ha bajado drásticamente: de un recién nacido de cada dos a uno de cada veinte. Cada vez disponemos de más y más baratos alimentos, gracias a la “revolución verde”¹³¹. En el 2.010, el porcentaje de personas hambrientas habrá bajado hasta el 12%. Los índices de prosperidad globales aumentan constantemente¹³². A nivel mundial hoy en día hay el doble de personas que en 1.960, no obstante, el bienestar físico por persona es tres veces mayor que entonces. Además, en promedio mundial, en los últimos 40 años la población mundial ha pasado a ser el triple de rica¹³³. La educación también ha avanzado notablemente. Por ejemplo, en el tercer mundo el analfabetismo ha descendido desde el 75% hasta menos del 20%.

El hombre ha conseguido superar en el siglo XX grandes retos que parecían hermosas utopías antes de consumarlas. Ejemplos como la caída del muro de Berlín o la misma unificación europea eran sueños inalcanzables durante la mayor parte del siglo XX. Una mención especial merece la superación del problema del agujero en la capa de ozono, pues requería un esfuerzo de adaptación económica y prohibiciones a escala planetaria que el mundo logro consensuar¹³⁴ tras el protocolo de Montreal y el Convenio de Viena. La ciencia y la tecnología nos han llevado a la Luna, ¿podrán resolver el problema del cambio climático¹³⁵?

¹³¹ Que nos permite alimentar a 6.687 millones de personas, 1.300 millones de vacas, 1.000 millones de ovejas, 900 millones de cerdos, 16.000 millones de pollos, etc.

¹³² Ver por ejemplo www.gapminder.org.

¹³³ Solo África queda separada del aumento global de la prosperidad, que por supuesto es mucho mas señalado en los países desarrollados. Por ejemplo, Estados Unidos es ahora 36 veces más rico que hace 200 años.

¹³⁴ No obstante, la solución de las emisiones de GEI es mucho más complicada que la del ozono, no sólo por las diferencias en su coste económico y dificultad tecnológica, sino también por sus implicaciones sobre el reparto del poder en el mundo.

¹³⁵ Al igual que la erradicación de la pobreza, el cambio climático no es sólo un problema tecnológico sino ante todo un problema político.

5.3 Homo a secas

Incluso los escenarios **IPCC** más pesimistas predicen que a finales del siglo XXI el promedio de riqueza de los habitantes de los países en desarrollo será como mínimo igual al que disfrutamos actualmente los habitantes de los países desarrollados. Pero este es en sí el problema. Es difícil que renuncien a tener las mismas comodidades que nosotros disfrutamos hoy en día¹³⁶. ¿Qué pasaría si todos los habitantes de la China¹³⁷ actual tuvieran un coche? Es evidente, que el modelo energético actual basado en combustibles fósiles no es sostenible ni compatible con el crecimiento económico para todos. Comparado con China, India o el Amazonas, nuestros problemas medioambientales parecen anecdóticos. Ciertamente, lo que pase con la tierra dependerá fundamentalmente de lo que pase en estas tres zonas del planeta. Conviene por tanto echar un vistazo a lo que está ocurriendo en Oriente.

5.3.1 El dragón asiático despierta

“Cuando China despierte temblará el mundo”. Esta frase, tan de actualidad, fue pronunciada con especial visión de futuro por el mismo Napoleón Bonaparte a comienzos del siglo XIX. No hay que olvidar que China inventó el papel, la pólvora, la imprenta, las cometas y la brújula, que fue la civilización más avanzada de Asia durante mucho tiempo. Es de hecho una de las civilizaciones más antiguas del mundo con continuidad hasta la actualidad. La falta de accidentes naturales favoreció la unificación de un vasto territorio. Ahora bien, en los últimos 25 años China ha pasado a ser la fábrica del mundo, y crece en la actualidad nada menos que a un ritmo del 10% de su **PIB** anual. El potencial de China e India es tal que, verdaderamente, el futuro de estos dos países es el futuro del mundo. Analicemos unos cuantos indicadores para entender el potencial actual de China para el mundo.

- ▶ **Demografía:** Entre la China (1.300 millones de habitantes) y la India (1.100 millones) suman el 40% de la población mundial.
- ▶ **Alimentación:** Si el consumo de grano fuera similar al de Europa, solo China necesitaría el 40% de la actual cosecha mundial de cereales. En cuanto a carne, China tiene la mitad de los cerdos del mundo.
- ▶ **Industria:** China es un gigante en expansión que consume la mitad del cemento del mundo y el 30% de su acero. China e India son responsables de los dos tercios del incremento de la demanda energética planetaria.

Para entender la importancia de la contribución de la India y China a la población mundial conviene examinar con detalle la evolución de estos dos países el último cuarto de siglo.

¹³⁶ Cada ciudadano de Europa consume 32 veces más recursos y produce 32 veces más residuos que cada habitante del tercer mundo.

¹³⁷ Aunque por concreción nos centramos en China, la India superará a China en número de habitantes sobre el año 2.050.

China ha copiado lo peor del modelo de desarrollo industrial de Occidente, aprovechando sus elevados recursos de mano de obra abundante, sumisa y barata. No obstante, todo este crecimiento se ha producido a expensas de su medio ambiente. Durante estos 25 años de fábrica del mundo, China ha dependido desde el punto de vista energético y sigue dependiendo del carbón. La principal fuente de energía tanto de China como de la India es el carbón. China ya superó a EEUU como máximo emisor de CO₂ de la Tierra en el 2009.

China es un verdadero desastre medioambiental. Diremos tan sólo como botón de muestra que desde hace una década:

- ▶ China tiene 16 de las 20 ciudades más contaminadas del planeta.
- ▶ 700 millones de chinos beben agua contaminada cada día, pues aunque China dispone del 8% del agua dulce del planeta debe abastecer con ella al 22% de la población mundial¹³⁸.
- ▶ China es el principal responsable mundial de las emisiones a la atmósfera de óxidos de azufre¹³⁹ y clorofluorocarbonos.
- ▶ Es ya el primer emisor de **GEI** del mundo. Hay que tener en cuenta que un estadounidense contamina de media unas seis veces más que un chino. El problema es que hay muchos más chinos que estadounidenses, y que tratándose de calentamiento global “el total es lo que cuenta”.
- ▶ China es uno de los dos principales importadores mundiales de madera tropical, lo que le convierte en un enorme impulsor de la deforestación.
- ▶ China es el mayor productor y consumidor mundial de carbón, segundo mayor productor y consumidor mundial de pesticidas.
- ▶ Entre 1.980 y 2.001 el número de coches se ha multiplicado por 130 y en los últimos 20 años el número de lavadoras se ha multiplicado por 34.000.
- ▶ La eficiencia energética de los procesos industriales de China es la mitad de la de los países del primer mundo (se desperdicia el doble de energía).
- ▶ Alrededor del 75% de los lagos chinos y casi todas las aguas litorales están contaminadas.
- ▶ Es uno de los países más deteriorados por la erosión (afectando el 19% de su territorio), perdiendo 5.000 millones de toneladas de suelo anuales. Esto es debido entre otras razones a que es uno de los países más deforestados. Por si fuera poco, la salinización afecta al 9% de su territorio y la desertificación a la cuarta parte de China.
- ▶ El 90% de sus pastizales se consideran hoy en día degradados.
- ▶ La quinta parte de las especies autóctonas¹⁴⁰ de China se consideran amenazadas de extinción.
- ▶ Tres cuartas partes del consumo energético de China depende del carbón. De aquí que tenga las peores lluvias ácidas del mundo sobre un tercio de su territorio¹⁴¹, etc.

¹³⁸ Existe un tremendo problema sanitario asociado al abastecimiento de agua. En los países en vías de desarrollo el 80% de todas las enfermedades son de origen hídrico. Una cuarta parte de los niños que nacen en estos países mueren antes de cumplir los 5 años, en su mayor parte por falta de agua potable.

¹³⁹ Emite nada más y nada menos que el 40% del total mundial.

¹⁴⁰ Entre ellas el afable oso panda.

¹⁴¹ La lluvia ácida hace su aparición más de la mitad de los días de lluvia de cada año en la cuarta parte de las ciudades chinas.

En lo medioambiental parece que nadie escarmienta en cabeza ajena, y es que, como Santa Bárbara, sólo nos acordamos del medioambiente cuando ya es demasiado tarde. China tiene un poderoso gobierno centralizado que es capaz de implantar políticas drásticas de corrección, como la famosa medida de planificación familiar obligatoria a un sólo hijo para controlar su demografía. El problema es que hasta ahora parece estar mucho más preocupada por el crecimiento económico que por la protección medioambiental o la sostenibilidad.

Por otro lado, también es cierto que la preocupación medioambiental empieza a aparecer en los gobiernos indio y chino, motivado entre otras razones por la fuerte degradación que han provocado en su entorno. De hecho, China es ya la primera potencia eólica del mundo e India la cuarta.

RÁNKING DE PAÍSES POR POTENCIA INSTALADA ACUMULADA (EN MW)

	2018
China	211.392
Estados Unidos	96.665
Alemania	59.311
India	35.039
España	23.484
Reino Unido	20.970
Francia	15.309
Canadá	12.805
Brasil	14.702
Italia	9.958
Resto del mundo	90.788

Fuente: GWEC

De hecho, si se mantiene el modelo de desarrollo actual, haría falta otro planeta tierra, solo para sostener el crecimiento de la India y China. Hay que pensar que hay estudios que sitúan ya en el 2.050 el año en el que China alcance el nivel de riqueza actual europeo. El planeta no puede resistir que multipliquemos la huella ecológica actual de los países desarrollados a los 9.000 millones de personas que habitarán el mundo para el 2.050. Simplemente, si no cambiamos nada, este hipotético escenario **BAU** (business as usual) conduce inevitablemente al **ecocidio**, es decir a la destrucción de la civilización humana por el agotamiento o destrucción por ella misma de los recursos naturales de la tierra.

La gran pregunta es si llegaremos a tiempo a resolver estos problemas antes de que sea demasiado tarde ¿Podemos confiar en la capacidad de respuesta colectiva de una determinada sociedad? Como veremos en el próximo apartado, la historia esta llena de casos de sociedades que no han sido capaces de reaccionar a tiempo frente a los cambios catastróficos que ellos mismos han infringido a su entorno.

5.3.2 RAPA NUI

El optimismo básico que emana por los poros del apartado 5.2 se basa en la creencia que una sociedad es un ente complejo que dispone de gobiernos que, en principio, deben de ser capaces de corregir los problemas derivados de su interacción con el medio. Si el cambio en el medio ambiente es gradual, estos gobiernos deben de ser capaces de mitigar su impacto tomando políticas correctoras. Asumimos que los gobiernos disponen de un mecanismo de toma de decisiones basado en el interés colectivo y que son capaces de observar la realidad que les rodea. Pero entonces, ¿es posible que el hombre pueda llegar a ser tan estúpido como para llegar a un ecocidio?

Curiosamente, la respuesta que la historia nos brinda es “sí; el hombre es capaz de esto y de mucho más”.

Tomemos por ejemplo a la antigua civilización de la Isla de Pascua, la historia de **Rapa Nui**; el “*ombligo del mundo*”, como ellos mismos se autodenominaban. Existen muchas civilizaciones cuyo colapso estuvo relacionado con la sobreexplotación del medio¹⁴². No obstante, el caso de Rapa Nui es particularmente interesante, pues presenta un caso nítido de una civilización que colapsó por ecocidio sin estar sometidos a la presión de civilizaciones externas o catástrofes naturales. Su extremo aislamiento nos permite asimismo tomar a Rapa Nui como un modelo planetario. Rapa Nui nos proporciona un caso claro de cómo una sociedad puede llegar a su propia autodestrucción por agotamiento irresponsable de sus propios recursos naturales.

Esta historia empieza sobre el año 1.200 d.C. a raíz de la colonización polinésica. Los polinesios fueron colonizando de oeste a este la mayor parte de las cerca de 800 islas del pacífico durante los 12.000 años previos. Dada su lejanía del foco primario de la expansión, la isla de Pascua fue una de las últimas en colonizarse. La isla era inicialmente extraordinariamente fértil: un jardín del paraíso. Existían numerosos bosques de palmeras, que los nativos usaban para levantar y transportar sus **Moais**, grandes estatuas que han hecho mundialmente famosa a la isla. Los polinesios impactaron fuertemente desde el principio en su medio, para empezar con la llegada de la rata polinesia traída por ellos que comía las semillas de las



Gráfica 5.1. Moais de la Isla de Pascua. Foto: Wikimedia Commons.

¹⁴² Mayas, anasazi, vikingos de Groenlandia, Ruanda, Haití, etc...

palmeras. La pérdida de las palmeras tiene un efecto amplificador. Por ejemplo, aleja a los pájaros que antes las usaban para sus nidos, y priva de materia prima para hacer cestos. Los Rapa Nui provocaron una gran erosión del suelo. Se extinguieron más de la mitad de las plantas autóctonas. La dieta principal paso a ser de pollos y ratas. A medida que la situación empeoraba cada uno de los doce clanes en los que se dividía la isla empezaron a erigir más y más moais para reafirmar su poder, llegando a talar hasta la última palmera en una espiral de competitividad y ciego fanatismo. Estos moais no les evitaron la guerra civil que acabó destruyéndolos a ellos y a la civilización que los erigió. Los Rapa Nui llegaron a degenerar hasta el canibalismo que puso fin a una civilización que se creía el ombligo del mundo.

Por tanto el aumento demográfico, la sobreexplotación de los recursos, la deforestación total de la isla y el anhelo de poder de sus dirigentes provocó el ecocidio de todos, que acabó en una gran violencia sobre el año 1.600 dC. De una población de unos 16.000 habitantes en su momento de esplendor, los holandeses que llegaron en el 1.722 encontraron tan sólo 2.000 habitantes en las islas. No podemos decir que les fuera muy bien a partir de entonces, pues debido al tráfico de esclavos (principalmente a Perú) y a las enfermedades la población casi se extermina quedando tan sólo 110 habitantes en las islas en el año 1.877. Hasta 1960 los restos de la población autóctona vivían confinados en reservas, pues la isla estaba alquilada a una compañía ovejera extranjera.

Curiosamente, los Rapa Nui supervivientes desarrollaron después del ecocidio un sistema de reparto pacífico de los recursos de un islote cercano: el “*tangata manu*” (culto del hombre pájaro). Cada clan escogía a su nadador. El primero que trajera de vuelta el primer huevo de la temporada ganaba el derecho para su clan de aprovechar los recursos del islote por un año. Parece que los isleños aprendieron bien la lección, aunque quizás demasiado tarde.

Una pequeña isla, la sociedad de **Rapa Nui**, representa la capacidad de la humanidad de llegar al ecocidio, por agotamiento de sus recursos naturales. Curiosamente otra pequeña isla, **Islandia**, representa, tal y como vimos en el capítulo anterior, la capacidad de la humanidad de lograr una economía del hidrógeno que será ejemplo de sostenibilidad.

5.3.3 Sociología de la ceguera

Las razones de porque las civilizaciones toman decisiones catastróficas para sí mismas ha motivado toda una ciencia que estudia las razones sociológicas de la estulticia humana. En principio una civilización compleja se distingue por la consecución de una forma centralizada de toma de decisiones ¿Cómo explicar que un sistema capaz de organizar un número importante de recursos materiales y humanos en torno a sí misma no sea capaz de tomar medidas correctoras que eviten su colapso? Siguiendo a Jared Diamond¹⁴³, podemos clasificar las razones en cuatro categorías:

- ▶ I) No prever el problema.
- ▶ II) No verlo una vez producido.
- ▶ III) No disponerse a resolverlo una vez percibido.
- ▶ IV) Fracaso en los intentos de resolución.

En el caso de Pascua se combinan los cuatro elementos anteriores siendo determinante según Diamond la ceguera basada en el anhelo de poder y prestigio entre los doce clanes entre los que se dividía la isla, que les llevó a una espiral de competitividad para ver quien erigía estatuas más y más grandes.

Rapa Nui es doblemente interesante no sólo como ejemplo de a donde pueden conducir los sistemas económicos no sostenibles, sino por las enseñanzas que podemos extraer aplicando el esquema de análisis de Diamond al caso del calentamiento global. De hecho, podemos citar elementos con clara conexión para cada uno de las cuatro categorías anteriores.

▶ I) “No prever el problema”

La acción del hombre sobre el medio ocurre muchas veces de forma sutil, imperceptible si no se poseen los conocimientos científicos adecuados o se han acumulado experiencias previas al respecto. Aún teniendo estas experiencias, muchos pueblos las olvidan al no poseer escritura o tenerla con carácter únicamente ceremonial. Este es el caso de los Mayas de Copán, quienes no supieron prever que la deforestación de sus laderas iba a provocar una erosión drástica de sus suelos que determinó finalmente el colapso de su civilización.

Asimismo, el hombre al empezar a usar petróleo no sabía cual sería el impacto del CO₂ generado sobre el medio ambiente. Es más, lo automóviles se interpretaron a comienzos del siglo XX como un avance medioambiental, pues libraban a las ciudades de los excrementos que dejaban los coches de caballos. No obstante, a estas alturas el desconocimiento no constituye ya una excusa válida.

▶ II) “No verlo una vez producido”

2.1 El problema del cambio climático ha sido un ejemplo paradigmático del fenómeno conocido como **normalidad progresiva**, es decir, de una tendencia de cambio lenta y gradual escondida entre las oscilaciones naturales del sistema. El

¹⁴³ Jared Diamond, “Colapso” (Editorial Debate ,2000).

carácter de “normalidad progresiva” del calentamiento global ha dificultado la percepción del problema de fondo: la influencia directa del hombre sobre el clima.

2.2 Por otro lado, otra razón profunda de nuestra ceguera es la falta de visión de conjunto o, dicho de otra forma, el problema de la **percepción dirigida**. Estamos acostumbrados a filtrar la realidad con el prisma de nuestros intereses y prejuicios, cuando no nos dejamos llevar por nuestra propia inercia histórica. El poder político, por ejemplo, está acostumbrado a pensar con un horizonte temporal dado por la duración de su legislatura. Los problemas medioambientales sin embargo requieren de pactos de estado que permitan abordarlos a largo plazo. Todavía no estamos acostumbrados a pensar a largo plazo, ni siquiera a pensar globalmente, lo cual es particularmente peligroso en un mundo globalizado. Por ejemplo, el concepto de huella ecológica¹⁴⁴ (**HE**) como paradigma de pensamiento sostenible y globalizado debe tener entrada en nuestra forma de percibir y evaluar los problemas. La **HE** mide el área ecológica productivamente sostenible que ocuparíamos con nuestro consumo y tecnologías actuales. Al compararla con la biocapacidad real del territorio nos da una idea si estamos viviendo por encima de nuestras posibilidades. Es interesante conocer que según el “Living Planet Report” del World Wildlife Fund (WWF) la huella ecológica mundial sobrepasó la biocapacidad del planeta sobre el año 1990. La **HE** de España es de 4,8 Ha/habitante, lo que significa que si toda la humanidad alcanzara nuestro nivel de consumo harían falta 2.5 planetas tierra para mantenerlo.

► **III “No disponerse a resolverlo una vez percibido”**

3.1 El fenómeno denominado “**conducta racional**”¹⁴⁵ caracterizado por la típica contestación individualista “*este no es mi problema*”. Lamentablemente, esta es de hecho una reacción común cuando se plantea el cambio de hábitos que necesitamos. El cambio climático es un problema global, un problema de todos; pero precisamente por eso parece que su responsabilidad se diluye entre los millones de personas afectadas. Por citar un ejemplo concreto, hay personas que se instalan en su casa 200 m² de suelo radiante 100% eléctrico, lo cual es tiene un gran impacto¹⁴⁶ de cara al medio ambiente. Este es un claro ejemplo de “conducta racional” insolidaria. Piensan que el estado ya se encargará de plantar los numerosos árboles necesarios para compensar el CO₂ emitido por su decisión. Este tipo de conductas es sencillamente no-sostenible. No podemos delegar en el gobierno nuestras propias responsabilidades. Necesitamos una verdadera conciencia social para ser capaces de salir del problema. En España, por nuestros problemas endémicos con la sequía, hemos conseguido desarrollar una cultura del ahorro del agua. Los españoles tienen una percepción clara de que cada gota cuenta. Falta crear ahora una cultura del ahorro energético que nos haga entender que la energía, como el agua, es por ahora un bien escaso.

3.2 La “**conducta irracional**”, es decir, un comportamiento perjudicial no solo para la mayoría, como en el caso anterior, sino para todos. Esta particularidad es típica de los humanos, quienes son capaces de aferrarse a sus creencias firmemente establecidas aunque sean visiblemente irracionales y provoquen consecuencias catastróficas para la comunidad. Ejemplos ya comentados son el fanatismo religioso

¹⁴⁴ Ver por ejemplo http://assets.panda.org/downloads/living_planet_report.pdf.

¹⁴⁵ Pues es una decisión conciente, en contraposición a la conducta irracional clásica.

¹⁴⁶ La electricidad en España es todavía una fuente de energía altamente contaminante, pues proviene en gran medida (56% de la producción eléctrica en el 2.000) de centrales térmicas de carbón.

de los Rapa Nui, aunque hoy en día también podríamos encontrar fácilmente ejemplos claros en la política internacional. China, por ejemplo, desdeñó históricamente la preocupación medioambiental, interpretándola como una frivolidad propia de los países capitalistas.

3.3 El “**dilema del prisionero**” es otro factor psicológico esencial para entender el impacto humano en el medio. Su lógica se puede expresar por la frase “si yo no talo ese último árbol, vendrá otro y lo hará por mí”. Esta lógica ha provocado sobreexplotación sobre todo en zonas con recursos poco controlados, como los de muchos países en desarrollo, o en general en el caso de las pesquerías marinas¹⁴⁷. La concienciación, la imposición de cuotas y la implantación de un sistema de vigilancia estricto son elementos esenciales en todo esquema de desarrollo sostenible.

Cuando los puntos anteriores se combinan entre sí el resultado es típicamente nefasto. Este es el caso de los pescadores pobres de los arrecifes tropicales coralinos que utilizan dinamita y cianuro para pescar, aunque esta práctica supone la destrucción inmediata del medio. Como anécdota recuerdo que en México enseñando historia de la física en la universidad, comenté a la clase que la antesala del conocimiento científico se resume en la expresión de humildad que encierra el lema socrático “*sólo se que no se nada*”. Se equivocó usted “doctorcito”, contestó un estudiante mexicano haciendo gala de sentido del humor y profundidad metafísica, aquí el lema es “*sólo se que no he senado*”. Efectivamente, el hambre no tiene ojos, ni conciencia medioambiental.

3.4 Por último, otro fenómeno esencial en la negativa a asumir la existencia misma del calentamiento global es la **negativa psicológica** a admitir problemas que nos puedan superar, o puedan poner en peligro nuestro bienestar. Como advertía Al Gore en su reciente película “*Una verdad incómoda*”¹⁴⁸, tenemos una tendencia innata a ignorar problemas que por su magnitud o complejidad puedan cuestionar nuestro estilo de vida¹⁴⁹. Como señala Upton Sinclair, “*es difícil hacer que un hombre comprenda algo cuando su salario depende de que no lo haga*”

► **IV** “*Fracaso en los intentos de resolución*”.

El problema del cambio climático en cuanto a amenaza global es el principal problema de la humanidad al comienzo del tercer milenio. Tenemos una tecnología muy poderosa para conseguir resolver el problema, pero es esta misma tecnología quien lo ha creado. Como hemos comentado en el artículo, la propia dinámica no-lineal, la posible existencia de puntos críticos ocultos, la lentitud de respuesta de la propia dinámica de asimilación del CO₂, la propia magnitud del problema, etc hacen que la solución del calentamiento global sea tecnológicamente difícil y económicamente costosa. El protocolo de **Kyoto** es un primer paso¹⁵⁰ mínimo hacia su resolución, pues producirá un escaso efecto en el calentamiento global: tan sólo una reducción de 0.15°C hacia el 2.100, lo que supone que llegaremos a la misma

¹⁴⁷ La mayoría de las pesquerías marinas más importantes del mundo se están agotando rápidamente por sobreexplotación.

¹⁴⁸ Recomendamos bajar el video en www.climatecrisis.net.

¹⁴⁹ El miedo de la población a la rotura de presas o a los accidentes nucleares disminuye paradójicamente en muchos casos con su cercanía a las presas o a las centrales nucleares.

¹⁵⁰ Como señala Jerry Mahinan de la Universidad de Princeton en *Science*, 19-Diciembre 1997, 278: 2048, el control del calentamiento global puede necesitar otros 30 Kyotos más en este siglo.

temperatura final pero tan sólo 6 años después. Aún así, todavía sigue cuestionado por Estados Unidos, responsable del 25% de las emisiones mundiales de CO₂, quien todavía no lo ha ratificado¹⁵¹.

¹⁵¹ Tampoco Australia, pues es el primer exportador mundial de carbón.

5.4 Mi pequeño granito de arena

Una vez leído el apartado anterior, parece claro que merece la pena predicar con el ejemplo y pensar cual puede ser nuestra contribución personal a la lucha contra el calentamiento global. La idea es intentar aplicar a nuestro entorno el concepto básico de sostenibilidad: reducir nuestras emisiones a la atmósfera de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y compensar las que sean inevitables. El objetivo es ser personas “*neutras en carbono*”, es decir, producir una emisión neta cero de GEI. Existen multitud de pequeñas medidas simples que podemos adoptar en nuestra casa, y que constituyen un autentico ejemplo de higiene en carbono.

Por ejemplo, citamos algunos consejos tomados de www.sustenta.org de iniciativas que puedes tomar para reducir tus emisiones.

- ▶ Cambiar las bombillas tradicionales por las lámparas compactas fluorescentes (CFL). Las CFL, consumen 60% menos electricidad que una bombilla tradicional, con lo que este simple cambio reducirá la emisión de 140 kilos de dióxido de carbono al año.
- ▶ Fijar el termostato a dos grados menos en invierno y dos grados más en verano. Ajustando la calefacción y el aire acondicionado se podrían ahorrar unos 900 kilos de dióxido de carbono al año.
- ▶ Usar menos agua caliente. Se puede usar menos agua caliente instalando una ducha-teléfono de baja presión y lavando la ropa con agua fría o tibia.
- ▶ Utilizar un colgador en vez de la secadora de ropa. Si se seca la ropa al aire libre la mitad del año, se reduce en 320 kilos la emisión de dióxido de carbono al año.
- ▶ Comprar productos de papel reciclado. La fabricación de papel reciclado consume entre 70% y 90% menos energía y evita que continúe la deforestación mundial.
- ▶ Comprar alimentos frescos. Producir comida congelada consume 10 veces más energía.
- ▶ Comprar alimentos orgánicos. Los cultivos orgánicos absorben y almacenan mucho más dióxido de carbono que los cultivos de las granjas "convencionales".
- ▶ Evitar comprar productos que vengan en envases pesados. Si se reduce en un 10% la basura personal se puede ahorrar 540 kilos de dióxido de carbono al año.
- ▶ Reciclar, se pueden ahorrar hasta 1000 kilos de residuos en un año reciclando la mitad de los residuos de una familia.
- ▶ Elegir un automóvil de menor consumo. Al comprar un automóvil nuevo puede ahorrar 1.360 kilos de dióxido de carbono al año si este rinde dos kilómetros por litro de gasolina más que el otro. Es preferible que compre un automóvil híbrido o con biocombustible.

- ▶ Usar menos el auto. Prefiera caminar, andar en bicicleta, compartir el automóvil y usar el transporte público. Reduciendo el uso del automóvil en 15 kilómetros semanales evita emitir 230 kilos de dióxido de carbono al año.
- ▶ Revisar semanalmente los neumáticos. Inflar correctamente los neumáticos mejora la tasa de consumo de combustible en más del 3%. Cada litro de gasolina ahorrado evita la emisión de tres kilos de dióxido de carbono.
- ▶ Plantar árboles. Una hectárea de árboles elimina, a lo largo de un año, la misma cantidad de dióxido de carbono que producen cuatro familias en ese mismo tiempo. Un solo árbol elimina una tonelada de dióxido de carbono a lo largo de su vida. La sombra de un árbol sobre una casa puede ahorrar hasta 30% en costos de refrigeración.
- ▶ Pedir a la compañía eléctrica que cambien a energía renovable (energía verde). Si dicen que no la disponen, preguntar por qué no disponen de ella y, en su caso, elegir otra compañía.

Son pequeños granitos de arena que unidos hacen una montaña. Lo más importante es el desarrollo de la cultura de la sostenibilidad al que mueven todos estos nuevos hábitos. Si hemos logrado el desarrollo de una cultura del ahorro del agua, es necesario desarrollar ahora de igual forma la cultura del ahorro y eficiencia energética. La energía, como el agua, es un bien escaso.

5.5 Conclusiones

Es innegable que la ciencia y la tecnología “funcionan” bien para lograr la prosperidad económica de la especie humana, como hemos visto en el apartado “una nota de optimismo”. Ahora bien, parece que en muchas ocasiones este progreso lo ha sido a costa del medio ambiente. Al menos, muchos de los problemas medioambientales son efectos sobrevenidos colaterales de la tecnología. Por ejemplo los gases fluorocarbonados, en principio “inertes”, fueron inicialmente una “revolución ecológica” al sustituir a los gases tóxicos que se empleaban previamente como refrigerantes. Otro claro ejemplo lo constituyen los automóviles que supusieron inicialmente un gran beneficio medioambiental, pues eran mucho más limpios para las ciudades que los carruajes de caballos previos¹⁵². Ahora bien, hoy en día somos plenamente conscientes del impacto sobre el medio ambiente de nuestro progreso económico y de la tecnología sobre la que descansa. La pregunta esencial que debemos pues plantearnos es: ¿es posible conciliar progreso económico y sostenibilidad?, o dicho de otro modo, ¿es posible alcanzar una solución de equilibrio entre progreso económico y cuidado del medio ambiente, como la del tipo de escenario **A1T**?

Este es sin duda el gran reto de nuestro tiempo. Para empezar debemos ser conscientes de la gravedad del problema. El calentamiento global es ya inevitable. Si quisiéramos limitar el aumento de temperatura tan sólo a 1.5°C deberíamos interrumpir totalmente las emisiones de CO₂ en 2.035, lo que supondría un colapso de la economía mundial tal y como la conocemos actualmente. Aún si conseguimos implementar el escenario **A1T**, tendremos un incremento de temperaturas de 2 a 2.5°C a mitad de siglo. Debemos poner por tanto a la ciencia a trabajar al servicio del medio ambiente e invertir fuertemente en **I+D+i** de tecnologías limpias. Hacerlo y fomentar las energías renovables sin duda conlleva un coste económico y debemos ser conscientes de ello. No obstante, los daños causados por el calentamiento global tienen ya en sí mismo un enorme impacto económico que pueden alcanzar al 1.5-2% del PIB mundial¹⁵³ cada año hasta mediados de siglo¹⁵⁴. Son los países pobres, los eufemísticamente llamados “países en desarrollo”, los que tienen más que perder, precisamente por tener menor capacidad de adaptación. Este coste representa en sí una cantidad ingente de dinero, del orden del gasto militar en todo el mundo¹⁵⁵ durante 50 años.

Las sociedades desarrolladas han aumentado considerablemente su conciencia medioambiental y social, pero quizás no lo suficiente. De hecho, todavía hay hoy en día 800 millones de personas en el mundo que pasan hambre y 1.200 millones de pobres extremos que subsisten con menos de 1\$ al día. La esencial, mínima¹⁵⁶ y urgente medida de donar al tercer mundo el 0.7% de PIB de los países desarrollados tan sólo la cumple hasta ahora Dinamarca, Noruega, Holanda y Suecia¹⁵⁷. Tenemos el deber moral de sumar España a esta lista de honor, aunque sólo sea por mera dignidad humana. El propio **IPCC** sugiere abiertamente que debemos cambiar nuestro estilo de vida y

¹⁵² Como saben los que hayan paseado por el centro de Sevilla.

¹⁵³ Según informe previo del IPCC de 1996.

¹⁵⁴ Informe Stern: www.hm-treasury.gov.uk/media/8AC/F7/Executive_Summary.pdf

¹⁵⁵ Por ejemplo, este fue de 700.000 millones de dólares en 1996, el 2.4% del PIB mundial de ese año.

¹⁵⁶ Para conocer enfoques más integrales recomendamos la web de la campaña del milenio de la ONU en www.un.org/spanish/millenniumgoals/

¹⁵⁷ A pesar de que la miseria africana nos llama a la puerta, golpeando en cayucos los telediarios de los países europeos.

apartarnos del consumismo compulsivo que caracteriza por ahora a nuestra sociedad desarrollada. Bicicletas, transportes colectivos, energías renovables, ahorro y eficiencia energética deben entrar a formar parte de nuestra vida cotidiana. Deberíamos estimar¹⁵⁸ primero las toneladas de CO₂ anuales que generamos cada uno con nuestra forma de vida, para ser conscientes de nuestro impacto individual sobre el calentamiento global. En España cada habitante emite en promedio unas **10 toneladas** anuales de CO₂¹⁵⁹. Lo cual no parece indicar que tengamos precisamente unos buenos hábitos energéticos. Posteriormente, deberíamos plantearnos el objetivo a medio plazo de ser neutros en carbono¹⁶⁰, es decir, reducir nuestro despilfarro energético y aumentar la proporción de consumo de energías que procedan de fuentes renovables.

Como reza un conocido eslogan, “*el todo es lo que cuenta*”. Normalmente decimos que la única comida que no engorda es la que se deja uno en el plato. Análogamente, se dice que la energía más limpia es la que no se consume. Es difícil minusvalorar la importancia del ahorro y eficiencia energética. Si se sustituyeran en España todas las bombillas incandescentes por la de bajo consumo, la energía ahorrada sería equivalente a la que produce anualmente una central nuclear media. Para ser neutros en carbono podemos dedicarnos a compensar nuestras emisiones plantando árboles. Dado que un árbol promedio depura alrededor de 40 kilos de CO₂ al año, para compensar nuestras emisiones promedio debemos plantar **250 árboles**. Otra opción es invertir en **EERR**. Ellas pueden jugar un papel importante para ayudarnos a reducir emisiones netas a nivel doméstico. Por ejemplo, cada kWh generado por un panel fotovoltaico evita la emisión aproximada de un kilo y medio de CO₂. Una vivienda con 5 kW de potencia instalada de paneles fotovoltaicos puede ahorrar la emisión de 5 tn de CO₂ anuales. En el caso de la energía solar térmica, una vivienda unifamiliar con dos metros cuadrados de colectores solares puede evitar que se viertan anualmente a la atmósfera 1,5 toneladas de CO₂. Cada m² de colectores solares instalados permite ahorrar al año un equivalente energético a 55 kg de gas propano, 66 litros de gasolina, o 215 kg de leña.

Por último, no debemos olvidar asimismo nuestra capacidad de influencia como consumidores sobre las grandes compañías de las que depende parte del impacto medioambiental. Estas a su vez pueden ejercer una enorme presión sobre sus proveedores. Por ejemplo, existe un auténtico movimiento a nivel mundial de certificación forestal. Los consumidores pueden exigir al comprar productos de madera que lleven el sello del **FSC**¹⁶¹, organismo internacional que certifica que proceden de un bosque gestionado de forma responsable. Asimismo existen otros estándares internacionales similares, como el **LEED**¹⁶² (estándar de construcción verde) o el **MSC**¹⁶³ (institución que emite un sello de pesca sostenible).

En cualquier caso debemos ser conscientes de que debemos pensar globalmente, pero actuar localmente. Debemos empezar por cambiar nuestros hábitos energéticos en nuestra vida cotidiana. Concienciar a la sociedad de ello es el objetivo de la asociación **SUSTENTA**, asociación ambientalista que tiene por objeto el fomento de la cultura de la

¹⁵⁸ Para ello ver por ejemplo la página www.geasolar.com/porque1.html.

¹⁵⁹ 420 millones de toneladas de CO₂ al año.

¹⁶⁰ El sello de “carbon free” se aplica a procesos que han compensado su emisión de CO₂ a la atmósfera.

¹⁶¹ Forest Stewardship Council.

¹⁶² Leadership in Energy and Environmental Design.

¹⁶³ Marine Stewardship Council.

sostenibilidad. Un conjunto de recetas prácticas de cómo reducir nuestras emisiones puede encontrarse en su página www.sustenta.org.

Epílogo

Debemos ser el cambio que queremos ver en el mundo.

Gandhi.

Si algo caracteriza a nuestra era es la asombrosa rapidez de los cambios y de las soluciones que adoptamos frente a ellos. Las **EERR** no son una excepción. Ya no son unas energías alternativas, como antes se consideraban, sino simplemente, la única opción a largo plazo. El cambio de modelo es imperativo: sólo queda por discutir las formas y los plazos en que lo haremos. Ya no especulamos con el cambio climático, ahora queda comprobado científicamente su existencia y la de las causas antropogénicas del mismo. Hoy somos capaces de predecir como será el clima en promedio durante los próximos 50 años. Este es en verdad un verdadero hito histórico para la humanidad. La ciencia es una auténtica bola de cristal que nos avisa de las consecuencias de nuestras acciones, a la vez que nos permite multiplicar el impacto de estas de forma exponencial. Todo el problema consiste en esencia en el compromiso entre el poder y la razón.

El hombre hasta la fecha no ha dejado de utilizar ningún arma que haya podido inventar, como bien saben los japoneses de Hiroshima y Nagasaki. Desde el garrote, la lanza y el arco y las flechas hasta la bomba atómica el desarrollo armamentístico ha liderado el avance tecnológico de la humanidad. Cuando comprendió que la primera aplicación práctica de su famosa y bella ecuación $E=mc^2$ iba a ser la bomba atómica **Einstein** dijo que “*ojala en vez de físico hubiera sido fontanero*”. Muchos científicos cuando crean sus teorías piensan en la belleza del trocito de naturaleza que acaba de ser descubierta. El poder militar piensa seguramente en cosas más prácticas que hacer con ellas. El desarrollo tecnológico militar de la humanidad nos da un buen ejemplo de un sistema no sostenible. Según el gran divulgador de la ciencia **Carl Sagan**, estamos en el momento de “adolescencia” de la humanidad. Hasta ahora hemos sido chiquillos peleando por nuestros recursos naturales. Ahora bien, el potencial destructivo de nuestra tecnología, tanto militar como energética, ha crecido tanto que el sistema se ha vuelto inestable. Haciendo un símil, somos como un niño jugando con una pistola. Su capacidad de hacer daño excede con mucho su consciencia del peligro; y sabemos que se acabará disparando. Nos encontramos según **Sagan** en un momento crítico de nuestra historia colectiva. Solo existen dos opciones. La primera es no cambiar nada, seguir con nuestro modelo y esperar a la gran crisis del 2.050, donde el sistema fósil económico-energético-militar simplemente se agota. La segunda opción es madurar, superar según **Sagan** la adolescencia de la humanidad y conseguir que esta adopte un sistema global de resolución de problemas basado en la no-violencia. Para ello hay que volcarse con el único esquema sostenible posible. Un mundo basado en la sostenibilidad con sus tres vertientes: sostenibilidad energética, mediante la conversión a un modelo energético solar, sostenibilidad social y económica: mediante la adopción de un sistema democrático mundial que garantice el comercio justo, la erradicación de la pobreza y que

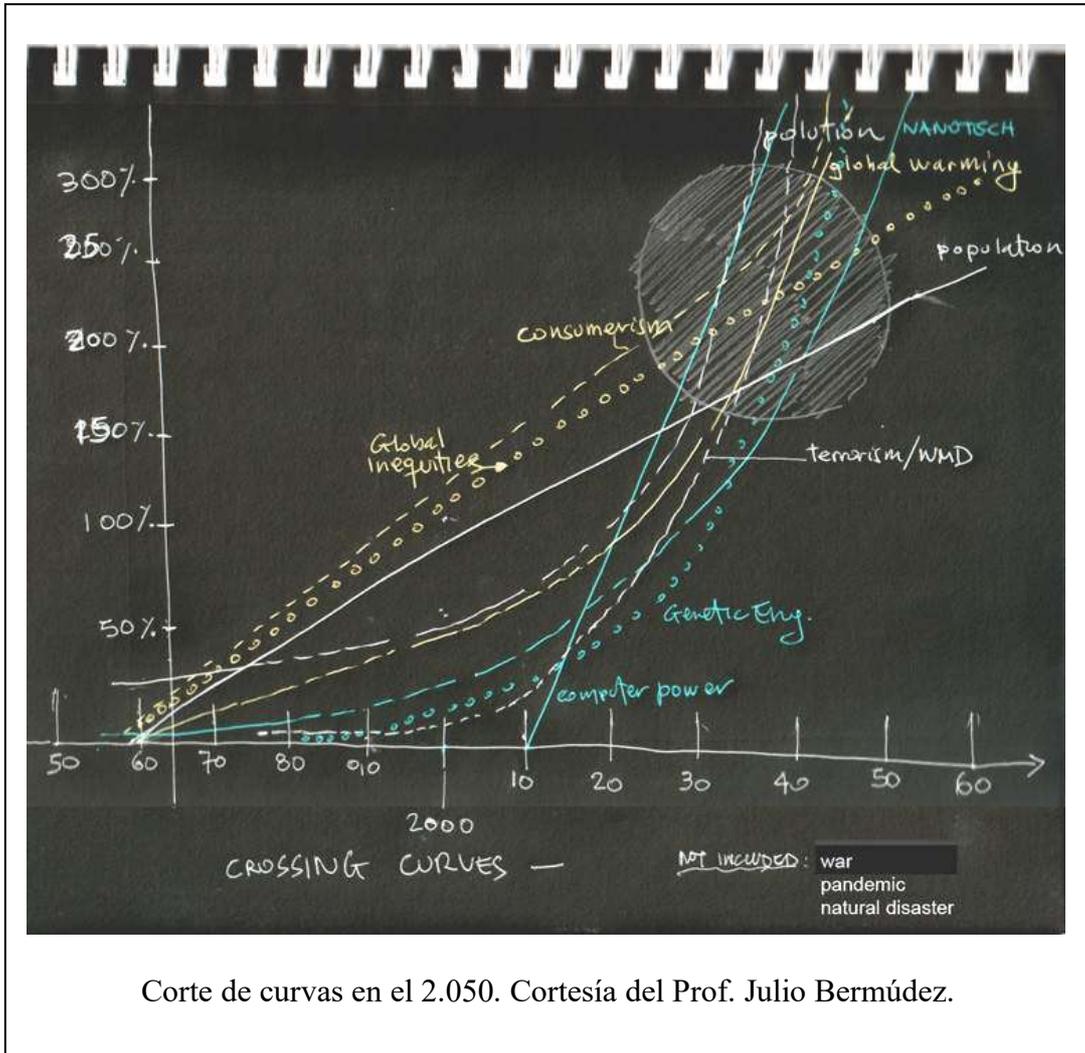
permita garantizar el establecimiento de derechos humanos y medioambientales de la comunidad planetaria. Se trata ahora de construir un futuro posible, es decir, de elegir.

No tenemos todo el tiempo para ello. Si para el 2.050 no hemos sido capaces de construir este escenario sostenible, estaremos avocados a una guerra por los recursos que será difícilmente evitable en la lógica del sistema. No se trata de sustituir unos recursos energéticos por otros similares sino de entender que el actual modelo centralizado actual es insostenible. El actual sistema de imposición de decisiones por la fuerza, de creación de barreras, no puede mantenerse indefinidamente sin manifestar su fragilidad ante el terrorismo internacional o la presión de la emigración desde el tercer mundo al que si llega una información globalizada. La sostenibilidad, por tanto, no es sólo un compromiso ético con las generaciones futuras sino la única forma de evitar el colapso del sistema. La humanidad debe madurar: debe superar su estadio de adolescencia imperialista basada en esquemas de concentración. Tal es la misión de nuestra generación.

Por otro lado, nuestro papel como europeos es doblemente importante. Por una parte, es Europa quien está liderando este proceso a nivel mundial que pretende fortalecer y dar contenido a la **ONU** en el sentido antes descrito. Por otro lado es Europa quien lidera la I+D+i en **EERR** y quien hace reducir sus precios mediante sus esquemas de tarifa bonificada. Este es el verdadero papel de Europa: hacer cuanto antes a las **EERR** competitivas frente a las energías convencionales. Sólo así podremos convencer a China y a la India de recorrer con nosotros la hoja de ruta del **AIT** que nos permita decarbonizar nuestra economía. Definitivamente, el mundo necesita más Europa. Los europeos tenemos hoy en mi opinión la misión histórica de construir una Europa que hable, que hable con una sola voz ante el mundo, que hable en nombre del planeta.

Tanto el problema (la insostenibilidad del actual modelo energético), como la solución (la economía solar), están definidos. Este libro ha pretendido esbozar brevemente algunas de sus líneas principales. Es hora de empezar a andar el camino. De cambiar a un estilo de vida “**carbon free**”, ecoresponsable, más amigable con el medio ambiente. Tenemos un reto como individuos y un reto como sociedad. De nuestra convicción y nuestra fortaleza dependerá el que vayamos por delante señalando su horizonte, o quedemos relegados una vez más al pelotón de cola. Esta vez siento a un país decidido a afrontar por él mismo su destino. Es nuestro momento.

Recordemos a nuestro amable visitante extraterrestre Nonel-Nhoj del capítulo uno. Imaginemos que es en el 2.050 cuando se aproxima en su nave al planeta tierra, admirando la hermosura de su naturaleza. Imaginemos ahora que dirige sus sensores a la sede de la **ONU**. Allí se encuentra una bella ceremonia: la aprobación de la constitución de los Estados Unidos de la Tierra. Todos los estados de la tierra federados bajo un mismo esquema de implantación del estado de derecho, de participación democrática, de garantía de los derechos individuales, de garantía de los derechos ambientales del planeta, con separación de poderes para garantizar el control de cada uno de ellos, un sistema donde los ejércitos ya no son necesarios, pues han quedado convertidos en un sistema policial para asegurar nuestros derechos constitucionales. Un bello sueño digno de John Lennon. Si el optimismo es lo que hace que las cosas sucedan, la imaginación es lo que nutre al optimismo proyectando nuestros sueños en nuestras esperanzas. La imaginación nos sacó de las cavernas y nos hizo inventarnos a nosotros mismos. Imaginemos juntos un futuro sostenible.



Corte de curvas en el 2.050. Cortesía del Prof. Julio Bermúdez.

Glosario de términos

- ▶ **AAE:** Agencia Andaluza de la Energía.
- ▶ **ACS:** Agua Caliente Sanitaria.
- ▶ **AGROCLIMATOLOGÍA** Ciencia que relaciona el rendimiento de los cultivos de secano con las precipitaciones caídas en una determinada región.
- ▶ **ANTROPÓGENO** Resultante de la actividad del ser humano o producido por éste.
- ▶ **AR4** Cuarto informe del IPCC (2007).
- ▶ **ASIF:** Asociación de la Industria Fotovoltaica.
- ▶ **ASIT:** Asociación de la Industria Térmica.
- ▶ **BIOMA** Uno de los principales elementos regionales de la biosfera, claramente diferenciado, generalmente constituido por varios ecosistemas (por ejemplo: bosques, ríos, estanques, o pantanos) de una misma región con condiciones climáticas similares.
- ▶ **BIOSFERA** Parte del sistema de la Tierra que abarca todos los ecosistemas y organismos vivos de la atmósfera, de la tierra firme (biosfera terrestre) o de los océanos (biosfera marina), incluida la materia orgánica muerta resultante de ellos, en particular los restos, la materia orgánica del suelo y los detritus oceánicos.
- ▶ **CAMBIO CLIMÁTICO** Para el IPCC, el término “cambio climático” denota un cambio en el estado del clima identificable (por ejemplo, mediante análisis estadísticos) a raíz de un cambio en el valor medio y/o en la variabilidad de sus propiedades, y que persiste durante un periodo prolongado, generalmente cifrado en decenios o en periodos más largos.
- ▶ **CLIMA** El clima se suele definir en sentido restringido como el estado promedio del tiempo y, más rigurosamente, como una descripción estadística del tiempo atmosférico en términos de los valores medios y de la variabilidad de las magnitudes correspondientes durante periodos que pueden abarcar desde meses hasta millares o millones de años. El periodo de promediación habitual es de 30 años, según la definición de la Organización Meteorológica Mundial. Las magnitudes correspondientes son casi siempre variables de superficie (por ejemplo, temperatura,

precipitación o viento). En un sentido más amplio, el clima es el estado del sistema climático en términos tanto clásicos como estadísticos.

- ▶ **CICLO DEL CARBONO** Término utilizado para describir el flujo del carbono (en diversas formas, por ejemplo, como CO₂) en la atmósfera, los océanos, la biosfera terrestre y la litosfera.
- ▶ **CO₂** Dióxido de carbono. Principal gas de efecto invernadero.
- ▶ **CRED** Center for Research on Epidemiology of Disasters.
- ▶ **CTE**: Código Técnico de la Edificación.
- ▶ **DENDROCLIMATOLOGÍA** Ciencia que estudia los anillos de crecimiento de los árboles y reconstruye las precipitaciones mediante su grosor.
- ▶ **DILATACIÓN TÉRMICA** En relación con el aumento de nivel del mar, este término denota el aumento de volumen (y la disminución de densidad) que tiene lugar cuando el agua se calienta. El calentamiento del océano conlleva una dilatación de su volumen y, por consiguiente, un aumento de nivel del mar.
- ▶ **ECOSISTEMA** Sistema constituido por organismos vivos que interactúan entre sí y con su entorno físico. Los límites atribuibles a un ecosistema son en cierta medida arbitrarios, y dependen del aspecto considerado o estudiado. Así, un ecosistema puede abarcar desde escalas espaciales muy pequeñas hasta la totalidad del planeta Tierra.
- ▶ **EFFECTO INVERNADERO** Fenómeno físico por el cual los gases de efecto invernadero (GEI) calientan la atmósfera al absorber eficazmente la radiación infrarroja emitida por la superficie de la Tierra, por la propia atmósfera debido a esos mismos gases, y por las nubes.
- ▶ **EMISIONES ANTROPÓGENAS** Emisiones de gases de efecto invernadero, de precursores de gases de efecto invernadero y de aerosoles aparejadas a actividades humanas, como la combustión de combustibles de origen fósil, la deforestación, los cambios de uso de la tierra, la ganadería, la fertilización, etc.
- ▶ **ENFERMEDAD INFECCIOSA** Cualquier enfermedad causada por agentes microbianos que pueda transmitirse entre personas, o de animales a personas.
- ▶ **EPICA** “European Project for Ice Core in the Antarctic”. Proyecto europeo para averiguar las condiciones climáticas del pasado basándose en el análisis de burbujas de aire atrapadas en núcleos de hielo en la Antártida.
- ▶ **ESCENARIOS DE EMISIONES** Los escenarios de emisiones (IEEE, 2000) que se utilizan como base en las proyecciones del IPCC se agrupan en cuatro familias (A1, A2, B1, B2) y dependen de la respuesta que el ser humano tome ante el cambio climático. Los escenarios A priman la economía y los escenarios B son más ambientales. El “subíndice 1” etiqueta escenarios mundiales, el “subíndice 2” regionales. Las tres subcategorías de los escenarios A se definen: A1F1: Escenario

intensivo en combustibles fósiles, como el actual. A1T: Escenario que refleja una transición hacia combustibles no fósiles. A1B: Escenario equilibrado entre combustibles fósiles y no fósiles. El escenario más bajo en emisiones B1 prevé un aumento de temperatura de unos 1,8°C (por encima de los niveles de 1980-1999), mientras que el escenario más alto en emisiones A1F1 conduce a aumentos de temperatura de 4°C a 6,4°C.

- ▶ **ESCORRENTÍA** Parte de la precipitación que no se evapora ni es transpirada, pero que fluye sobre la superficie del terreno y retorna a las masas de agua.
- ▶ **EST** Energía Solar Térmica.
- ▶ **ESF** Energía Solar Fotovoltaica.
- ▶ **EERR** Energías renovables.
- ▶ **FENOLOGÍA** Estudio de los fenómenos naturales que se repiten periódicamente en los sistemas biológicos (por ejemplo, las etapas de desarrollo o la migración) y de su relación con el clima y con los cambios estacionales.
- ▶ **FME: FENÓMENO METEOROLÓGICO EXTREMO** Fenómeno meteorológico raro en un lugar y época del año determinados. Un fenómeno meteorológico se considera raro cuando éste arroja un valor igual o superior a la de los percentiles 10 ó 90 de la función de densidad de probabilidad observada.
- ▶ **FITOClima** Estado físico de la atmósfera cerca de la superficie terrestre en una zona limitada y en relación con los organismos vivos.
- ▶ **FORZAMIENTO RADIATIVO** Cambio de la irradiancia neta (la ascendente menos la descendente), expresado en vatios por metro cuadrado (W/m²), en la tropopausa por efecto del cambio de un originante externo del sistema climático (por ejemplo, un cambio de la concentración de dióxido de carbono, o de la energía emitida por el sol).
- ▶ **GEI** Gas de Efecto Invernadero. Componente gaseoso de la atmósfera, natural o antropógeno, que absorbe y emite radiación en determinadas longitudes de onda del espectro de radiación infrarroja térmica emitida por la superficie de la Tierra, por la propia atmósfera y por las nubes. Esta propiedad da lugar al efecto invernadero.
- ▶ **Gt** Gigatonelada, es decir, mil millones de toneladas.
- ▶ **HUERTO SOLAR:** Agrupación de plantas de ESF de conexión a red de distintos propietarios instaladas sobre un terreno y gestionadas por una misma empresa.
- ▶ **IDAE:** Instituto para la Diversificación y el Ahorro Energético. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.
- ▶ **IMPACTO DE MERCADO** Impacto que puede cuantificarse en términos monetarios y que afecta directamente al Producto Interior Bruto (PIB); por ejemplo, las variaciones de precio de los insumos y/o bienes agrícolas.

- ▶ **IMPACTOS NO DE MERCADO** Impactos que afectan a los ecosistemas o al bienestar humano pero que no son fáciles de expresar en términos monetarios; por ejemplo, un mayor riesgo de muerte prematura o un aumento del número de personas amenazadas de hambre.
- ▶ **INTRUSIÓN DE AGUA SALADA** Desplazamiento del agua dulce superficial o subterránea causado por el avance del agua salada, que tiene mayor densidad. Suele acaecer en áreas costeras y estuarios, debido a una influencia terrestre decreciente (por ejemplo, una disminución de la escorrentía y de la recarga de agua subterránea aparejada, a una extracción excesiva del agua de los acuíferos), o a una influencia marina creciente (por ejemplo, un aumento relativo de nivel del mar).
- ▶ **ISDR** “International Strategy for Disaster Reduction”. Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres de la ONU.
- ▶ **IPCC** Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático de Naciones Unidas.
- ▶ **KWh**. Kilowatio hora.
- ▶ **LST** “Land Surface Temperature”. Temperatura de tierra en superficie.
- ▶ **MODELO CLIMÁTICO** Representación numérica del sistema climático basada en las propiedades físicas, químicas y biológicas de sus componentes, en sus interacciones y en sus procesos de retroefecto, y que recoge todas o algunas de sus propiedades conocidas. Los modelos de circulación general acoplados atmósfera/océano/hielo marino (MCGAAO) proporcionan una de las más completas representaciones del sistema climático actualmente disponibles. Los modelos climáticos se utilizan como herramienta de investigación para estudiar y simular el clima y para fines operacionales, en particular predicciones climáticas mensuales, estacionales e interanuales.
- ▶ **MCG** Modelos de Circulación General Atmósfera- Océano.
- ▶ **MCR** Modelos Climáticos Regionales.
- ▶ **MORTALIDAD** Tasa de casos de defunción referida a una población; se calcula teniendo presentes las tasas de defunción específicas por edades y permite, por consiguiente, cifrar la esperanza de vida y la abundancia de muertes prematuras.
- ▶ **NOAA** National Oceanic and Atmospheric Administration. Departamento de Comercio de EEUU.
- ▶ **PERMAFROST** Terreno (suelo o roca, junto con el hielo y la materia orgánica que contienen) que permanece a un máximo de 0°C durante al menos dos años consecutivos.
- ▶ **PPP** Partes por millón. Es una medida de la concentración de un gas en la atmósfera. 1 ppm corresponde a una molécula de un GEI por cada millón de moléculas de aire seco.

- ▶ **PRUDENCE** Proyecto europeo del quinto Programa Marco, para la predicción del cambio climático en la UE.
- ▶ **PROMES** Un tipo particular de modelo climático regional que, mediante simulaciones en el ordenador, permite realizar proyecciones de cambio climático.
- ▶ **PROTOCOLO DE KIOTO** El Protocolo de Kioto de la Convención Marco sobre el Cambio Climático (CMCC) de las Naciones Unidas fue adoptado en el tercer periodo de sesiones de la Conferencia de las Partes (COP) en la CMCC, que se celebró en 1997 en Kioto. Contiene compromisos jurídicamente vinculantes, además de los señalados en la CMCC. Los países del Anexo B del Protocolo (la mayoría de los países de la OCDE y de los países de economía en transición) acordaron reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero antropógenos (dióxido de carbono, metano, óxido nitroso, hidrofluorocarbonos, perfluorocarbonos y hexafluoruro de azufre) en un 5% como mínimo por debajo de los niveles de 1990 durante el periodo de compromiso de 2008 a 2012. El Protocolo de Kioto entró en vigor el 16 de febrero de 2005.
- ▶ **PROYECCIÓN CLIMÁTICA** Proyección de la respuesta del sistema climático a diversos escenarios de emisiones o de concentraciones de gases y aerosoles de efecto invernadero, o a escenarios de forzamiento radiativo, frecuentemente basada en simulaciones mediante modelos climáticos. La diferencia entre proyecciones climáticas y predicciones climáticas responde a la circunstancia de que las proyecciones climáticas dependen del escenario de emisiones/concentraciones/forzamiento radiativo utilizado, basado en supuestos relativos, por ejemplo, a un devenir socioeconómico y tecnológico que puede o no materializarse, y que está sujeto, por consiguiente, a un grado de incertidumbre considerable.
- ▶ **OAN** Oscilación del Atlántico Norte. Es un fenómeno climático oceánico-atmosférico del Atlántico Norte análogo al fenómeno del niño en el océano Pacífico.
- ▶ **ONU** Organización de las Naciones Unidas.
- ▶ **OPEP**: Organización de países exportadores de petróleo.
- ▶ **OSE** Observatorio de la Sostenibilidad de España.
- ▶ **PNACC** Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático.
- ▶ **SEQUÍA** En términos generales, la sequía es una “ausencia prolongada o insuficiencia acentuada de precipitación”, o bien una “insuficiencia que origina escasez de agua para alguna actividad o grupo de personas”, o también “un periodo de condiciones meteorológicas anormalmente secas suficientemente prolongado para que la ausencia de precipitación ocasione un importante desequilibrio hidrológico” (Heim, 2002).
- ▶ **SISTEMA HUMANO** Sistema en el cual las organizaciones humanas desempeñan un papel de primer orden. Frecuentemente, aunque no siempre, es sinónimo de sociedad, o de sistema social; por ejemplo, los sistemas agrícolas, los sistemas políticos, los sistemas tecnológicos: todos ellos son sistemas humanos.

- ▶ **SRES** En 1990, 1992 y 1996 el IPCC escribió los Informes Especiales sobre Escenarios de emisiones (Special Reports on Emission Scenarios (SRES)), que contienen proyecciones sobre el cambio climático. Por ejemplo, uno de ellos es el SRES A2, explicado en el capítulo 1.

- ▶ **SST** “Sea Surface Temperature”. Temperatura del nivel del mar.

- ▶ **TAR** “Third Assesment Report”. Tercer informe del IPCC (2001).

- ▶ **TEP** Tonelada Equivalente de Petróleo.

- ▶ **UE** Unión Europea.

- ▶ **VECTOR** En el contexto de la sanidad, se denomina vector a un organismo hematófago (por ejemplo, un insecto) que transmite un organismo patógeno de un portador a otro.

- ▶ **VECTOR** En el contexto energético, se denomina vector a aquellas sustancias o dispositivos que almacenan energía, de tal manera que ésta pueda liberarse posteriormente de forma controlada.

- ▶ **VULNERABILIDAD** Grado de susceptibilidad o de incapacidad de un sistema para afrontar los efectos adversos del cambio climático y, en particular, la variabilidad del clima y los fenómenos extremos. La vulnerabilidad dependerá del carácter, magnitud y rapidez del cambio climático a que esté expuesto un sistema, y de su sensibilidad y capacidad de adaptación.

- ▶ **WWF**: World Wildlife Fund.

Páginas Web recomendadas

- ➔ www.appa.es: Asociación de productores de energías renovables.
- ➔ www.asif.org Asociación de la Industria Fotovoltaica.
- ➔ www2.epia.org Asociación Europea de la Industria Fotovoltaica (**EPIA**).
- ➔ www.ewea.org : Asociación Europea de la Energía Eólica (**EWEA**).
- ➔ www.footprintnetwork.org Global Footprint Network.
- ➔ www.greenpeace.org/espana/ Greenpeace España.
- ➔ www.idae.es: Instituto para la Diversificación y el Ahorro Energético (IDAE).
- ➔ www.iea.org: Agencia internacional de la Energía.
- ➔ www.grida.no/publications/other/ipcc_tar/ IPCC. Tercer Informe (TAR)
- ➔ <http://re.jrc.ec.europa.eu/pygis/> Photovoltaic Geographical Information System (**PVGIS**). JRC. Comisión Europea.
- ➔ www.sustenta.org. Asociación ambientalista para el fomento de la cultura de la sostenibilidad.
- ➔ www.hm-treasury.gov.uk/independent_reviews/stern_review_economics_climate_change/stern_review_report.cfm Informe Stern.
- ➔ www.theclimateprojectspain.org/ The Climate Project Spain. Fundación de Al Gore.