



CENTRO SUPERIOR DE ESTUDIOS DE LA DEFENSA NACIONAL

**DOCUMENTOS
DE SEGURIDAD Y DEFENSA**

26



**CAMBIO CLIMÁTICO
Y SU REPERCUSIÓN EN LA ECONOMÍA,
LA SEGURIDAD Y LA DEFENSA**



**MINISTERIO
DE DEFENSA**

CENTRO SUPERIOR DE ESTUDIOS DE LA DEFENSA NACIONAL

*CAMBIO CLIMÁTICO
Y SU REPERCUSIÓN EN LA ECONOMÍA,
LA SEGURIDAD Y LA DEFENSA*

Febrero de 2009



MINISTERIO DE DEFENSA

CATÁLOGO GENERAL DE PUBLICACIONES OFICIALES

<http://www.060.es>

Edita:



© Autores y editor 2009

NIPO: 076-09-069-0 (edición en papel)

ISBN: 978-84-9781-494-2

Depósito Legal: M-21696-2009

Imprime: Imprenta Ministerio de Defensa

Tirada: 1.600 ejemplares

Fecha de edición: abril 2009

NIPO: 076-09-070-3 (edición en línea)



Las opiniones emitidas en esta publicación son de exclusiva responsabilidad de los autores.

Los derechos de explotación de esta obra están amparados por la Ley de Propiedad Intelectual. Ninguna de las partes de la misma puede ser reproducida, almacenada ni transmitida en ninguna forma ni por medio alguno, electrónico, mecánico o de grabación, incluido fotocopias, o por cualquier otra forma, sin permiso previo, expreso y por escrito de los titulares del © Copyright.

ÍNDICE

	<u>Páginas</u>
INTRODUCCIÓN	7
<i>Por Jesús Rafael Argumosa Pila</i>	
PRECISIONES A LAS BASES CIENTÍFICAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO	11
<i>Por Juan José Sanz Donaire</i>	
ENERGÍAS FÓSILES Y CAMBIO CLIMÁTICO	53
<i>Por José Luis Díaz Fernández</i>	
CAMBIO CLIMÁTICO Y ENERGÍA NUCLEAR	67
<i>Por José Manuel Perlado Martín</i>	
IMPLICACIONES DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA POLÍTICA ENERGÉTICA. GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD	77
<i>Por Enrique Soria Lascorz</i>	
SOBRE EL PROBLEMA ENERGÉTICO Y MEDIOAMBIENTAL	95
<i>Por Juan Velarde Fuertes</i>	
COMPOSICIÓN DEL GRUPO DE TRABAJO	103

INTRODUCCIÓN

Con este nuevo ensayo, esta vez tratando la relación entre el cambio climático y la seguridad y defensa, los componentes de la Comisión General de la Energía integrados en el proyecto del Foro de Encuentro de la Comunidad Española de Seguridad y Defensa, continúan reflexionando y aportando sugerencias y propuestas muy interesantes en torno a elementos que afectan en mayor o menor medida al nuevo modelo de seguridad y defensa que nos depara el primer cuarto del siglo XXI.

Las diferentes interpretaciones y posiciones que se presentan en este Documento de Seguridad y Defensa respecto a una amplia variedad de recursos energéticos relacionados con el cambio climático y su previsible influencia sobre la seguridad y defensa, junto a unas precisiones de algunas bases científicas del propio cambio climático da lugar a un rico y atractivo debate intentando encontrar las mejores soluciones a los distintos temas planteados.

La energía, recurso cada vez más necesario y, al mismo tiempo, cada vez más escaso, se está convirtiendo en una posible fuente de conflictos a nivel internacional. De hecho, se está constituyendo en uno de los más importantes factores geopolíticos planetarios junto a los tradicionales del territorio, la economía, la demografía, la potencia militar o la tecnología. Parodiando a Halford Makinder, en el año 1919, hoy podíamos aventurar esta sentencia: el que controle el factor energético tendrá un fuerte dominio sobre la Tierra.

Si bien es verdad que la tesis de que el cambio climático constituye uno de los más importantes riesgos o amenazas que afectan al desarrollo económico y social de la humanidad, aún no ha sido comprobada fehaciente-

INTRODUCCIÓN

mente con la debida rigurosidad científica, no es menos cierto que aparecen ciertos indicios de que algunos aspectos de la previsible situación climática en los próximos años si pueden producir algunas transformaciones importantes en el devenir de la comunidad internacional.

En este sentido, un fenómeno que ya está generando una cierta desestabilización política internacional es la desaparición de parte de las masas de hielo en el océano Ártico. Los diferentes países ribereños –Rusia, Estados Unidos, Canadá, Dinamarca y Noruega– han iniciado ya una batalla dialéctica y la correspondiente toma de posiciones para tratar de dominar el acceso a los nuevos recursos de hidrocarburos existentes en el subsuelo ártico que van a ser explotables con el deshielo, así como para controlar las nuevas vías de transporte fluvial y de comercio que se pueden abrir.

El cambio climático, la energía y la seguridad y defensa son cuestiones estrechamente relacionadas entre sí y de tal importancia que va a condicionar poderosamente el panorama estratégico mundial del cercano futuro. El actual modelo de desarrollo global se apoya totalmente en la energía por lo que cualquier inestabilidad provocada tanto en la producción, transporte o distribución de la misma como en el cambio climático influye en la paz y seguridad internacional.

Dentro de la geopolítica de la energía, las tres regiones geográficas donde se localizan las principales fuentes de la energía, especialmente las de origen fósil, carbón, petróleo y gas, que es la que se utiliza y se va a utilizar preferentemente en el mundo, en torno al 80% del consumo total, durante la primera mitad del siglo XXI, son el cinturón de quiebra euroasiático¹, África Subsahariana y Suramérica. Las tres áreas padecen una gran inestabilidad política por diversas razones por lo que constituyen una especial preocupación para la comunidad internacional.

En relación con las energías renovables –eólica, hidráulica, térmica, solar o fotovoltaica, entre otras–, la mayor parte de ellas muy relacionadas con el cambio climático, a pesar de que aún la tecnología todavía no ha logrado que sean rentables, la lógica de la seguridad-defensa, tanto en la Unión Europea como en España, induce a apostar por ellas mediante la inversión adecuada. Algo similar puede ocurrir con la energía nuclear,

¹ Se denomina con este nombre a la zona abarcada por un triángulo cuyos vértices coinciden sensiblemente con el Cáucaso, Asia Central y Oriente Medio.

INTRODUCCIÓN

una vez que la opinión pública esté convencida de que este tipo de energía no encierra ningún riesgo.

En este contexto de contradicciones referentes a los efectos que el cambio de clima puede producir, parece razonable acudir a la prudencia y al análisis científico riguroso y profundo para que se pueda determinar con la mayor certeza posible no sólo las verdaderas consecuencias del cambio climático en la seguridad y defensa sino también cuales son las principales causas de dicho cambio.

JESÚS RAFAEL ARGUMOSA PILA

General de división

Jefe de la Escuela de Altos Estudios de la Defensa

PRECISIONES A LAS BASES CIENTÍFICAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

El cambio climático se ha convertido en la actualidad en un resumen de todos los problemas que afectan a la humanidad. Se ha venido pergeñando esta idea a lo largo de más de 20 años, al principio, como tendremos ocasión de exponer, con preferencia como una amenaza que pudiera cernirse sobre el planeta, que no como una realidad presente. Mas la impaciencia por obtener resultados y convencer a los críticos o indecisos (generalmente llamados «escépticos») llevó a que unas leves subidas, de causa difícilmente asignable, se convirtieran en la prueba inequívoca de los augurios. Envalentonados algunos autores con esta –para ellos clara– respuesta, se atrevieron a continuar realizando pronósticos sobre el inmediato futuro, que –al no presentarse– han suscitado una llamada a la reflexión desde los prudentes.

Recientemente son ya muchas, y en orden creciente, las voces que se alzan llamando a la prudencia en cuanto a la aceptación de los Informes que produce el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, en sus siglas en inglés) (Alcalde, 2007; Svensmark y Calder, 2007; Singer, 2008; Spencer, 2008 y Lomborg, 2008). Así también, en la «Jornada Meteorológica sobre Cambio Climático Mediterráneo» organizada por el Ayuntamiento de Castellón, celebrada el 6 de noviembre del 2008 (y ampliamente recogida por la prensa nacional), los cinco climatólogos intervinientes opinaron que hacer predicciones sobre la endeble base actual es «ciencia ficción» o que:

«El hecho de que nos quedemos sin pescado en los caladeros, sin agua en la cuenca mediterránea o que se incrementen las migraciones de los países pobres a causa de la sequía no son culpa del cambio climático.»

PRECISIONES A LAS BASES CIENTÍFICAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

En el diario *Expansión* del 3 de abril de 2008 se exponía la noticia de un debate acalorado entre detractores y defensores del cambio climático en otra gran Fundación, la «Ramón Areces», en estos términos:

«El matemático William Briggs, de la Universidad de Michigan, es uno de los agitadores del debate. “La probabilidad de que se hagan realidad las previsiones del IPCC se sitúa entre el 40% y el 70%. Es poco probable que sucedan muchas de las cosas que se auguran”, afirmó ayer en el simposio “Evaluación crítica de las previsiones sobre el cambio climático: una perspectiva científica”, que se está celebrando en la Fundación «Ramón Areces», de Madrid. “Se están transmitiendo elementos de catastrofismo y me gustaría no ver tantos mensajes como éstos en el futuro”, añadió. Entonces, ¿hay que tomar medidas para intentar frenar el cambio? “Yo no soy partidario, al menos con los datos que tenemos en estos momentos”.»

Las palabras de Briggs tuvieron un efecto inmediato sobre otros científicos que están participando en la reunión. La reacción más acalorada partió del catedrático de Ecología de la Universidad de Castilla-La Mancha y coordinador del Informe del IPCC para el área mediterránea, José Manuel Moreno: «Como ciudadano, creo que el tiempo de esperar para tener más seguridad de lo que puede pasar está sobrepasado. He visto morir a miles de personas a causa del clima, y los¹ todos los gobiernos del mundo han decidido que ya es tiempo de tomar medidas. Este es el mensaje que hay que transmitir a la población...»

Ya los periodistas hablan de «agitadores» para quienes se oponen a la tesis oficial del cambio climático.

Dada la amplísima bibliografía institucional sobre el tema, ejemplificada en los Informes que periódicamente da a la publicidad el IPCC (el IV Informe recoge la labor de cuatro grupos de trabajo, el primero de los cuales se esmera en las bases científicas con un total de 986 páginas, pero existen los dedicados a la mitigación, etc., que superan las 2.000) aquí nos restringiremos a hacer algunos comentarios a los resultados de las bases científicas, así como a la producción de los organismos en los que se apoyan.

¹ Sic en el original.

Una cuestión previa: el consenso científico

En numerosas ocasiones se escucha y lee que existe consenso científico sobre el cambio climático y, por ende, que son más de 3.000 autores los que apoyan los trabajos emanados del IPCC. He aquí, figura 1, la realidad en los trabajos que exponen a la consideración pública: se ha respetado el original de la página 19, según podía leerse en una descarga realizada desde la página oficial del IPCC en Suiza en noviembre de 2008. Esta apostilla está igualmente encabezando otros varios capítulos del Informe del Grupo de Trabajo 1.

Por otra parte el *Resumen para políticos* –lo que de hecho llega a la opinión pública– está redactado por 33 personas, con la contribución de otras 18.

Una de ellas, el profesor Mario Molina, Premio Nobel de Química por sus trabajos sobre el ozono atmosférico en una edición compartida, en conferencia del día 25 de noviembre de 2008 en la Fundación «Rafael del Pino», conferencia titulada «Hacia el futuro: energía, economía y medio ambiente en el siglo XXI», expuso que la labor de los miembros del IPCC es recopilar la bibliografía contrastada relevante para el tema de la intervención del hombre en el cambio climático.

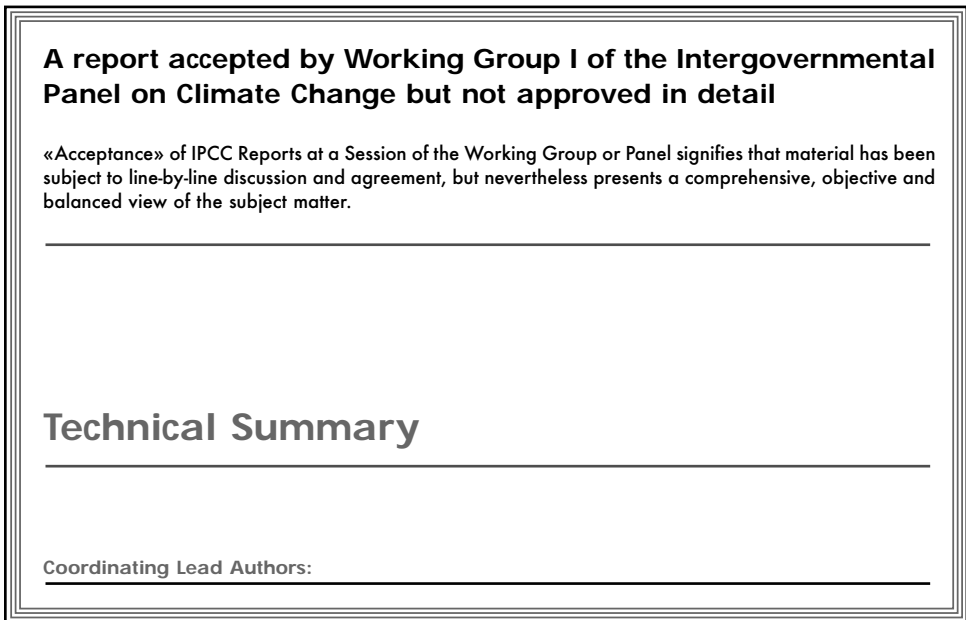


Figura 1.– Página oficial del IPCC.

El concepto de clima y de cambio climático

Como profesor universitario estoy acostumbrado a comenzar cualquier curso con el concepto de la asignatura. Es preciso, al inicio de cualquier exposición, aclarar en lo posible los conceptos básicos tras los cuales se pueda desarrollar el discurso. Este aspecto no es fútil² (Neuberger y Cahir, 1969), sino absolutamente determinante. Suele admitirse que el clima es una media del tiempo atmosférico sobre un lugar, un promedio de los cambiantes valores registrados instantáneamente en las variables del estado de la atmósfera, como la temperatura y la presión, y otras variables de máxima importancia para el ser humano: la precipitación, mucho más fácil de medir, y más útil para la vida, que la humedad (contenido en agua de la atmósfera, que puede o no precipitar); la nubosidad, el viento, los meteoros eléctricos, magnéticos, etc. Esta aceptación hace preciso que se establezca de cuándo y de cuánto tiempo vamos a especificar la media. Ya en el año 1927, en el Congreso de Washington se acordó, ante la variabilidad de los datos de lectura o registro, que las medias se realizarían para periodos de 30 años, y además *determinados* periodos treintañales: 1901-1930, 1931-1960, y así sucesivamente en ambos sentidos del tiempo.

Y de este modo se considera CLINO sólo a estos periodos, esto es *climatológicamente normales*. Y en este acuerdo está implícita la dificultad de medida del cambio, por cuanto que no son demasiados los lugares de la Tierra de los que se tiene un registro de más de 90 años. Como se comprenderá, para establecer si hay cambio climático o no, habrá de disponerse, al menos, de tres series treintañales, pues con dos es prácticamente imposible que las cifras medias de ambos periodos sean iguales, lo que originaría siempre una tendencia. Sólo cuando ésta se mantuviera durante tres periodos podríamos hablar de cambio.

Al propio tiempo debemos responder a otra cuestión fundamental: si existe cambio, ¿es suficiente *cualquier* cambio?

Estas consideraciones me llevaron a mí hace ya algunos años (Sanz Donaire, 2000) y ante el apremiante problema mediático del cambio climático a osar definir el clima de un modo que ha sido tildado de farragoso,

² «Intentar una definición del clima es tanto fútil como innecesaria: fútil porque ninguna simple definición incluye todas las posibles ramificaciones; innecesaria porque cada cual tiene una noción satisfactoria de lo que es el clima» (pp. 2-3). Huelga cualquier comentario. Balairón (1995), sin embargo, ha parafraseado la conocida máxima de Santo Tomás del tiempo para aplicarla al clima: «todo el mundo cree saber lo que es el clima hasta que le obligan a definirlo».

pero útil (Alcalde, J., 2007), y que se enuncia a continuación: «el *clima* es el estado normal de la atmósfera sobre un lugar, entendiendo por normal aquellos valores que tienen una probabilidad mayor de 0,033 y menor de 0,967 de la curva de frecuencia, una vez que se haya ajustado la mejor distribución para periodos treintañales comenzando desde el año 1901 en orden creciente o decreciente». La razón de que se opte por los valores anteriores no es otra que la necesidad de decidir qué extremos debemos dejar fuera de la consideración, lo que no es fácil, pues todos los valores se han producido³, si bien tienen diferente probabilidad de volver a registrarse. Y decidí dejar fuera un valor por encima y otro por debajo (1/30 cada vez, lo que en la práctica equivale a considerar normales el valor medio \pm dos desviaciones típicas). Al propio tiempo *cambio climático* sería «toda desviación de la normal que tenga significación a tenor del uso actual de los tests estadísticos». Finalmente la *anomalía climática* se produciría cuando, alcanzada la significación estadística, el cambio sea reversible (Sanz Donaire, 2000). En el gráfico 1, p. 16, se expone la distribución de Weibull de los datos termométricos de Soria, con sus límites superior e inferior, a efectos de considerar «normal» sólo el área en *gris*. Este gráfico corresponde a los datos cuyo histograma de frecuencia aparece en el gráfico 10, p. 35.

He aquí una propuesta sobre lo que consideramos clima, que, desgraciadamente, no han definido los innumerables científicos que constituyen el IPCC.

No obstante, lo que a este autor le parece básico, no parecía serlo para otros muchos expertos que ya en los Informes hasta el III definían el cambio climático, sin haberlo hecho previamente del clima, como «todo cambio del clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables» (artículo 1). Esta es la definición dada desde la Cumbre de Río del año 1992, toda vez que hasta la reunión de Toronto se había hablado de la «Atmósfera cambiante». Inmediatamente el cambio se explicita por cuanto afectará a la subida brusca de la temperatura en el próximo siglo, lo que llevará aparejado un comportamiento en algún sentido en las precipitaciones. De Balairón (2005) recogemos que:

«Sin embargo, en ningún caso debemos olvidar que, históricamente, la pregunta que da origen a que consideremos el cambio cli-

³ Por lo tanto son «normales», en cuanto que reales (no sólo posibles, sino «podidos») y no artificiales, aunque poco probables.

PRECISIONES A LAS BASES CIENTÍFICAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

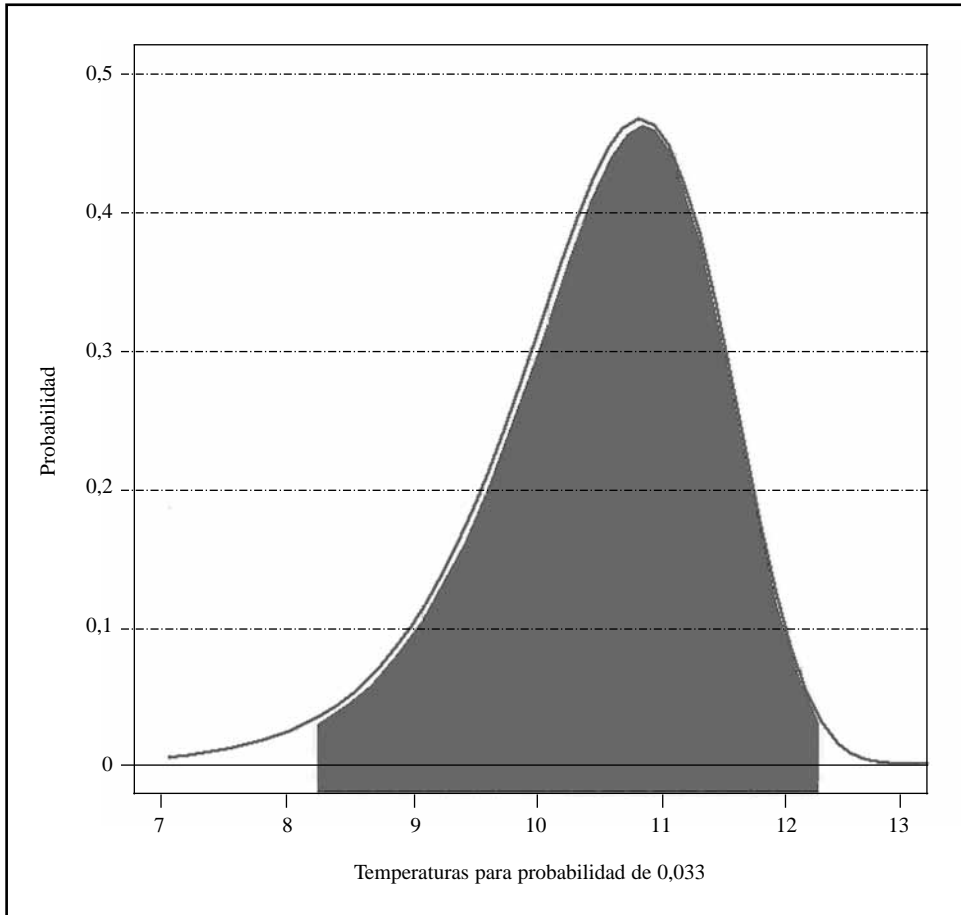


Gráfico 1.– *Función de densidad probable Weibull.*

mático como un problema no es la observación de calentamientos y cambios locales de clima, sino ¿cuál será la reacción de nuestro sistema climático ante una evolución de las emisiones de CO₂ y otros gases de invernadero tan abrupta como la que se produciría si no modificamos nuestras conductas en cuanto a energía, demografía y desarrollo económico?»

En momentos anteriores (Instituto Nacional de Meteorología, 1996) ya se había llamado la atención sobre el hecho de que el cambio climático:

PRECISIONES A LAS BASES CIENTÍFICAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

«Tampoco debe confundirse con las variaciones que perciben los ciudadanos en el comportamiento del clima a lo largo de sus vidas» (p. 7).

Por lo tanto no debe mezclarse con la «memoria climática», siempre subjetiva.

Sin embargo, en el IV Informe del IPCC (2007), especialmente en el *Resumen para políticos* en la primera nota al pie de la p. 2, se afirma literalmente:

«El cambio climático, en el uso del IPCC, se refiere a cualquier cambio en el clima observado a lo largo del tiempo, tanto si es debido a la variabilidad natural como resultado de la actividad humana. Este uso difiere del de la Convención-Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, donde el cambio climático se refiere a un cambio atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altere la composición de la atmósfera global y que se agrega a la variabilidad natural del clima observada para periodos de tiempo comparables.»

Ante un cambio en la definición del problema, éste se resiente en su totalidad (Pagney, 1973⁴) e induce a la confusión.

Cualquier variación en cualquiera de las numerosas variables que constituyen el clima (que prácticamente se hace coincidir con el tiempo atmosférico⁵) sería suficiente como para aceptar la existencia de cambio climático. De la definición anterior se desprende que si la temperatura media asciende o desciende 0,1 °C⁶, hay cambio climático; si la precipitación total asciende o disminuye en 0,1 milímetro hay cambio climático; si la presión media cambia 1 mb, hay cambio climático, si la velocidad del viento lo hace en 0,1 metro/segundo, hay cambio climático, etc.

Además, si ya no es oportuno definir el cambio climático por la atribución que de él se hacía al hombre, ¿qué sentido tiene que las medidas para su mitigación sean todas de reducción del CO₂ atmosférico? ¿Es que constituye el único factor de cambio? ¿De cualquier cambio? Como se nota, se ha pasado de argumentar, hasta el III Informe, que había conjunción de factores, a la

⁴ «Una definición aceptada sin reservas implica una orientación metodológica» (p. 5).

⁵ Estado de la atmósfera, condiciones instantáneas de las variables atmosféricas.

⁶ En este ejemplo y en los que siguen se toman los valores mínimos de precisión de las variables, según la Agencia Estatal de Meteorología española. Si los datos fueran del ámbito anglosajón serían de 0, 1 °F, un intervalo aún menor.

PRECISIONES A LAS BASES CIENTÍFICAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

reducción a uno único –el hombre–, a través del incremento en CO₂, lo que implica una gran simplicidad especialmente después de haber sustituido el término *clima* por la expresión *sistema climático*⁷ (Sanz Donaire, 1999a).

En el IV Informe, Grupo de Trabajo 1 *Bases científicas*, Capítulo I, p. 104 se afirma que la relación entre clima y tiempo atmosférico es grande, si bien, como respuesta a una supuesta pregunta que expresarían numerosos curiosos (en la jerga actual de las siglas sería una FAQ⁸), se afirma que parece no poder entenderse que el científico es incapaz de resolver el pronóstico del tiempo para un plazo superior a la semana y, sin embargo, sí la predicción del cambio climático. Y se agrega:

«Análogamente, mientras que resulta imposible predecir la edad a la que morirá un individuo, podemos decir con alta confianza que la edad media de los varones de los países industrializados es de unos 75 años.»

Lo que se hace, pues, es aplicar la llamada «esperanza de vida». Pero, ¿desconoce el autor del capítulo que para obtener la esperanza de vida el demógrafo tiene que basarse en numerosos datos, cuantos más mejor, tomados para una población en idénticas condiciones? Precisamente por ello se califica al varón como «de los países industrializados», pues este pronóstico tiene poca probabilidad de cumplirse entre los hotentotes, como tampoco se cumplió entre los neandertalenses.

Ahora bien, ¿qué esperanza de vida tendría un varón que nació hace diez años si se descubrieran nuevos fármacos que borrasen el cáncer? Ésta sí es la analogía; y la respuesta sería el desconocimiento. En el caso del cambio del clima a futuro el problema es que no poseemos datos fidedignos de cuánto influye el hombre en el clima como para predecir lo que ocurrirá⁹, pues si

⁷ En la *Teoría General de Sistemas* de Ludwig von Bertalanffy se entiende por sistema un «conjunto estructurado de variables y/o atributos»; inmediatamente su aplicación en el sistema climático produjo la interacción de la atmósfera con la litosfera, biosfera, hidrosfera, criosfera (hielos) y antroposfera. Esto hace que la ciencia, que hasta ese momento hacía gala de su nombre (*scientia* en latín tiene la misma raíz que «corte», como *análisis* en griego significa «separación»), devenga una amalgama holística en la que «el todo es mayor que la suma de sus partes»; en definitiva, se ha complicado. Sorprende, sin embargo, la tendencia a la simplificación, contraria a la literalidad del «sistema».

⁸ *Frequently Asked Question*: pregunta insistente.

⁹ El economista profesor Nicholas Stern, autor del conocido Informe que lleva su nombre, el 15 de diciembre de 2008 en la conferencia de clausura del Cambio Climático a Debate en la Fundación «Rafael del Pino» comentó que la probabilidad de que la temperatura subiera dos grados para el año 2050 era del 50%.

efectivamente el influjo se produjera a través del aumento en la concentración de CO₂, esta situación no se produjo anteriormente (en ningún caso por la acción humana): sin precedente, lógicamente, no cabe hablar de consecuente. A ello se suma que no es sólo la cantidad de población lo que hay que estimar para el futuro, sino los hábitos de consumo energético, las alternativas a los denostados combustibles fósiles, sujetas, entre otros factores –como la evolución de la tecnología–, a la subvención de los Estados, a una política que puede cambiar mucho en un siglo... Por lo tanto la analogía es inválida.

Este argumento, aparentemente baladí, es, sin embargo, una de las debilidades del llamado cambio climático: no existen precedentes en la historia (de la humanidad) de que el hombre haya podido influir en el clima a través del aumento de concentración del CO₂ en la atmósfera –pasó de las 280 ppmv (partes por un millón en volumen) preindustriales a las 380 actuales–, por lo que nuestras predicciones estadísticas se hacen muy poco probables. Geológicamente (esto es, a lo largo de la historia de la Tierra) sí ha habido periodos en los que, creemos, el contenido en CO₂ atmosférico ha superado ampliamente las 2.000 ppmv (Uriarte, 2003; Berner y Kothavala, 2001), mostrando la Tierra en esos momentos una vida exuberante, fundamento de los combustibles fósiles.

Por otra parte, la temperatura no representa por completo al clima, hay numerosas otras variables a tener en cuenta. A menudo se suele hacer una igualdad entre calentamiento del planeta, llamado calentamiento global, y cambio climático. ¿Qué pasa con las restantes variables, especialmente la presión, cuyos datos son tomados incluso con anterioridad a los de temperatura y precipitación? Lo que sí sería harto difícil es completar las series mediante datos *proxy*¹⁰, que, por el contrario, sí se pueden estimar con mayor seguridad en el caso de la temperatura. Por datos *proxy* se entiende los aproximados, en ausencia de medidas directas: así la temperatura puede estimarse a través de la relación entre los isótopos del oxígeno: 18 y 16; o mediante el deuterio, etc.; los anillos de crecimiento de los árboles ofrecen información sobre la temperatura y precipitación, los sedimentos de lagos, los datos que aportan las cavernas... Se trata en cualquier caso de aproximaciones, con gran incertidumbre, que no de datos tomados. Es al menos criticable en científicos la simple agregación de los datos tomados con instrumentos bastante fiables a los datos estimados con un alto grado de incertidumbre.

¹⁰ Literalmente significa «por poderes», «que hace las veces de».

PRECISIONES A LAS BASES CIENTÍFICAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Las noticias de los medios de comunicación no suelen tener en cuenta el concepto del clima. Entre los periodistas es frecuente la falta de precisión entre el clima y el tiempo. Veamos un ejemplo reciente, figura 2.

El primer destacado en *letras grises* es mío, con el fin de poner de manifiesto la escasa significación climática del evento y porque, en el subtítulo, ya se matiza que se refiere a los datos existentes, pero que difícilmente se tildarían de *históricos*: corresponden a los años 1979-actualidad. La Historia es la narración de lo sucedido a suficiente distancia como para no cometer estas faltas de apreciación de lo que es relevante con el paso del tiempo respecto de lo que no lo es. No voy a entrar en el tema de que el océano Glacial Ártico (unos 14 millones de kilómetros cuadrados) no es equivalente al Polo Norte

El casquete helado del océano Ártico registra la mayor pérdida de volumen de la historia

Se había bajado la guardia por el hecho de que no había habido récord. La fusión del hielo marino en el océano Ártico este verano no fue tan intenso como esperado y no llegó a superar el considerable deshielo de 2007. Sin embargo, el volumen perdido este año en el polo norte es, probablemente, el mayor desde que se tienen registros. Así lo han advertido los científicos del Centro Nacional de Datos sobre Hielo y Nieve (NSIDC) de EE.UU. en un comunicado.

FUENTE | El Mundo Digital 06/10/2008

Los expertos emplean distintos criterios a la hora de valorar la fusión del hielo. Lo habitual, *desde que comenzaron los registros por satélite hace casi tres décadas*, es que se refieran a la superficie helada que queda tras la temporada de fusión, que finaliza a mediados de septiembre, cuando nuevamente comienza el frío y con él la expansión del hielo. *Esta superficie es comparada con la superficie media durante el mismo mes a lo largo de las últimas décadas.*

El mayor retroceso de extensión helada se produjo el año pasado, en 2007; un récord histórico que dejó al océano Ártico con 4,28 millones de kilómetros cuadrados a mediados de septiembre. Este verano se batió el segundo récord, con 4,67 millones de kilómetros cuadrados de superficie helada en el mismo mes.

.
. .
. . .

Autor: Tana Oshima

Figura 2.– Noticia de los medios de comunicación.

(un punto, y, por ende, adimensional). El autor de la noticia, por cierto, obvia que en las inmediaciones de la Antártida se produce el efecto contrario: el aumento de la superficie del hielo marino en una cuantía inferior a la pérdida en el casquete Polar Ártico, aunque a estas cifras habría que añadir los incrementos (en el sentido que sean, pues nos son desconocidos en parte) en el continente antártico. En la segunda frase destacada en *cursivas*, tampoco debe pasarse por alto que la disminución de la superficie de hielo marino se compara con el valor de las últimas décadas (¿cuáles?). Teniendo en cuenta que toda la serie es de 30 años; ¿por qué no tomar la totalidad de la misma como referencia, que alcanza un treintenio y podría tener «significado climático»? La elección del periodo de referencia puede cambiar radicalmente la apreciación de los cambios. Véase a tal efecto el gráfico 2, p. 22.

En este gráfico se han representado los datos de precipitación en cuanto que desviaciones (también llamadas anomalías, y en este caso acumuladas, para poner de manifiesto los periodos secos –poligonal descendente– y los húmedos –poligonal ascendente–) de tres modos: *a*) respecto de la media de toda la serie; *b*) respecto del treintenio final; *c*) respecto del treintenio inicial. Las impresiones que gana el que observe los tres gráficos son bien distintas, aunque en todos los casos los datos de base son los mismos.

Los datos termométricos

En la Tierra se viene tomando datos de la temperatura desde la primera mitad del siglo XVII, pocos años después de que se inventase el termómetro. Las series sin embargo, no ofrecen continuidad desde esa fecha tan temprana. Efectivamente la serie más larga de la que se dispone está «reconstruida» a partir de varias estaciones, orientadas a distintos puntos cardinales, con diferentes aparatos (incluso sistemas, de alcohol y de mercurio), y se conoce como «serie de la Inglaterra Central». Presenta datos «ininterrumpidos» desde el año 1659. Los datos se tomaban, por lo general, dos o tres veces al día; luego, merced a los termómetros de máxima y mínima, se hallaba la media diaria a partir de los valores extremos. Desde la novena década del siglo pasado se ha cambiado, sin embargo, el método, por haberse sustituido los termómetros de máxima y mínima o los termógrafos por estaciones automáticas, que registran electrónicamente los valores cada 10 minutos, si bien para estos valores ofrecen una media entre el máximo y mínimo de las medidas «casi constantes» (cada 10 segundos).

PRECISIONES A LAS BASES CIENTÍFICAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

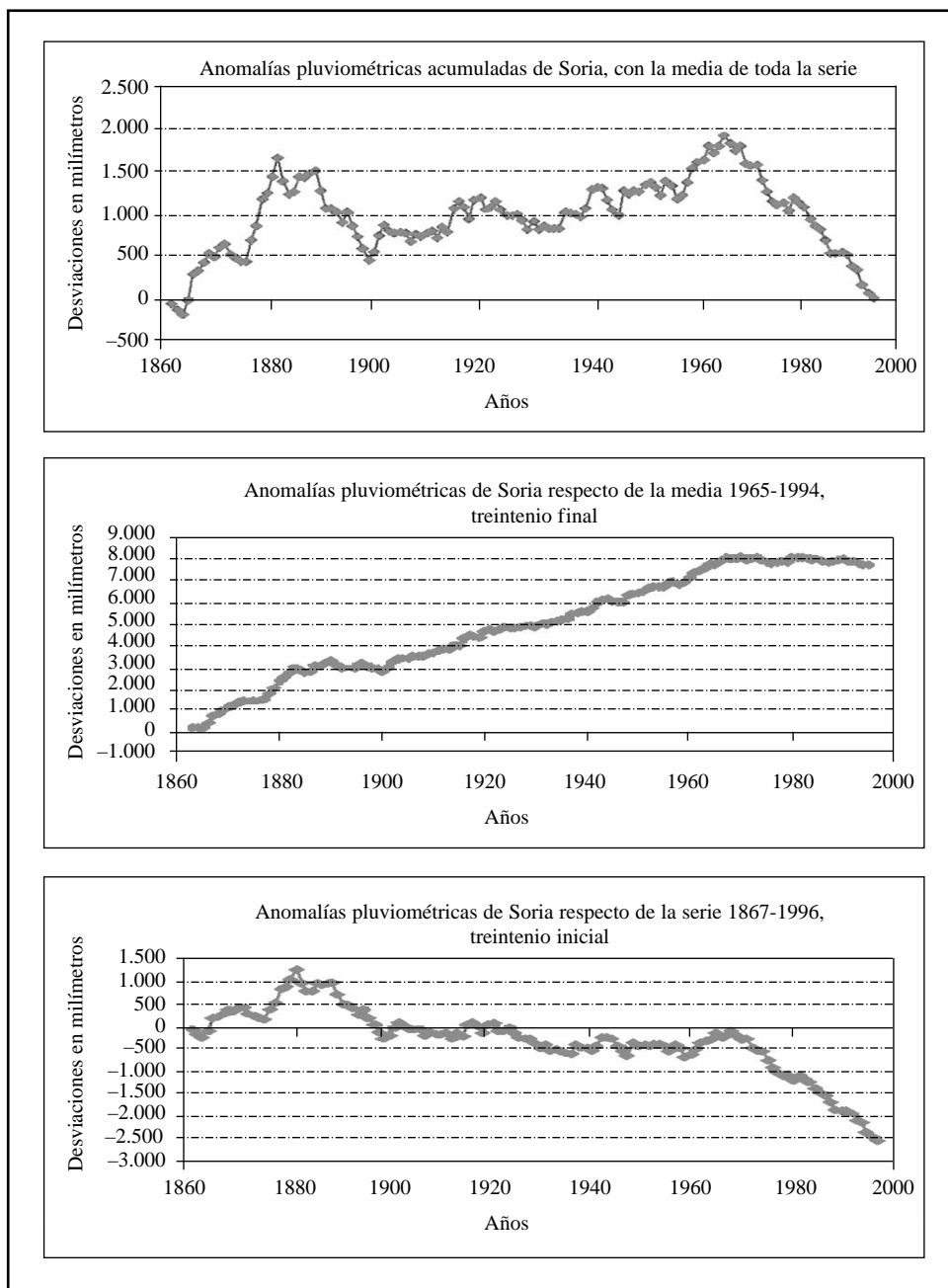


Gráfico 2.– Aspectos diversos de los datos pluviométricos según varios tratamientos.

PRECISIONES A LAS BASES CIENTÍFICAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

El cálculo de la media diaria se hace hoy a través del promedio de los 144 datos registrados (aunque se esconde detrás la toma de 7.200 valores). La incorporación paulatina de las estaciones meteorológicas automáticas se produce en la medida en que se dispone de presupuesto en los organismos meteorológicos nacionales, por lo que estamos lejos de haber alcanzado la sustitución global. Se ha argumentado por las instancias competentes que se realizó la comprobación de la continuidad de los valores anteriores en los posteriores. El modo en que se toman los datos influye decisivamente en los resultados obtenidos. Incluso hay variaciones si la media se hace de un día legal, o de 24 horas (éstas pueden estar desplazadas del comienzo y final a las 0 horas y 24 horas respectivamente).

En el gráfico 3 se expone el ritmo termométrico del día 1 de enero de 2006 de una estación automática situada a 1.800 metros en la cara norte de Peñalara (Segovia). La media de los valores registrados cada 10 minutos es de 2,05 °C; la media de los valores máximo y mínimo (igualmente de los 144 datos) es de 1,33 °C; la media de los valores extremos absolutos (los 7.200 datos realmente medidos) fue de 2,25 °C. La diferencia entre las primeras cifras es de 0,72 °C; y con la tercera 0,92 °C. El cálculo para diferentes días resulta en distintos valores, por lo que habrá que tomar con mucha cautela la simple adición de unas estaciones a otras (especialmente las automáticas actuales).

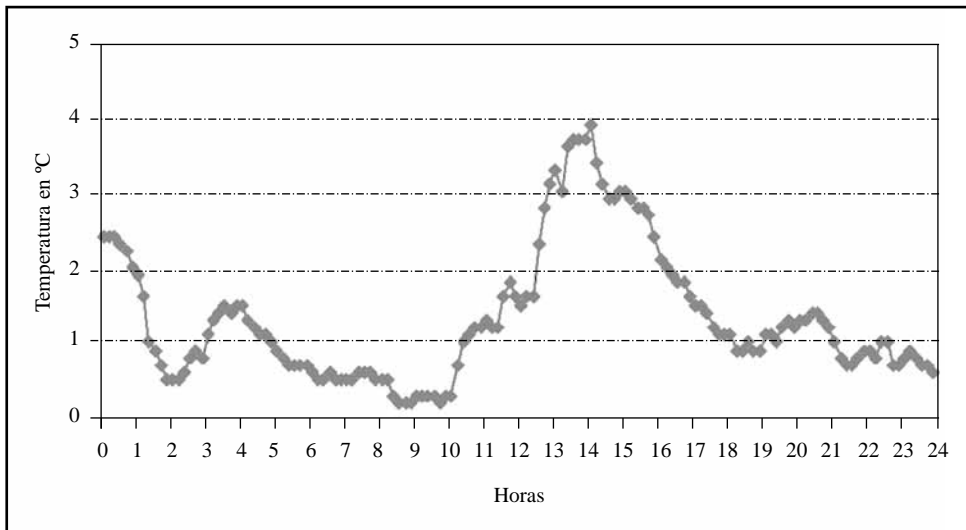


Gráfico 3.– Ritmo termométrico, Peñalara 1.800 metros.

PRECISIONES A LAS BASES CIENTÍFICAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	
1	Austrn	Viena Hohe Warte	Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual		
3	603	110350000	1775	-32	25	55	70	118	195	191	219	162	100	42	-14	9.425		
4	603	110350000	1776	-75	13	50	84	123	172	193	194	144	73	23	-27	8.058		
5	603	110350000	1777	-40	-13	45	70	148	178	182	197	139	84	44	-11	8.525		
6	603	110350000	1778	5	-12	45	119	151	172	213	207	142	91	51	47	10.26		
7	603	110350000	1779	-40	43	70	134	166	165	181	188	160	109	46	39	10.51		
8	603	110350000	1780	-41	-34	72	79	149	170	189	185	133	105	43	-22	8.567		
9	603	110350000	1781	-29	4	55	107	152	198	198	219	170	91	64	6	10.29		
10	603	110350000	1782	16	-30	48	96	156	202	229	204	161	87	22	9	10		
11	603	110350000	1783	23	53	42	110	171	204	217	214	178	116	47	-32	11.19		
12	603	110350000	1784	-63	-18	35	79	173	193	203	200	177	64	46	5	9.117		
13	603	110350000	1785	-27	-11	-28	60	143	164	188	182	179	89	46	3	8.233		
14	603	110350000	1786	-11	5	40	112	133	188	178	171	142	69	13	4	8.7		
15	603	110350000	1787	-25	25	47	80	125	190	193	197	143	110	51	36	9.767		
16	603	110350000	1788	9	7	52	99	150	198	228	176	168	94	25	-84	9.35		
17	603	110350000	1789	-28	28	10	114	181	175	204	189	160	107	50	4	9.95		
18	603	110350000	1790	-9	39	45	86	169	202	187	200	145	89	35	27	10.13		
19	603	110350000	1791	35	16	61	116	148	177	197	173	143	93	35	10	10.37		
20	603	110350000	1792	-12	-13	47	104	142	190	205	200	143	84	34	8	9.433		
21	603	110350000	1793	-33	19	29	70	138	167	214	203	153	112	49	26	9.568		
22	603	110350000	1794	9	40	66	145	171	202	236	187	138	96	45	-11	11.03		
23	603	110350000	1795	-82	-8	44	122	153	198	179	200	153	132	28	30	9.575		
24	603	110350000	1796	47	19	7	79	160	182	202	204	179	104	38	-18	10.03		
25	603	110350000	1797	0	17	32	126	189	191	224	216	180	113	48	15	11.26		
26	603	110350000	1798	5	38	57	107	158	193	202	205	175	92	32	-45	10.16		
27	603	110350000	1799	-73	-23	31	94	148	168	194	202	150	101	47	-36	8.368		
28	603	110350000	1800	-10	1	-4	169	177	164	194	215	158	92	63	3	10.18		
29	603	110350000	1801	4	-9	72	108	176	172	199	180	172	123	62	13	10.6		
30	603	110350000	1802	-25	-13	51	108	139	199	212	217	160	137	63	19	10.56		
31	603	110350000	1803	-53	-42	35	130	121	173	204	197	128	92	56	4	8.708		
32	603	110350000	1804	23	-5	10	100	157	185	203	190	166	104	9	-29	9.275		
33	603	110350000	1805	-26	-5	25	72	133	171	184	176	155	62	12	4	8.025		
34	603	110350000	1806	31	29	55	78	177	182	197	189	162	88	60	45	10.78		

Figura 3.– Datos desde el siglo XVIII.

Como ejemplo adicional de lo que digo, voy a aportar la realidad de una de las estaciones más longevas de la Tierra, con datos desde el siglo XVIII: Viena Hohe Warte, figuras 3 y 4.

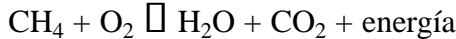
¿Quién no se sorprendería de que esta estación de Viena no posea ningún fallo de medida en el siglo inicial, y que todas las lagunas (–9999 en la figura) se concentren en los momentos actuales, cuando los medios disponibles se multiplican? Es más, los últimos años corresponden a otra estación (con diferente número final y señalada en *gris*), donde a simple vista se nota un salto en las medias, figura 4.

A menudo se argumenta que la subida de las temperaturas es general. Cuando tratamos los valores de las temperaturas máximas y de las mínimas (en este caso el número de estaciones que disponen de datos descien- de muy considerablemente) y vemos su evolución temporal, llama la atención que sea sobre todo la subida de las mínimas la que influye en el aumento de las medias. Como ejemplo, y con datos hasta el año 1995 (Ojeda Martín, inédito), he aquí los de Madrid-Retiro, gráfico 4, p. 26. Es clásica la correlación que se establecía entre el grado de urbanización y el

PRECISIONES A LAS BASES CIENTÍFICAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

aumento de la temperatura (Dronia, 1967). Esto pone en entredicho que la causa del incremento sea el CO₂.

La adición de las tendencias lineales es expresiva de lo que ocurre: las medias aumentan en la medida en que lo hacen las temperaturas mínimas. ¿Puede esto derivar del incremento en el uso de la energía, pero no a través del CO₂ desprendido, sino del simple calor sensible? ¿Y quién nos asegura que la quema de los combustibles fósiles, que genera igualmente mucho vapor de agua, no tenga repercusiones en el comportamiento térmico de la atmósfera sobre el lugar, cuando el vapor de agua es un gas de efecto invernadero mucho más activo (responsable del 90% de la variación) que el CO₂? Recuérdese que en la combustión se realiza una sencilla transformación de los hidratos de carbono, aquí representados por el más simple metano (sin ajustar), reacción exotérmica:



En realidad cualquier tendencia es muy dependiente de los valores iniciales y finales. Para ahondar en este sentido baste la exposición del

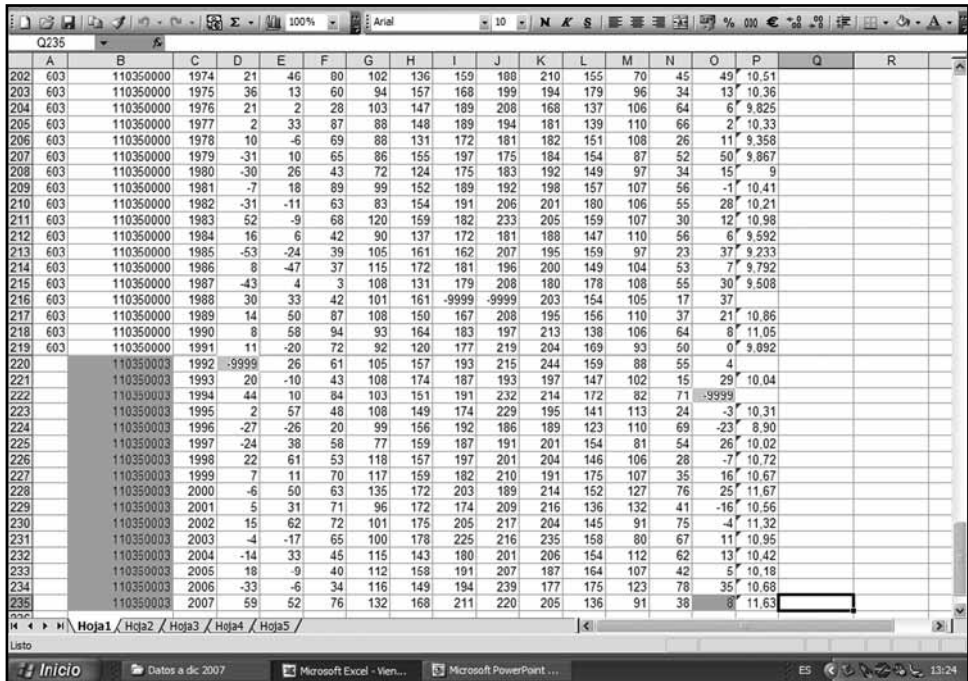


Figura 4.– *Apreciación de un salto en las medias.*

PRECISIONES A LAS BASES CIENTÍFICAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

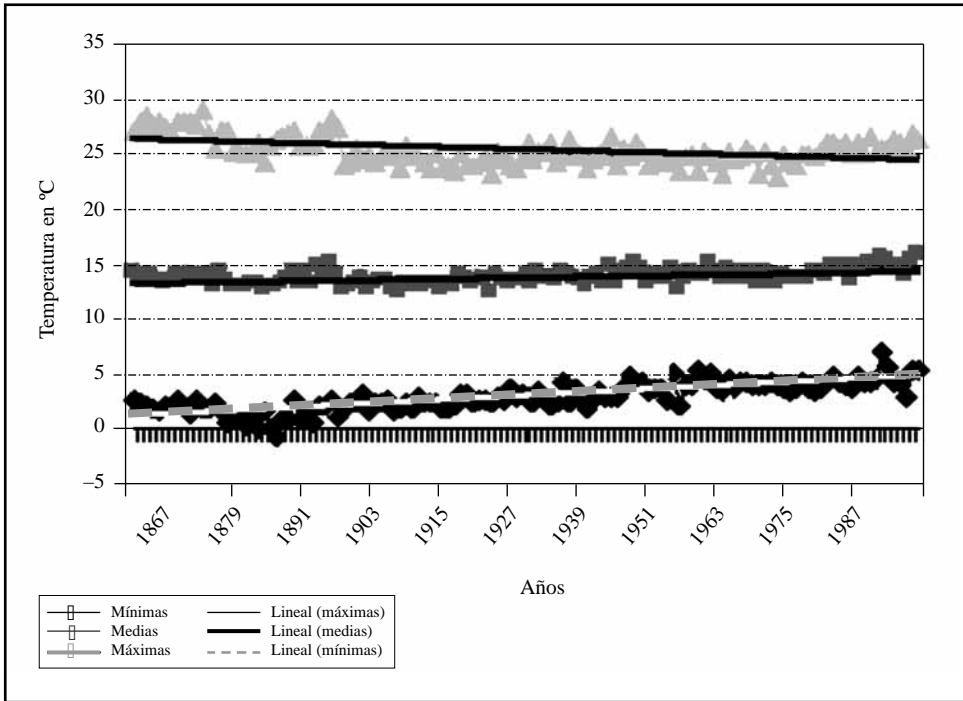


Gráfico 4.– Evolución de las temperaturas (Madrid-Retiro).

siguiente supuesto: la aplicación de una tendencia lineal al caso de una curva sinusoidal, periódica, que, por definición, sube y baja sin tendencia (a largo plazo). En una hoja de cálculo se dan 55 valores de ángulos comenzando por 0 grados con un incremento de 15 grados cada vez (finalizando, por tanto, en 795 grados), ángulos para los que se halla el seno. Si se ajusta después una línea de tendencia lineal se obtiene una probabilidad de 0,22, que en la nomenclatura del IPCC sería altamente probable; pero cuando a los valores anteriores se les suma una cantidad constante (-16 grados) y se vuelve a estimar la tendencia, la probabilidad asciende al 0,1080 con lo que estaría en el mismo umbral de ser considerada muy probable y tenida en cuenta. El gráfico 5 dibuja la curva, y mediante dos líneas *grises*, el nivel de confianza del 95% superior e inferior. En cualquier caso la tendencia sería muy baja (-0,0007) y su coeficiente de determinación (R^2) 0,05, pero en el límite de la significación estadística si ésta se toma en el 90%, que no en el 95%. Como se sabe se ha discutido mucho cuáles deben ser los límites a tener

PRECISIONES A LAS BASES CIENTÍFICAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

en cuenta (Labovitz, 1968), pero se suele admitir con preferencia el del 95%.

Es frecuente leer que el aumento de la temperatura es general. Tampoco se cumple esta rotunda afirmación, por cuanto que ciertos estudios demuestran que la subida en las islas del Pacífico o del Atlántico no es significativa (Pérez González y García Rodríguez, 2006, 2007a y 2007b), como tampoco para otras áreas, especialmente las poco afectadas por la urbanización (Pérez González, 2005). Sobre este tema se incidirá más adelante.

La tabla de la figura 5, p. 28, da las series-fuente de las que se nutren los modelos del cambio climático. Como se puede leer los errores son del orden del 50%, para las series largas, las de los años 1850-2005, las que se debieran utilizar para hacer previsiones a un futuro de 100 años. El inconveniente es que se piensa que éstas no están influidas por la acción humana hasta época bien reciente, por lo que son inoperantes para la predicción, cuando más se ha de notar la acción antropogénica. Esto implica que los tiempos para la validación de los modelos son reducidos.

En meteorología, los pronósticos de temperatura máxima y mínima que se hacen a dos días suelen tener este mismo error. El gráfico 6, p. 29 reco-

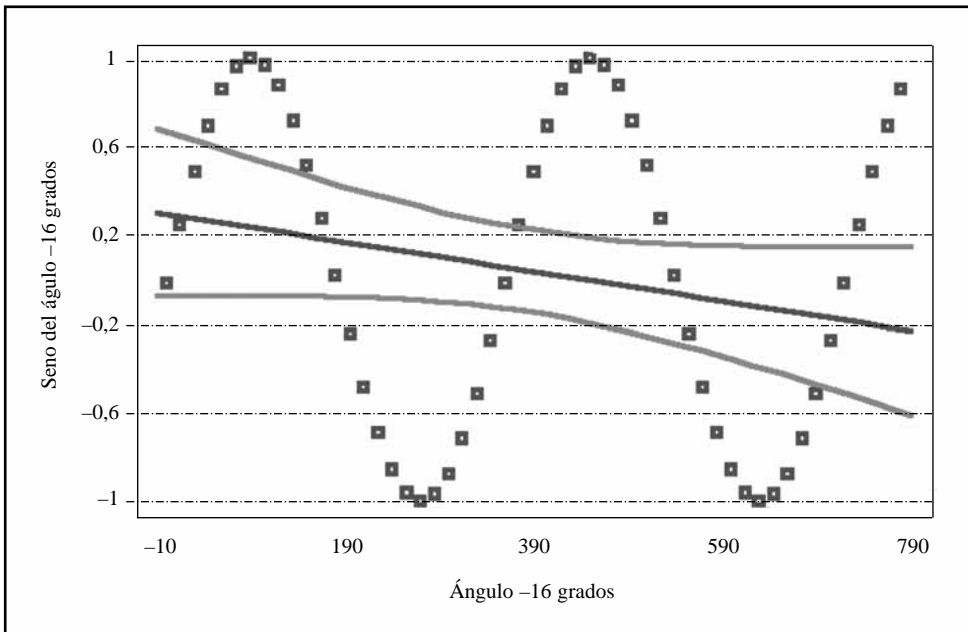


Gráfico 5.– Modelo ajustado con $p=0,1080$.

PRECISIONES A LAS BASES CIENTÍFICAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Dataset	Temperature Trend (°C per decade)		
	1850–2005	1901–2005	1979–2005
Land: Northern Hemisphere			
CRU (Brohan et al., 2006)	0.063 ± 0.015	0.089 ± 0.025	0.328 ± 0.087
NCDC (Smith and Reynolds, 2005)		0.072 ± 0.026	0.344 ± 0.096
GISS (Hansen et al., 2001)		0.083 ± 0.025	0.294 ± 0.074
Lugina et al. (2006)		0.079 ± 0.029	0.301 ± 0.075
Land: Southern Hemisphere			
CRU (Brohan et al., 2006)	0.036 ± 0.024	0.077 ± 0.029	0.134 ± 0.070
NCDC (Smith and Reynolds, 2005)		0.057 ± 0.017	0.220 ± 0.093
GISS (Hansen et al., 2001)		0.056 ± 0.012	0.085 ± 0.055
Lugina et al. (2005)		0.058 ± 0.011	0.091 ± 0.048
Land: Globe			
CRU (Brohan et al., 2006)	0.054 ± 0.016	0.084 ± 0.021	0.268 ± 0.069
NCDC (Smith and Reynolds, 2005)		0.068 ± 0.024	0.315 ± 0.088
GISS (Hansen et al., 2001)		0.069 ± 0.017	0.188 ± 0.069
Lugina et al. (2005)		0.069 ± 0.020	0.203 ± 0.058
Ocean: Northern Hemisphere			
UKMO HadSST2 (Rayner et al., 2006)	0.042 ± 0.016	0.071 ± 0.029	0.190 ± 0.134
UKMO HadMAT1 (Rayner et al., 2003) from 1861	0.038 ± 0.011	0.065 ± 0.020	0.186 ± 0.060
Ocean: Southern Hemisphere			
UKMO HadSST2 (Rayner et al., 2006)	0.036 ± 0.013	0.068 ± 0.015	0.089 ± 0.041
UKMO HadMAT1 (Rayner et al., 2003) from 1861	0.040 ± 0.012	0.069 ± 0.011	0.092 ± 0.050
Ocean: Globe			
UKMO HadSST2 (Rayner et al., 2006)	0.038 ± 0.011	0.067 ± 0.015	0.133 ± 0.047
UKMO HadMAT1 (Rayner et al., 2003) from 1861	0.039 ± 0.010	0.067 ± 0.013	0.135 ± 0.044

Figura 5.– Fuente de los datos termométricos, valores de cambio y errores estimados. IV Informe, p. 243.

ge la desviación de los valores de temperatura mínima y máxima para diez estaciones españolas en cinco días al azar del mes de agosto de 2007. Las desviaciones alcanzaron el 40%, pero para valores de invierno (con cifras de temperatura expresada en °C) los porcentajes de desviación serían mucho mayores.

Aún más significativo es el cuadro de las contribuciones que hacían determinados factores a la subida del mar, otro de los argumentos más esgrimidos en el estudio del cambio climático. En la tabla de la figura 6, p. 30, se copian las aportaciones del manto hielo de Groenlandia y la Antártida a la subida del nivel del mar: para Groenlandia el error es del 240% por encima y por debajo de la cifra ofrecida (1961-2003) y del 292%

PRECISIONES A LAS BASES CIENTÍFICAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

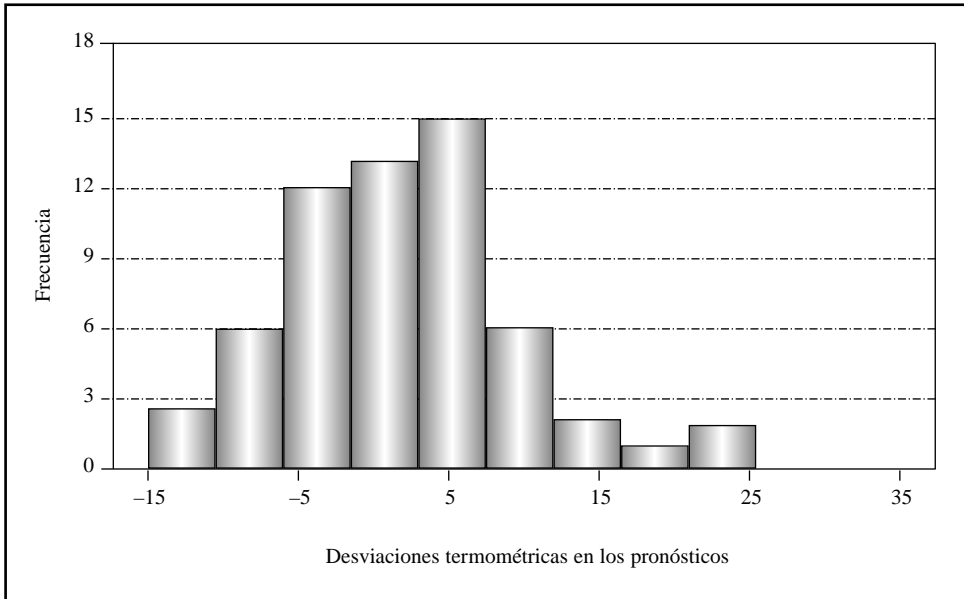


Gráfico 6.– *Histograma de las desviaciones en pronósticos a dos días.*

para la Antártida. No voy a entrar en la nota al pie, en la que se reconoce que los datos son de distinta procedencia: de mareógrafos y satelitarios, con lo que se reproduce el problema de la adición de datos de procedencias distintas¹¹, los primeros, además, de la costa (que, de hecho, sufre subidas o bajadas del continente), mientras los segundos de «todo» el océano.

Tampoco insistiré en cuál es la precisión de la superficie de las aguas marinas, cuando todo el que se haya comprado un GPS sabe que las altitudes ofrecidas por estos aparatos, a partir de los datos de satélite, son muy deficientes. El problema es la falta de calibración de estos datos, salvo en las costas (el número de puntos de control se restringe a 64 para toda la Tierra): ¿cómo sabemos que los datos satelitarios son correctos? Las aguas del

¹¹ El satélite *Topex-Poseidón* se lanzó en el año 1992, desde 2001 está útil el *Jasón 1* y desde este verano el *Jasón 2*. Desde una altitud de 1.338 kilómetros, los últimos han tenido un periodo de calibración conjunta con los anteriores de seis meses. Excluyen los datos de ambos casquetes polares; la resolución espacial es de unos 500 kilómetros, la precisión altimétrica, medida a través de simulaciones gravimétricas con GRACE, en torno a tres centímetros y con un ritmo de toma de datos (no sincrónica) cada 10 días. *Jasón*, además, presenta una diferencia negativa del 13% en la altura significativa de la ola respecto de los datos de las boyas.

PRECISIONES A LAS BASES CIENTÍFICAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

mar no sólo experimentan las consabidas elevaciones y hundimientos por las mareas, sino accesos por diferencias de presión, por cambios en la salinidad debidos a las lluvias o la evaporación, cambios de temperatura, etc. Así se admite que «las contribuciones relativas de las causas fundamentales (del cambio en el nivel del mar)... son muy mal conocidas» (Leuliette *et al.*, 2004, p. 80).

El gráfico 7 muestra la media de variación anual del nivel marino para diversas estaciones con mareógrafos de alta calidad, que tienen oscilaciones decenales de casi 8 milímetros/año (Holgate *et al.*, 2004). Para una más extensa discusión de la subida del nivel del mar véase Lomborg (2008, pp. 88 a 104).

Comenzando la serie actual de temperaturas en el año 1880, gráfico 8, p. 32, pues a partir de esa fecha los datos están disponibles en un mayor número de estaciones, se obvian los momentos cálidos que en muchos lugares de Europa se terminaron hace 150 años. Si éstos se hubiesen tenido en cuenta, la tendencia estaría mucho más matizada, o incluso, como en el caso que se expondrá de De Bilt, figura 7, p. 36, sería negativa y con significación estadística.

También resulta importante anotar que la tendencia lineal, por su simplicidad de cálculo y robustez, amén de idoneidad para tiempos largos, está adecuadamente escogida para apreciar el cambio. Sin embargo, presenta una debilidad de tipo filosófico: siempre va de más a menos o viceversa,

Tabla RRP.1. Ritmo de elevación del nivel del mar observado y contribuciones estimadas de diferentes fuentes. (5.5, Tabla 5.3)

Fuente de la elevación del nivel del mar	Ritmo de elevación del nivel del mar (mm por año)	
	1961-2003	1993-2003
Expansión térmica	0.42 ± 0.12	1.6 ± 0.5
Glaciares y casquetes de hielo	0.50 ± 0.18	0.77 ± 0.22
Manto de Hielo de Groenlandia	0.05 ± 0.12	0.21 ± 0.07
Manto de hielo de la Antártida	0.14 ± 0.41	0.21 ± 0.35
Suma de las contribuciones climáticas individuales al aumento del nivel del mar	1.1 ± 0.5	2.8 ± 0.7
Total del aumento del nivel del mar observado	1.8 ± 0.5 ^a	3.1 ± 0.7 ^a
Diferencia (Observado menos suma de las contribuciones climáticas estimadas)	0.7 ± 0.7	0.3 ± 1.0

Nota de la Tabla: Los datos anteriores a 1993 son de mareógrafo y los posteriores a 1993, de altimetría por satélite.

Figura 6.— Ritmo de elevación del nivel del mar observado.

PRECISIONES A LAS BASES CIENTÍFICAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

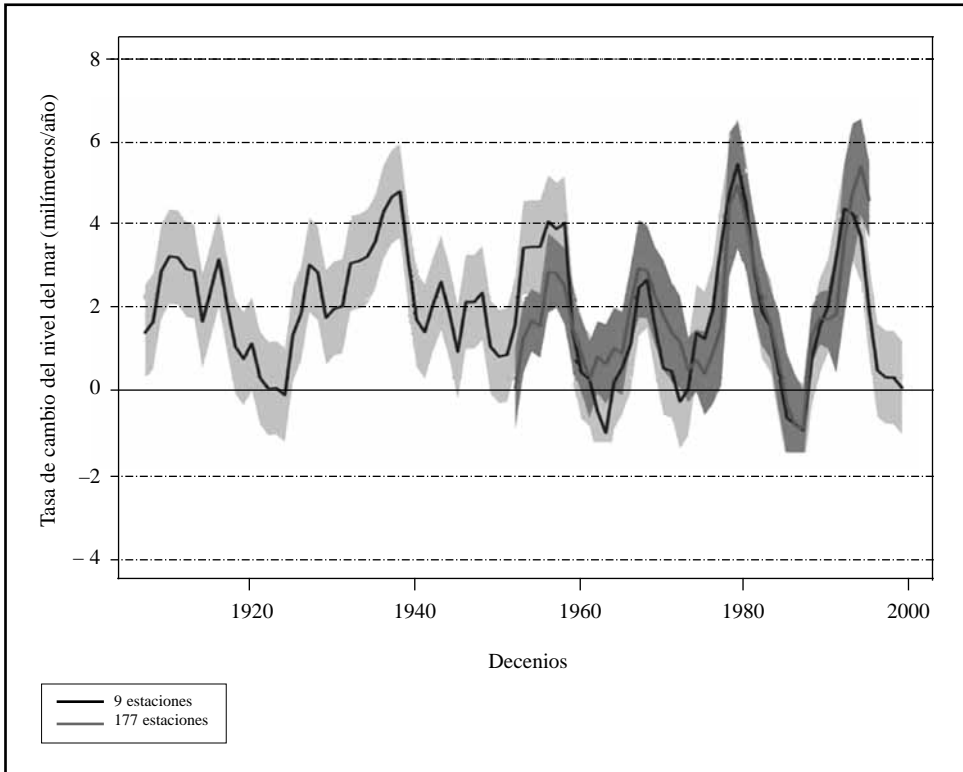


Gráfico 7.– *Media de variación anual del nivel marino.*

por lo que su extrapolación, en el caso de regímenes de carácter cíclico o cuasicíclico, no es muy apropiada.

La construcción del gráfico 8, p. 32, se ha realizado para las series anteriores al año 1985 a partir de diversos autores, que evidentemente tenían periodos de referencia distintos (Köppen, incluso, del siglo XIX). Para poder mezclar las series se ha procedido a ajustarlas a los momentos comunes, para ver después las discrepancias. El periodo final de referencia, respecto del cual se anotan las desviaciones, es el 1961-1990. Pero el gráfico ofrece sólo una fuente para los últimos tiempos. Para hallar la media mundial se recurre a fórmulas que varían según los autores (éstos están recogidos en la figura 5):

1. La media de la CRUTEM3, sobre 4.349 estaciones, es de $(0,68 \cdot \text{HN}) + (0,32 \cdot \text{HS})$, esto es, da más peso a los valores del Hemisferio Norte (HN) que a los del Hemisferio Sur (HS).

PRECISIONES A LAS BASES CIENTÍFICAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

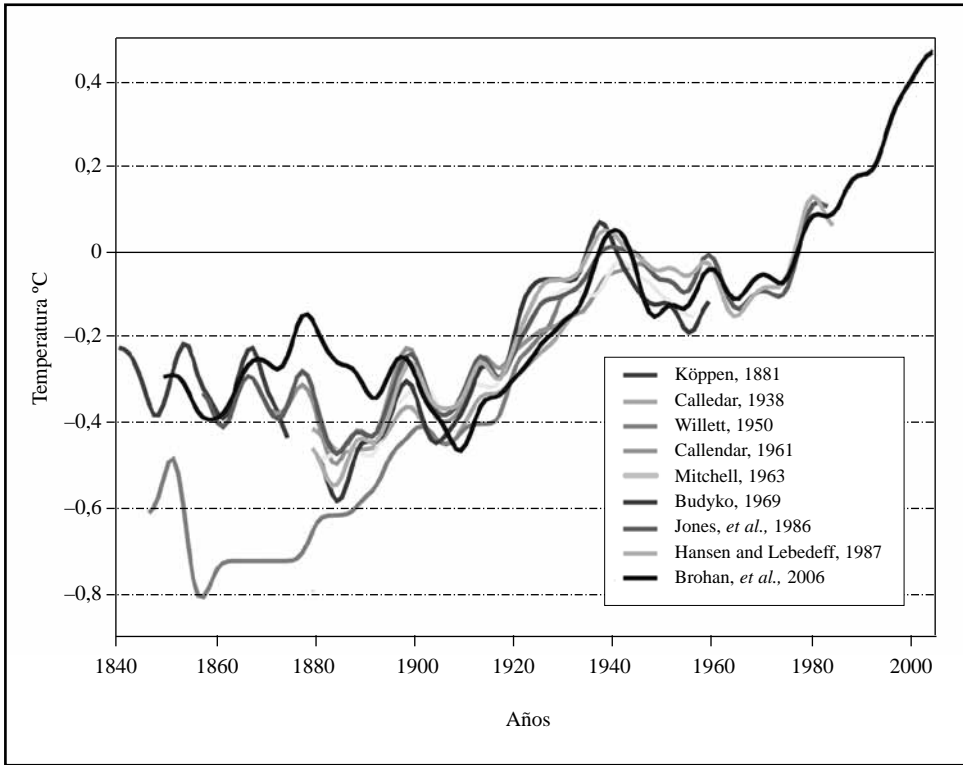


Gráfico 8.– Series temporales de la temperatura global. IV Informe, p. 101.

2. La media del GISS (Instituto Goddard dirigido por Hansen), sobre 7.230 estaciones es de (90° N-23, 6° N-0,3) + (23,6° N-23, 6° S-0,4) + (90° S-23,6° S-0,3).
3. La media de la serie de Lugina, al excluir los datos de estaciones que superen los 60° S¹², es:

$$x = \frac{HN + (0,866 \times HS)}{1,866}$$

Los datos pluviométricos son aún más cambiantes. Renuncio a una exposición en profundidad. Con una inmensidad de autores que ha traba-

¹² Se da la circunstancia de que en la Antártida la tendencia al enfriamiento es clara en casi todas las estaciones meteorológicas. No existen datos de la misma sino desde el Año Geofísico Internacional de 1958.

jado el tema puedo decir que las precipitaciones siguen considerándose un parámetro estocástico, ante la gran diversidad de factores que pueden controlarlo (Sanz Donaire, 2005).

El tratamiento de los datos

En las páginas anteriores ya se ha hecho alusión en distintas ocasiones a la dificultad de obtener buenos datos, e incluso se ha tenido ocasión de exponer cómo se trabaja con los datos originales para completar series interrumpidas o carencias de datos en lugares remotos. A ello hay que añadir que, una vez construida una serie, todavía pueden observarse inconsistencias, que se tienden a subsanar mediante la homogeneización. Así, del modelo se puede predicar más que de los datos en bruto o crudos, pero ello no debe hacernos perder la realidad: se trata de construcciones retocadas. Homogéneo, en estadística, significa de una misma población: pero, ¿es esa la realidad? Muy probablemente no para el caso de los datos de las estaciones de registro más largo. Sin embargo, la homogeneización pretende obviar los muchos problemas que tenemos al obtener datos, estar dispersos, haber sido tomados de fuentes distintas... (etc.).

La homogeneización, como tratamiento para obtener una serie que proceda de una única población, es una técnica muy empleada. Pero, insisto, ¿y si los datos no proceden realmente de una única población? Esto es especialmente fácil de comprender cuando se trabaja con series largas. En el caso de la estación de De Bilt (301 años de datos ininterrumpidos) el histograma de frecuencias de las temperaturas medias anuales arroja, para 25 clases, el resultado que puede verse en el gráfico 9, p. 34.

En este gráfico se puede percibir que hay unos valores anormalmente bajos, pero que se han registrado, y que además quedan corroborados por las olas de frío que también se dejaron sentir en otros lugares de Europa en el año 1740. A su vez también se ve que existen dos clases con valores máximos (9-9,2, el máximo principal, y 10-10,2, secundario). En estos casos suele pensarse que esta distribución podría ser la suma de dos poblaciones cada una con distribución normal, y con su media + moda + mediana centradas en los valores anteriormente citados. Es como si los cinturones de temperatura de la Tierra se hubieran desplazado para algunos momentos, y, por causas desconocidas, se hubiesen mantenido allí por un lapso de tiempo. En definitiva, desco-

PRECISIONES A LAS BASES CIENTÍFICAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

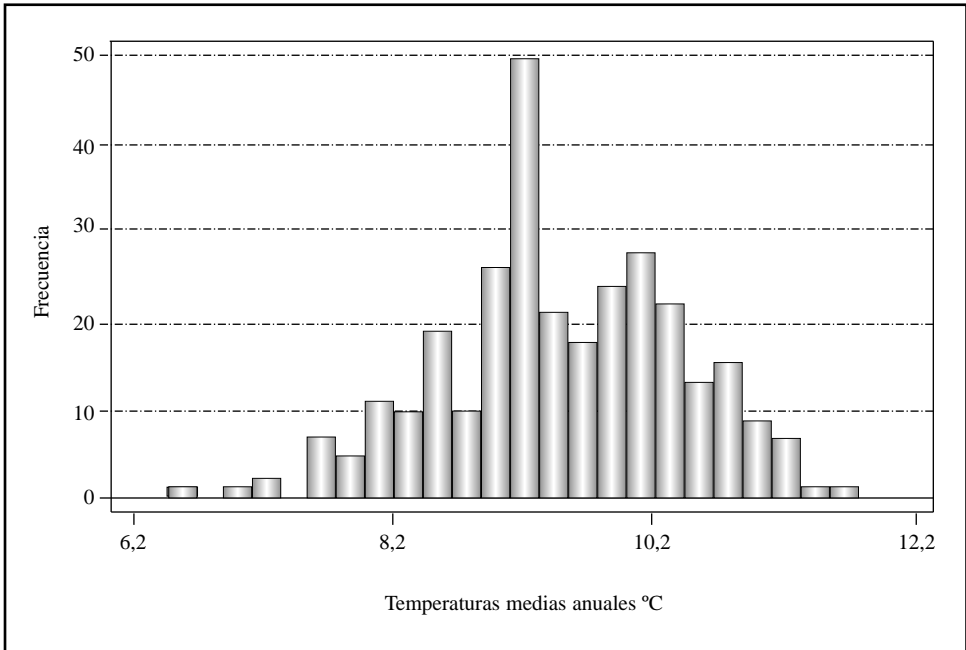


Gráfico 9.– *Histograma de De Bilt.*

nocemos realmente la causa, y sólo alcanzamos a intuir algunas posibles etiologías.

Pero este comportamiento igualmente puede encontrarse en otros lugares, con series más cortas. A modo de ejemplo he aquí el histograma de frecuencias de temperatura de la ciudad de Soria, tal vez la capital de provincia española menos influida por el crecimiento, y apenas por los cambios globales, gráfico 10. También se observa una moda secundaria bastante marcada en temperaturas de 8,4 °C, cuando las modas principales se encuentran sobre 10,3 °C y 10,9 °C. Si se observara la distribución de las temperaturas con el tiempo se verificaría que los años más fríos corresponden a la que hemos denominado «anomalía termométrica finidecimonónica» (Sanz Donaire, 1999b), que está presente en Huesca, Badajoz, etc., aunque no en otras estaciones españolas intermedias. En el gráfico 10, de Soria también se ha ajustado una distribución de Weibull por ser el modelo más idóneo.

Cuando se trabaja con las tendencias se debe ser consciente de que éstas varían según los datos analizados. A modo de ejemplo, en la figura 7, p. 36, se expone los valores de tendencia lineal obtenidos del análisis de la

PRECISIONES A LAS BASES CIENTÍFICAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

serie de De Bilt, con los datos de toda la serie y de los últimos n años. Se consigna la significación estadística, y el signo y valor de la tendencia expresada en grados centígrados por siglo. Lo más llamativo es la ausencia de significación en la tendencia para las series en torno a los últimos 170 años, y, sobre todo, la significación de los datos para la serie desde el año 1857 a la actualidad, pero con carácter negativo.

No cabe duda de que el IPCC ha realizado, conjuntamente con la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA-Instituto Goddard), una notable labor de ampliación de los datos para construir los modelos geográficos correspondientes (cartografía como la de las figuras 8 y 9). Pero, el mapa que se producía en el año 2004, figura 8, p. 37, es elocuente de la carencia de datos para las tres cuartas partes de la Tierra, que

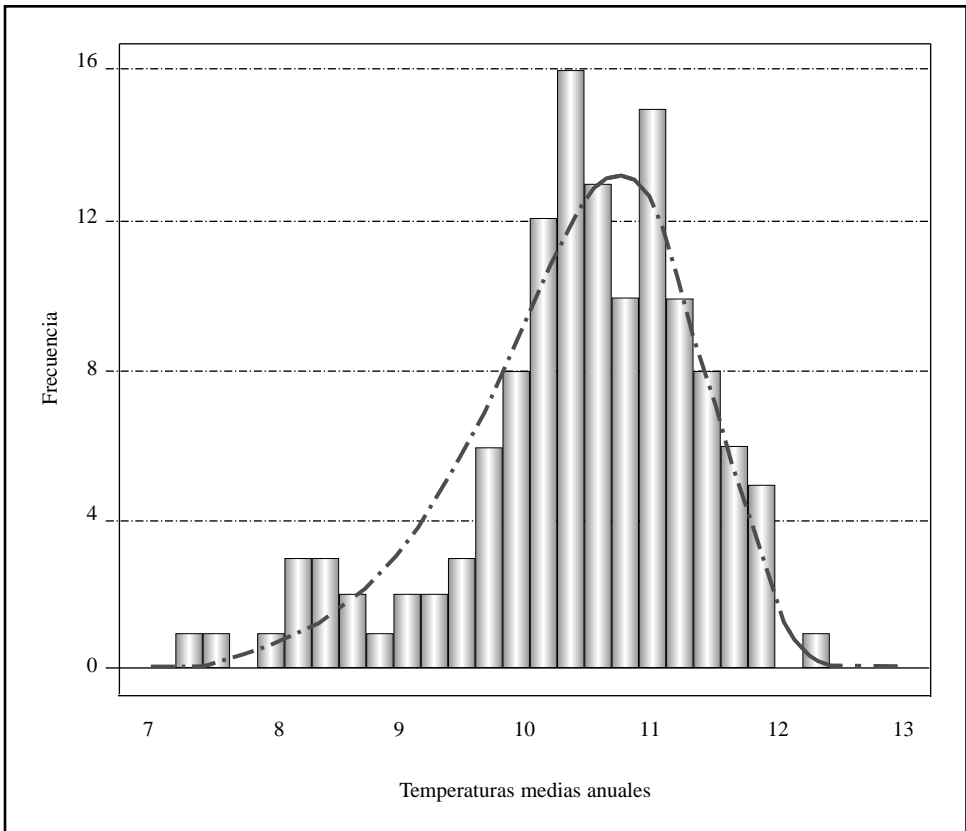


Gráfico 10.– *Soria ajuste de Weibull.*

PRECISIONES A LAS BASES CIENTÍFICAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

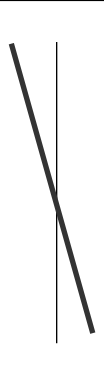

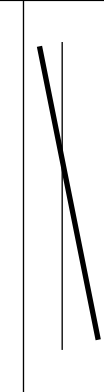
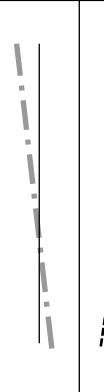



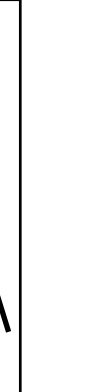
	Años	Significación	Signo	°C/100 a	Descripción gráfica
Toda la serie	301	99	+	0,47	
Últimos	290	99	+	0,47	
	270	99	+	0,53	
	250	99	+	0,51	
	230	99	+	0,52	
	210	99	+	0,49	
	190	95	+	0,21	
	170	No	+	0,03	
	150	95	-	0,37	
	130	No	-	0,22	
	110	No	-	0,32	
	90	No	-	0,17	
	70	No	+	0,51	
	50	99	+	3,10	
	30	99	+	5,80	

Figura 7.- Estación De Bilt (Países Bajos).

PRECISIONES A LAS BASES CIENTÍFICAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

están cubiertas de agua, excepto los aislados de los barcos en rutas mercantes o flotas de guerra a lo largo de estrechos corredores. El IPCC consigna que las boyas con termómetro comienzan a instalarse en la novena década del siglo XX. Sorprende que en el año 2008 la carencia de datos se haya subsanado y aparezca todo el Atlántico o Índico sembrado de información, figura 9, p. 38 y gráfico 11, p. 39. No disponemos de datos termométricos sino de las áreas continentales, hasta que se obtienen los datos terráqueos mediante los sensores adecuados satelitarios. Es innegable la falta de datos en medio del océano para el final del siglo XIX y los dos primeros tercios del siglo XX. Sin embargo, se ha llevado a cabo el relleno y cálculo de los espacios en superficies cada vez más reducidas, con una disminución en la luz de malla de representación elegida, como pone de manifiesto la figura 1, p. 13. Cuatro del IV Informe, figura 10, p. 41. En ella se puede apreciar que se ha ido ampliando la escala hacia un creciente detalle desde el I Informe FAR (*First Assessment Report*) al II (SAR por Second), al III (TAR por Third) hasta el IV (AR4).

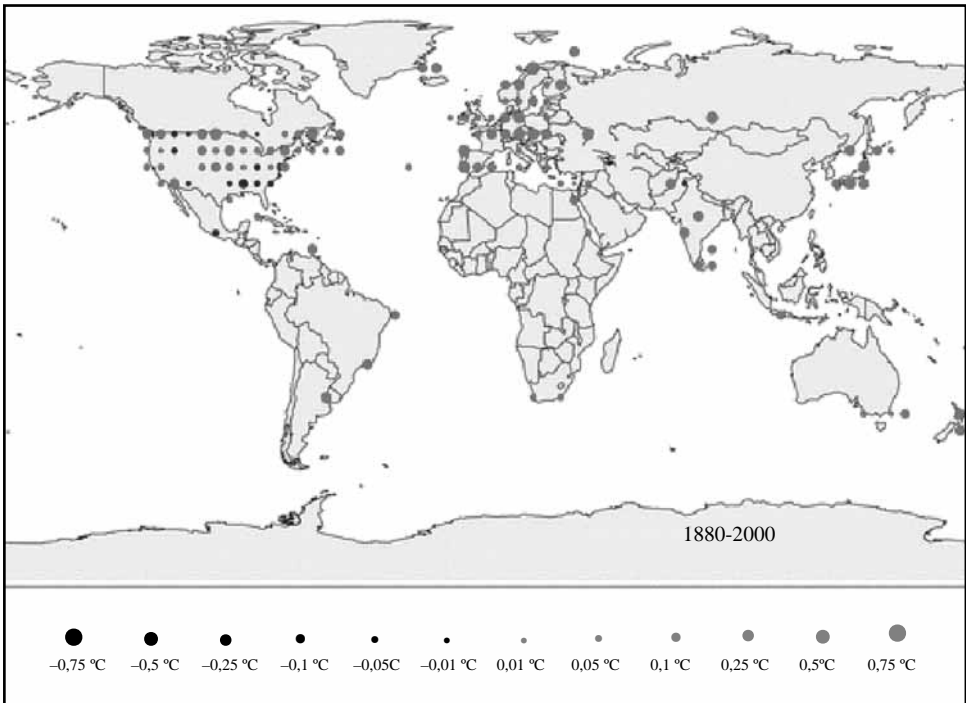


Figura 8.– Carencia de datos para las tres cuartas partes de la Tierra, según gráfico de 2004.

PRECISIONES A LAS BASES CIENTÍFICAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

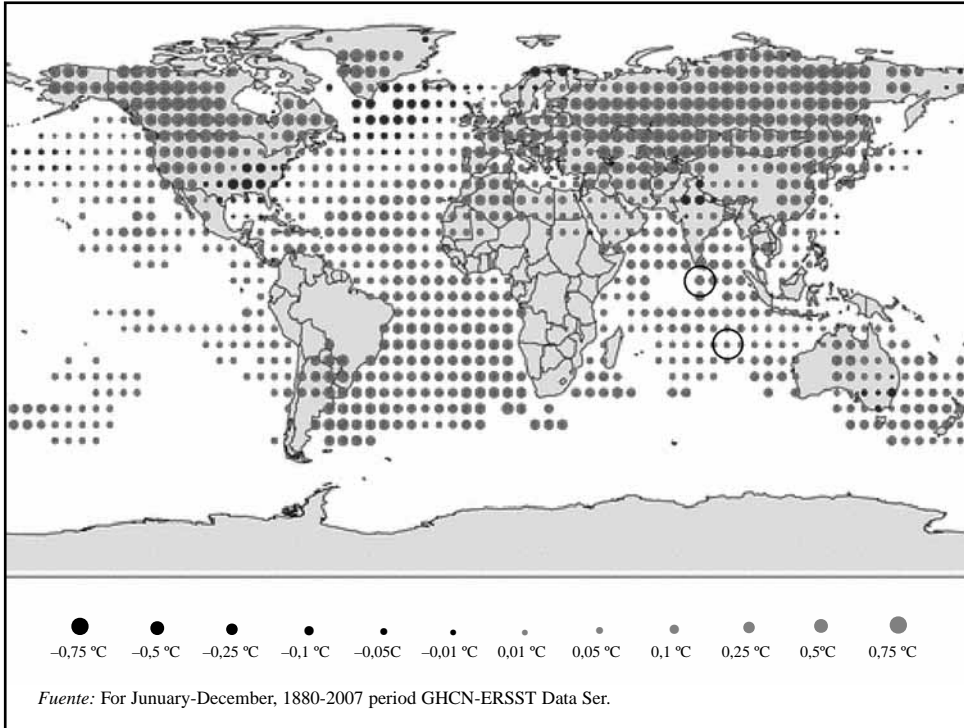


Figura 9.— *Tendencia anual de la temperatura en °C/decenio, según gráfico de 2008.*

En el mar se dan los datos de la temperatura superficial del agua (desde el noveno decenio del siglo XX), tomados por sensores a bordo de satélites, sensores que han cambiado con el paso del tiempo; se mezclan datos de medida tomados en los continentes con los marinos, de significación distinta, aunque se intente paliar esta circunstancia mediante filtrados, medias, homogeneizaciones, y sucesivos tratamientos. Para obviar la carencia de datos sobre el mar se filtran los datos originales termométricos en espacios de hasta 15 grados, lo que significa unos 1.700 kilómetros de distancia: así la estación de Madrid estaría ponderada con la siciliana Catania, la croata Zagreb, la alemana Hannover, la norirlandesa Londonderry, las islas Canarias o El Aaiún, por no entrar en el desierto absoluto del Sáhara de Mauritania o Malí, etc. Las estimaciones son correctas en cuanto a las operaciones, pues siguen los cálculos matemáticos, pero nos preguntamos si son adecuadas para describir la realidad. Mediante una simple interpolación lineal (u otras más complejas) podemos hoy calcular la temperatura en cual-

PRECISIONES A LAS BASES CIENTÍFICAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

quier punto entre otros conocidos, pero ¿quién nos asegura, ante la ausencia de datos reales que lo atestigüen, que las estimaciones son correctas?

En el gráfico 11 se representan los valores anuales de la desviación de la temperatura del mar respecto del periodo de referencia «de un punto» (en realidad el área de 5 grados de latitud por 5 grados de longitud), el «punto» que la figura 8, está resaltado como inmediatamente al Sur del extremo meridional de la India. En el gráfico 11 se agrega «los datos» del círculo a medio camino, en el mapa, entre Madagascar y Australia.

Para la confección del mapa, figura 9 y de los ritmos térmicos, gráficos 11 y 12 se le ha pedido al programa (interactivo) que trabaje con todos los datos y al máximo de significación.

El último Informe proclama haber descendido al detalle geográfico con la utilización de una malla de meridianos y paralelos más cerrada, y en la p. 245 escribe que si bien en el III Informe la representatividad espacial era del 54% del globo, había ascendido en el IV al 71%, estando las áreas tropicales subrepresentadas. En el mismo lugar se informa que «antes del año 1900 no hay suficientes datos para desarrollar mapas globales de tendencias de temperatura máxima y mínima». El cálculo de la temperatura media de la Tierra también se pone en entredicho en Gerlich y Tschuschner (2007), junto a otros argumentos físicos del efecto invernadero.

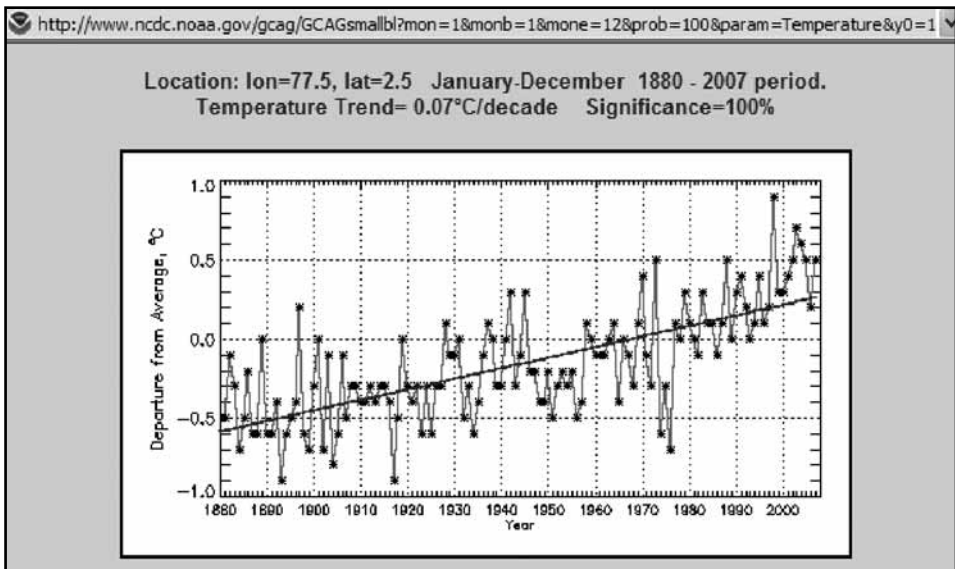


Gráfico 11.– Valores anuales de la desviación de la temperatura del mar.

PRECISIONES A LAS BASES CIENTÍFICAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

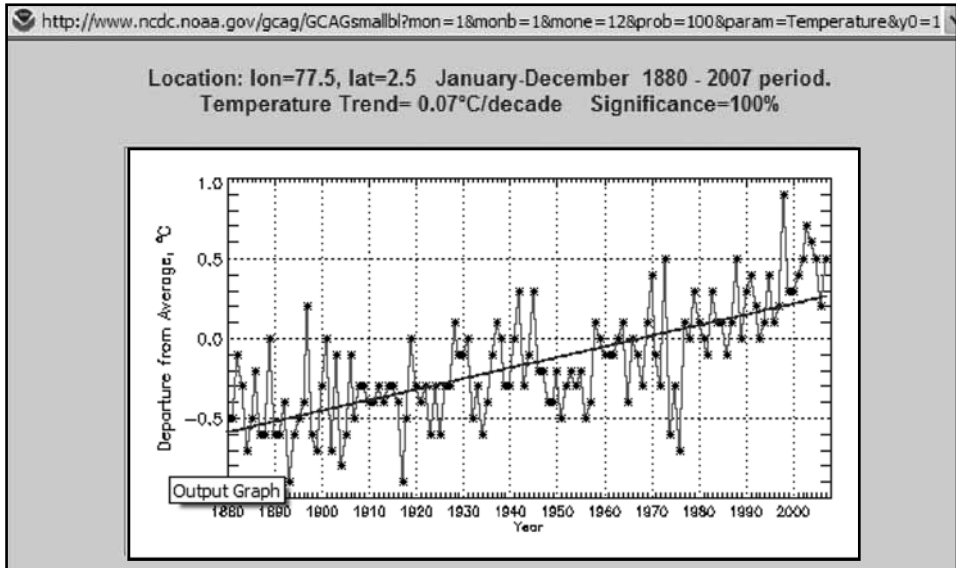


Gráfico 12.- Ritmos térmicos.

La relación con el CO₂

El cambio *climático* no se ha producido, al menos a tenor de lo que admitimos como clima (Pérez González; Llorca Ballester y Sanz Donaire, 2007). Rememoremos las palabras de Balairón (2005), jefe del Servicio de Predicción del Clima de la Agencia Estatal de Meteorología:

«Sin embargo en ningún caso debemos olvidar que, históricamente¹³, la pregunta que da origen a que consideremos el cambio climático como un problema *no* es la observación de calentamientos y cambios locales de clima, sino ¿cuál será la reacción de nuestro sistema climático ante una evolución de las emisiones de dióxido de carbono y otros gases de invernadero tan abrupta como la que se produciría si no modificamos nuestras conductas en cuanto a energía, demografía y desarrollo económico?»

¹³ El autor se refiere al conjunto de tiempo transcurrido desde que comenzara el «cambio climático» a comienzos de la décima década del siglo pasado.

PRECISIONES A LAS BASES CIENTÍFICAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

No obstante, de producirse, parece que se presentaría de la mano de un aumento en las concentraciones de CO₂, de las que se dice son su causa y con las que se correlaciona muy ajustadamente.

Para ahondar en este problema he realizado algunos gráficos que a continuación expongo.

En el gráfico 13, p. 42 (datos extraídos de Juozel *et al.*, 1987; Petit, Jouzel *et al.*, 1999) se puede observar que, para tiempos geológicos, las diferencias de temperatura respecto de los valores actuales preceden a los cambios en la concentración de CO₂ que tiene la atmósfera, especialmente cuando se observa una disminución de ambos; en el caso de ascensos los dos poligonales se aproximan bastante. Este hecho siempre se ha explicado a través del siguiente mecanismo: el contenido en gases del agua (marina, el mayor almacén terrestre) tiene una relación inversa con la temperatura (a mayor temperatura, mayor grado de agitación de las moléculas de gas disuelto en el líquido y más propicia la oportunidad de escaparse). En principio desconocemos si, al trabajar con periodos de tiempo más cortos, estas pautas temporales se mantienen.

Fíjese el lector en que la escala horizontal, temporal, es proporcional al tiempo transcurrido. Así dos valores que aparecen consecutivos en el gráfico responden, en el extremo izquierdo del gráfico a valores cada 600-500 años,

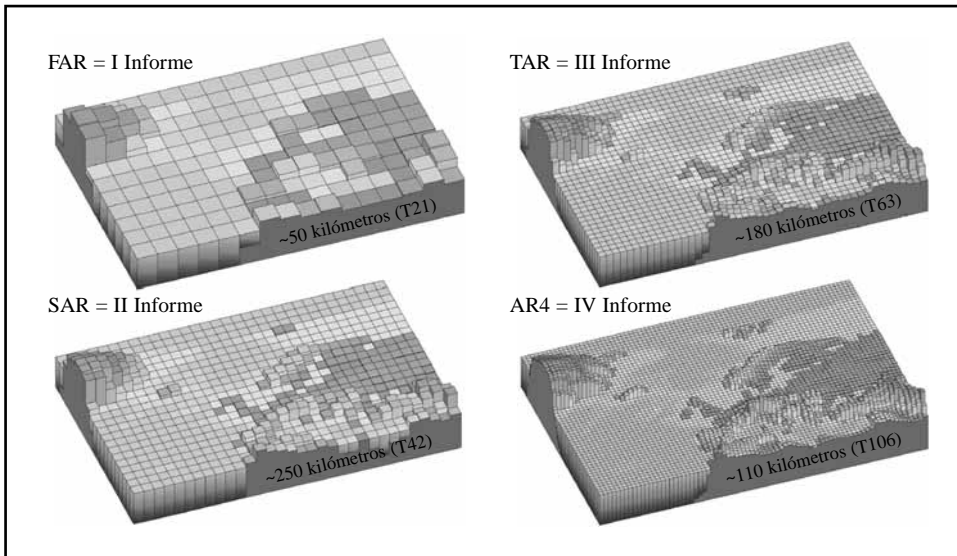


Figura 10.– Cambio de la cédula en los modelos de los sucesivos Informes del IPCC.

PRECISIONES A LAS BASES CIENTÍFICAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

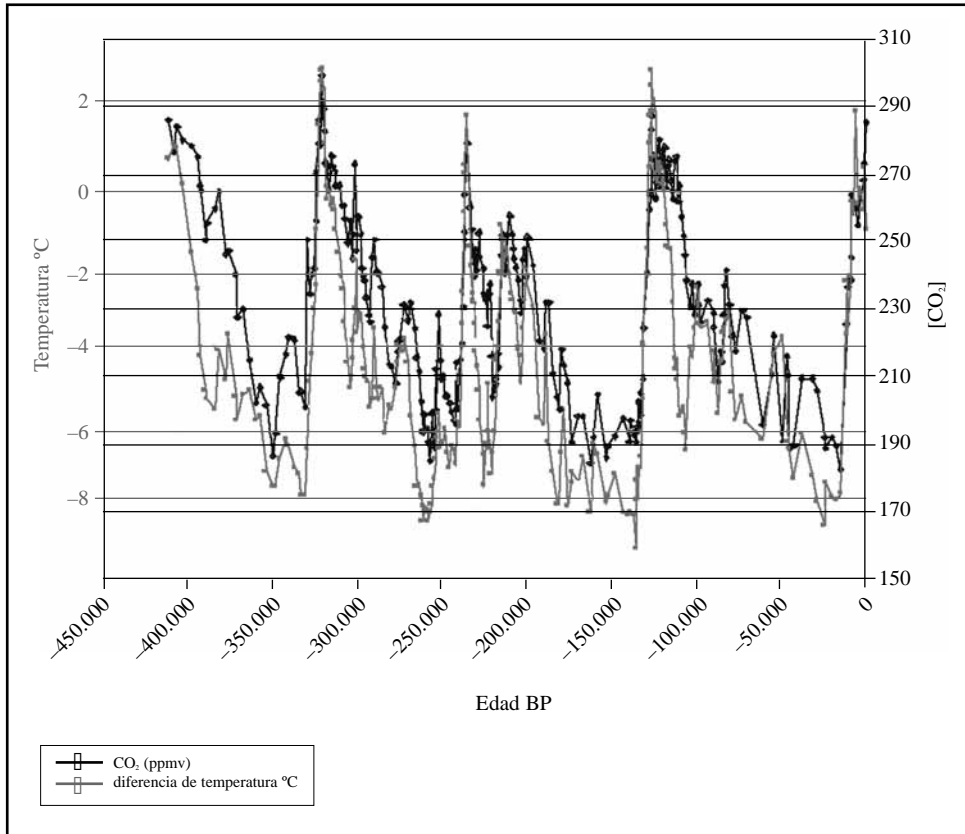


Gráfico 13.– Estación Vostok (Antártida).

mientras que en el extremo derecho del dibujo se han reducido a 40 años. Las edades se dan para tiempos BP (*Before Present* = anteriores al año 1950 d.C.). Conviene advertir que la edad es calculada, por lo que tiene un grado de error, que se va acrecentando con la antigüedad de los datos. Al propio tiempo también debe consignarse que estos datos corresponden a una única estación, la soviética-rusa de Vostok, si bien a tres sondeos, por la dificultad que tiene el encontrar hielo de tanta antigüedad, lo que sólo es posible en la Antártida y en el casquete groenlandés. De todo lo anterior se desprende que la relación de causalidad entre la concentración del CO₂ y la temperatura a escala geológica es discutible: ¿puede establecerse esta relación de causa-efecto entre acontecimientos separados 10.000 o 6.000 años entre sí? Diez mil años son los transcurridos desde que el casquete de hielo escandinavo se partió en dos,

PRECISIONES A LAS BASES CIENTÍFICAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

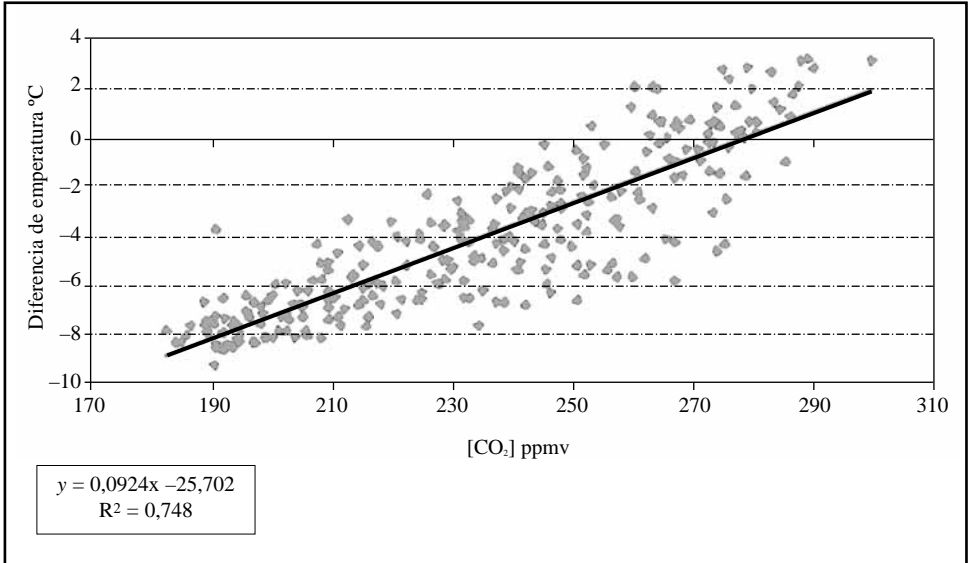


Gráfico 14.– Relación entre CO₂ y temperatura (estación Vostok).

evento que se utiliza para dar comienzo al periodo geológico en el que nos encontramos: el Holoceno. ¿Llamaríamos causa a un acontecimiento de esa época cuando sus posibles efectos se observaran ahora?

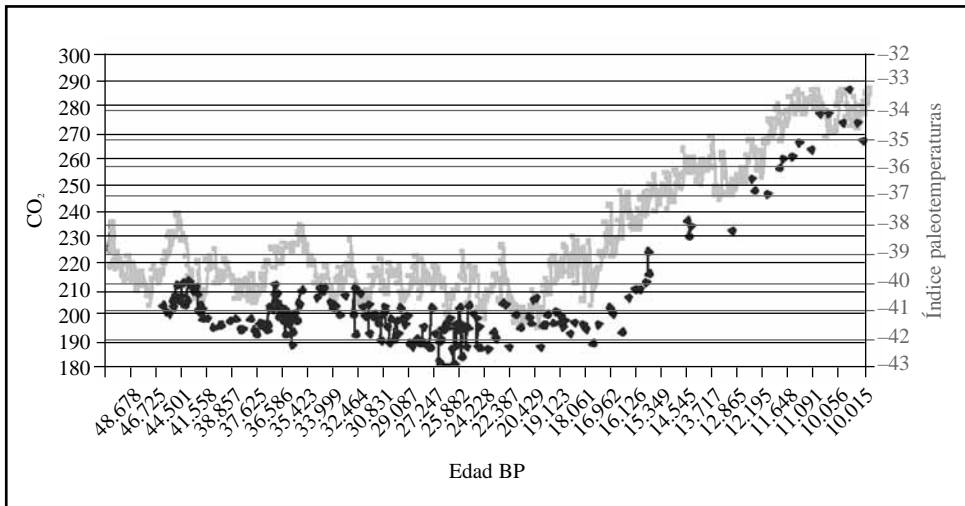


Gráfico 15.– Régimen de temperatura y concentración de CO₂ (estación Byrd).

PRECISIONES A LAS BASES CIENTÍFICAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

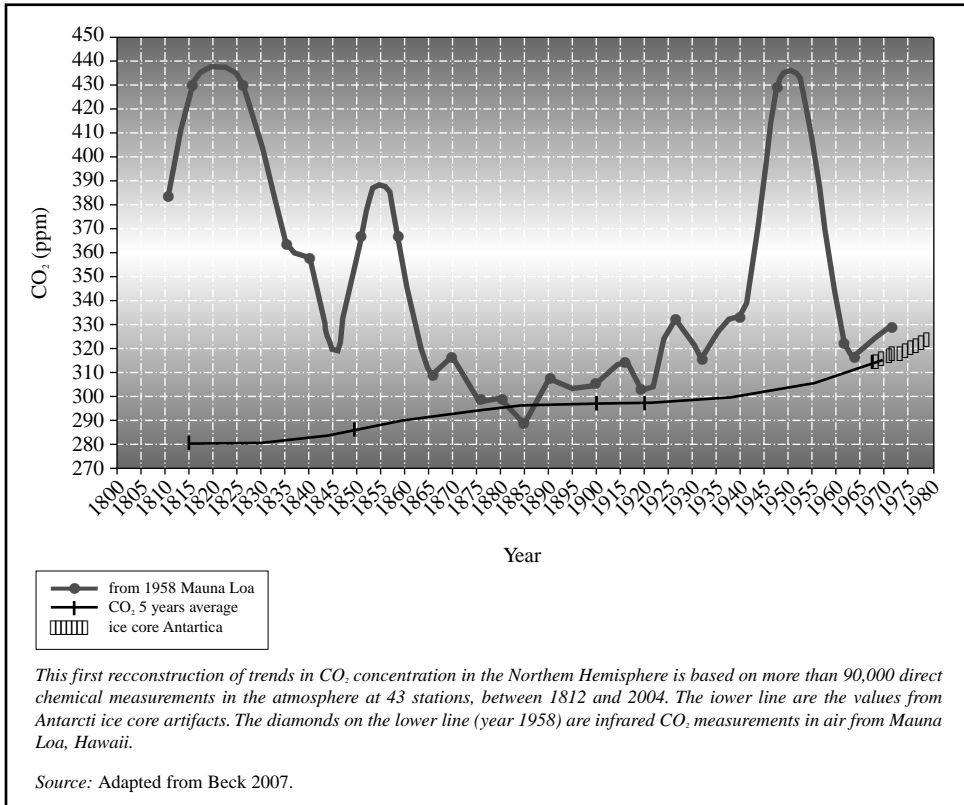


Gráfico 16.– Variación de la concentración de CO₂ en el HN a partir de datos químicos.

También se suele comentar que la correlación entre la concentración de CO₂ y variación de la temperatura es alta. Para ello hemos calculado ésta a través del coeficiente de determinación, ($R^2 = 0,748$), que implicaría que están explicados el 74,8% de los datos (relación moderadamente fuerte), pero tiene significación estadística al 99% de nivel de confianza gráfico 14. Los datos, como en el caso anterior, están tomados de Petit y Jouzel.

Si trabajamos a una escala de tiempo de mayor detalle (Neftel *et al.*, 1988), para los últimos 50.000-10.000 años, según datos también de la Antártida, se corrobora lo que se había observado para los últimos 450.000 años: por el índice de paleotemperaturas sabemos que es la temperatura la que precede a las variaciones en la concentración de CO₂, gráfico 15. Voluntariamente voy a obviar las dificultades que tiene el conocer la concentración de CO₂ a partir de la muy agresiva técnica de extraerlo de los

PRECISIONES A LAS BASES CIENTÍFICAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

testigos de los sondeos y que se ha estimado que rebajan en un 30-50% los valores reales (Jaworowski, 2008; p. 59).

Las pautas que se obtienen para casos más recientes, ejemplificados en el gráfico 16, son más cambiantes. Sin embargo en otros autores, Fischer *et al.* (1999), se insiste en que la subida en el CO₂ se encuentra retrasada unos 600 ± 400 años respecto del aumento de la temperatura.

Este hecho pone de manifiesto que las pautas de un lugar no son generalizables ni extrapolables al resto del planeta, sino que tienen una representatividad sólo local, y por lo general mal conocida.

El gráfico 17 (en el vídeo del señor Al Gore, 2006, a partir del momento 21 minutos 53 segundos) aúna la variación de la temperatura y la concentración de CO₂ con el incremento (en gris) de la actual subida (para

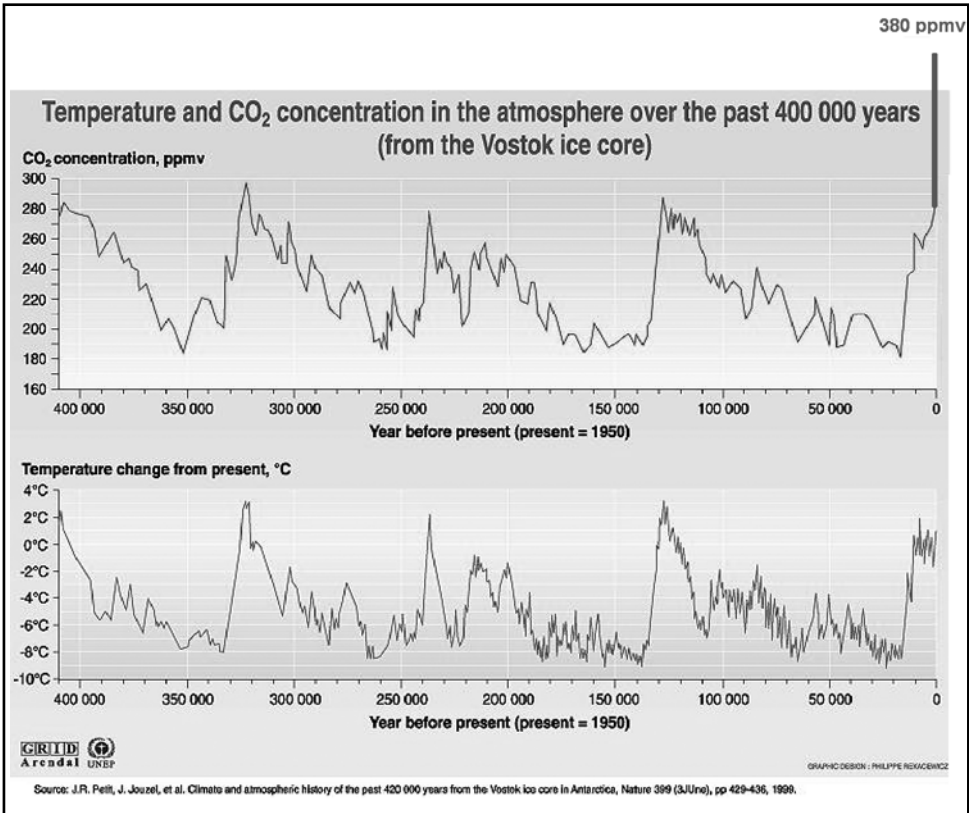


Gráfico 17.– Variaciones de la concentración de CO₂ atmosférico y de la temperatura a lo largo de los últimos 400.000 años (estación Vostok).

PRECISIONES A LAS BASES CIENTÍFICAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

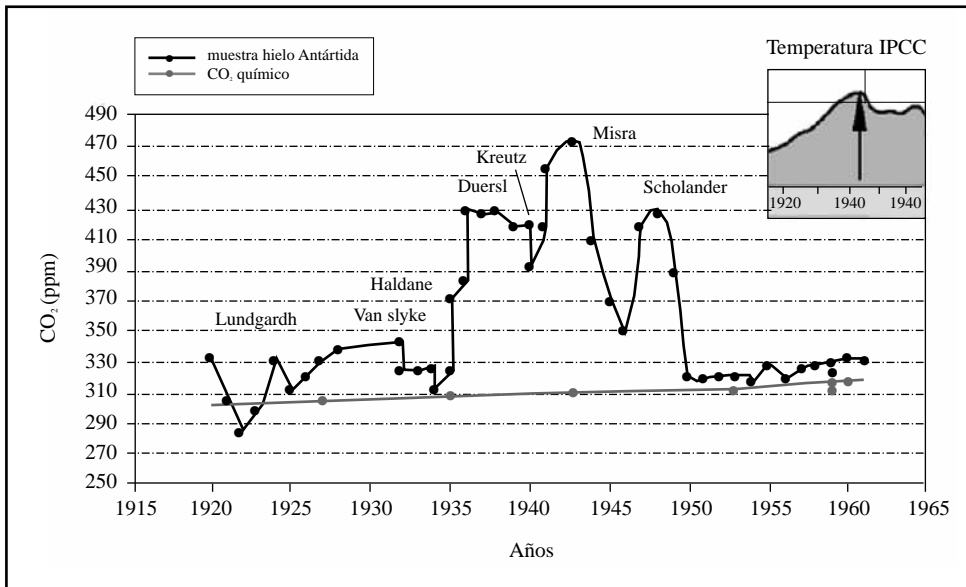


Gráfico 18.– CO_2 1920-1961, HN, química.

algunos antropogénica). Si la relación fuera directa, y el CO_2 la causa de la temperatura, ¿cómo es que no existe el consecuente disparo de la temperatura? A esta escala el aumento realmente restringido de 0,6 grados prácticamente no se nota.

Se ha discutido mucho el papel que el CO_2 representa en el calentamiento. Mientras que algunos autores, y éstos han sido los seleccionados por el IPCC, sólo tienen en cuenta los datos de la Antártida como válidos, hay otros que se refieren a las medidas realizadas en otros ámbitos (Beck, 2007). Cuando se comparan unos y otros sorprende la simplicidad del aumento en los datos antárticos frente a los europeos y en general del HN. En estos últimos se muestran valores de concentración de CO_2 atmosférico muy similares a –e incluso mayores que– los datos actuales (que se dice están promediados). A tal efecto véase el gráfico 18, donde se consigna los autores de las medidas del llamado dióxido químico (medido por análisis químicos).

Beck, el autor del trabajo, refiriéndose a Callendar y Keeling –los padres de la moderna teoría de la causalidad CO_2 -calentamiento–, se plantea (p. 280):

PRECISIONES A LAS BASES CIENTÍFICAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

«¿Han descartado estos autores de manera sistemática una enorme cantidad de estudios técnicos válidos y viejas determinaciones del CO₂ porque no se ajustaban a su hipótesis?»

Con esta cuestión volvemos sobre la duda que nos asaltaba al comienzo del capítulo de que la revisión de los trabajos se había hecho a partir de la relevancia para la intervención de la actividad humana en el clima.

Finalmente he procedido al dibujo conjunto de las temperaturas (en realidad desviaciones de temperatura anual respecto de la media 1961-1990) según datos de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA) y la concentración de CO₂ a partir de los datos del *Mauna Loa* (volcán hawaiano que en el IPCC suele tomarse como realidad de cómo asciende la concentración en la Tierra) (doctor Pieter Tans, NOAA/ESRL (www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/)). Del gráfico 19 se desprende que aunque el aumento de temperatura cambie de signo, la concentración del gas de efecto invernadero sube paulatina pero inexorablemente. No entraré aquí en la discusión sobre si los datos de una y otra fuente son representativos, lo que se discute mucho, especialmente al no ser las cifras del volcán activo *Mauna Loa* (que emite anhídrido carbónico de modo natural, y cuyas cifras tienen que retocarse) correspondidas por las del aire atrapado en los testigos de hielo de los sondeos antárticos para tiempos recientes (Jaworowski, 2008). La relación CO₂-temperatura, hipótesis sostenida, entre otros, por el director del Instituto Goddard de la

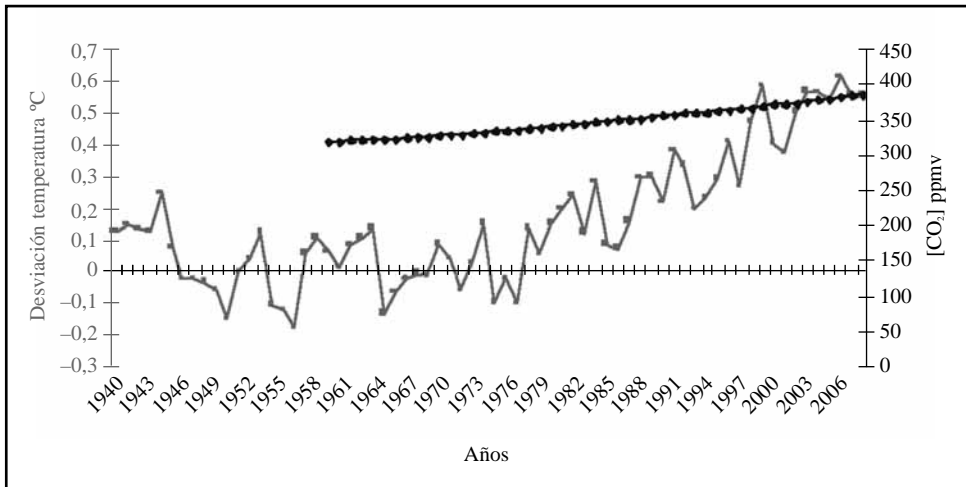


Gráfico 19.– Relación reciente CO₂-temperatura.

PRECISIONES A LAS BASES CIENTÍFICAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

NASA (Hansen *et al.*, 2006) también se discute en Kienast *et al.* (2008) a partir de datos del *permafrost* (suelo permanentemente helado) de la isla ártica siberiana Bolshoy Lyajovsky, donde con concentraciones más bajas que las actuales se registraron temperaturas más elevadas que las de hoy.

A modo de conclusión

Otro capítulo podría estar relacionado con los modelos climáticos, de los que sólo se adelantó que estaban contruidos con las mismas herramientas que los meteorológicos, siendo éstos bastante deficientes al superar los tres o cuatro días de pronóstico. De un modo general cabe decir que los modelos «corren» bien, en el sentido literal, que hacen las múltiples



Bienvenido Benvinguts Benvidos Benwingsuts Ongietorri Welcome Bienvenue

Enlaces | Noticias | Mapa Web | Ayuda Web | Contactar

GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE MEDIOAMBIENTE Y MEDIO RURAL Y TURISMO AEMET Agencia Estatal de Meteorología

Buscar

Inicio > El Clima > Cambio Climático > Escenarios Climáticos

Enlaces Asociados

Escenarios de Cambio Climático

Los escenarios regionalizados de cambio climático son las proyecciones de evolución del clima para el siglo XXI para diferentes supuestos de emisión de gases de efecto invernadero.

Las proyecciones regionalizadas de cambio climático sobre España están especialmente pensadas para su utilización para el análisis de impactos y adaptación al cambio climático como una información adicional necesaria para su planificación estratégica. La regionalización se refiere al proceso de reducción de escala (*downscaling*) para adaptar las proyecciones de gran escala generadas por los modelos climáticos globales a las características regionales o locales muy influidas por la orografía, contraste tierra-agua, uso de suelo, etc.

La colección de proyecciones regionalizadas disponible en esta página constituye una primera entrega de datos de proyecciones climáticas. Pretende ser el punto de partida de un flujo continuo de datos para el análisis de impactos, que se irá revisando y refinando sucesivamente mediante la utilización de los resultados más recientes de integraciones globales y la incorporación de técnicas de regionalización cada vez más perfeccionadas.

Los diferentes proyecciones regionalizadas de cambio climático están basadas en distintos escenarios de emisión, distintos modelos globales y distintas técnicas de regionalización de forma que los diferentes usuarios puedan utilizar una colección de proyecciones como datos de entrada a sus modelos de impactos y de esta forma evaluar los rangos de incertidumbres de las variables utilizadas para cuantificar los impactos.

Para acceder a los ficheros numéricos de los escenarios regionalizados de Cambio Climático para España deben enviar un email a la dirección escenarios@inm.es con sus datos personales, institución a la que pertenecen y una breve descripción del proyecto para el que dichos datos van a ser utilizados. Una vez gestionada su solicitud, si reúne los requisitos exigibles, recibirá un mensaje de confirmación con los datos necesarios para el acceso.

Descargo de responsabilidad:

Las proyecciones climáticas se basan en resultados de modelos informáticos que implican simplificaciones de procesos físicos reales que actualmente no se comprenden totalmente. En consecuencia, la AEMET no asume responsabilidad por la precisión de las proyecciones climáticas aquí disponibles, ni por las interpretaciones, deducciones, conclusiones o acciones realizadas por cualquier persona en relación con esta información.

Figura 11.– Descargo de responsabilidad.

operaciones que se han programado con celeridad. Pero, ¿representan correctamente la realidad a la que, de un modo simplista, suplantán?

Cuando un usuario accede a la página *web* de la Agencia Estatal de Meteorología, en el apartado de «Clima» y subapartado de «Cambio climático» se encuentra con el siguiente «descargo de responsabilidad», que se ha destacado en la figura 11. Parece evidente que el descargo de responsabilidad es para no tener que sufragar costes emanados de decisiones tomadas sobre la base de los modelos.

Algunos estudiosos del clima que tradicionalmente estamos acostumbrados a analizar los profundos cambios de la superficie del planeta, hemos observado siempre la variabilidad del clima, y apoyándonos en las fuentes paleogeográficas, de entre las que destacan las paleoambientales y paleotérmicas, somos conscientes de los cambios que se han producido y se siguen produciendo en el clima. Hasta ahora no se ha apelado al hombre como factor de los cambios, entre otras cosas porque no existía una teoría que relacionase su actividad con los posibles cambios. Hoy existe esta teoría (que no comprobación), pues, como hemos insistido, los estudios realizados no son climáticos, y los cambios pueden perfectamente inscribirse en la variabilidad natural que es elevada, en el modo de tomar y elaborar los datos, etc. El análisis de los espacios terrestres hasta ahora se realizaba con gran prudencia, pues se era consciente de la complejidad de los procesos. En definitiva, si se trabajase más a escalas generales, aunque no globales (recuérdese que tres cuartos del globo son agua, de la que se tienen datos sólo desde hace apenas 30 años), los análisis arrojarían la gran variabilidad espacial. Ante la falta de datos se impone el modelo, basado en la realidad pero que no puede llegar a sustituirla.

La llamada a la acción, toda vez que el tiempo de la investigación ya se ha pasado, es unánime en el colectivo ecológico, hasta el punto de que el título del último Congreso Nacional de Medio Ambiente (celebrado en Madrid entre los días 1 y 5 de diciembre de 2008) exponía: «El reto es actuar». Véase igualmente la propuesta del ecologismo en la página *web* *350.org* basada en el umbral que, entre otros autores, ha señalado Hansen como punto crítico de no retorno en las concentraciones del CO₂ atmosférico. Ya no se atiende a razones, sino que se organiza y coordina el activismo. Frente a tanto ecoalarmismo yo propondría una más pausada georreflexión y una continuidad en las pesquisas, que tengan en cuenta las grandes incertidumbres de muchos de los argumentos esgrimidos por el «cambio climático».

PRECISIONES A LAS BASES CIENTÍFICAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Bibliografía

- ALCALDE, J. (2007): *Las mentiras del cambio climático*, Libros Libres, 300 p. Madrid.
- BALAIRÓN RUIZ, L. (1995): «Ordenadores, matemáticas y clima. Los límites de la predictibilidad en meteorología», revista *Estratos*, números 34, pp. 4-11, Enresa, Madrid.
- (2005): «El cambio climático: interacciones entre los sistemas humanos y naturales», en SANZ DONAIRE J. J. (coord.): «Mitos y realidades del cambio climático», *Estudios Económicos*, números 3-4, pp. 127-176, de la Revista del Instituto de Estudios Económicos.
- BECK, E. G. (2007): «180 years of atmospheric CO₂ analysis by chemical methods», *Energy & Environment*, volumen 18, número 2, pp. 259-282.
- BERNER, R. and KOTHAVALA, Z. (2001): «GEOCARB III: a revised model of atmospheric CO₂ over phanerozoic time», *American Journal of Science*, volumen 301, pp. 182-204, febrero de 2001.
- BLUNIER T.; CHAPPELLAZ, J. and STAUFFER, B. (1998): GRIP (*Antarctic and Greenland Synchronization Data*), IGBP PAGES/World Data Center-A for Paleoclimatology Data Contribution Series #1998-034, NOAA/NGDC Paleoclimatology Program, Boulder CO, USA.
- DRONIA, H. (1967): «Der Stadteinfluß auf den weltweiten Temperaturtrend», *Meteor. Abh.*, Freie Universität de Berlín, tomo 74, 65 p.
- FISCHER, H.; WAHLEN, M.; SMITH, J.; MASTROIANNI, D. and DECK, B. (1999): «Ice core records of atmospheric CO₂ around the last three glacial terminations», *Science*, volumen 283, pp. 1.712-1.714.
- GERLICH, G. and TSCHUSCHNER, R. (2007): *Falsification of the atmospheric CO₂ greenhouse effects within the frame of physics*, arXiv:0707.116 (physics.ao-ph) 11 de septiembre de 2007, 114 p.
- GORE, A. (2006): *Una verdad incómoda*, vídeo de la Paramount Pictures y libro publicado en español por Gedisa, 326 p.
- HANSEN, J.; SATO, M.; RUEDY, R.; LO, K.; LEA, D. W. and MEDINA-ELIZADE, M. (2006): «Global temperature change», *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 103, pp. 14.288-14.293.
- HOLGATE, S.; JEVREJEVA, S.; WOODWORTH, P. and GORDON, K. (2004): *The permanent service for mean sea level*, disponible en: www.pol.ac.uk/psmsl.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGÍA (1996): «El cambio climático», ciclo de Conferencias en la Fundación «Ramón Areces», Madrid.
- IPCC, 2007: Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (Solomon, S.; D. Qin; M. Manning; Z. Chen; M. Marquis; K. B. Averyt; M. Tignor and H. L. Miller [eds.]): Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

PRECISIONES A LAS BASES CIENTÍFICAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

- *Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de Trabajo 1, 2 y 3 al IV Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático* (equipo de redacción principal: Pachauri, R. K. and REISINGER, A. (directores de la publicación): IPCC, 104 p., Ginebra, Suiza.
- JAWOROWSKI, Z. (2008): «A critical review of the draft U.S. Climate Change Report», EIR, pp. 56-63, 29 de agosto de 2008.
- JOUZEL, J.; C. LORIUS; J. R. PETIT; C. GENTHON; N. I. BARKOV; V. M. KOTLYAKOV and V. M. PETROV (1987): «Vostok ice core: A continuous isotope temperature record over the last climatic cycle (160,000 years)», *Nature*, 329, pp. 403-408.
- KIENAST, F.; TARASOV, P.; SCHIRRMESTER, L.; GROSSE, G. and ANDREEV, A. A. (2008): «Continental climate in the East Siberian Arctic during the last interglacial: Implications from palaeobotanical records», *Global and Planetary Change*, 60, pp. 535-562.
- LABOVITZ, S. (1968): «Criteria for selecting a significance level. A note on the sacredness of 0,05», *The American Sociologist*, volumen 3, pp. 200-220.
- LEULIETTE, E. W.; NEREM, R. S. and MITCHUM, G. T. (2004): «Calibration of TOPEX/Poseidon and Jason altimeter data to construct a continuous record of mean sea level change», *Marine Geodesy*, 27, pp. 79-94.
- LOMBORG, B. (2008): *En frío. La guía del ecologista escéptico para el cambio climático*, editorial Espasa, 284 p. Madrid.
- MONNIN, E., *et al.*, (2001): *Dome C Last Glacial Termination Atmospheric CO₂ Data*, IGBP PAGES/World Data Center A for Paleoclimatology Data Contribution Series #2001-004. NOAA/NGDC Paleoclimatology Program, Boulder CO, USA.
- NEFTEL, A.; H. OESCHGER; T. STAFFELBACH and B. STAUFFER (1988): «CO₂ record in the Byrd ice core 50,000-5,000 years BP», *Nature*, 331, pp. 609-611.
- NEUBERGER, H. and CAHIR, J. (1969): *Principles of Climatology. A Manual in Earth Science*, New York, Holt, 178 p., Rinehart and Winston.
- OJEDA MARTÍN, M.^a Rosario (inédito): *El cambio climático en España*, Madrid.
- PAGNEY, P. (1973): «La climatologie», París, Presses Universitaires de France, colección *Que sais-je?*, número 171.
- PÉREZ GONZÁLEZ, M.^a E. (2005): «El cambio climático y las temperaturas», en SANZ DONAIRE, J. J. (coord.): «Mitos y realidades del cambio climático», *Revista del Instituto de Economía*, pp. 177-208.
- PÉREZ GONZÁLEZ, M.^a E. y GARCÍA RODRÍGUEZ, M.^a P. (2006): «Críticas al cambio climático a partir de la evolución de la temperatura en El Atlántico Norte», *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 26, pp. 95-116.
- (2007a). «Evolución de la temperatura del Pacífico a lo largo del periodo instrumental», *M+A, Revista electrónica de Medioambiente*, 3, Universidad Complutense de Madrid, pp. 23-52.

PRECISIONES A LAS BASES CIENTÍFICAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

- (2007b): «La temperatura del aire en el Pacífico Sur: ¿hay unanimidad de tendencias?», homenaje al profesor Casas Torres, Universidad Complutense de Madrid, pp. 181-198.
- PÉREZ GONZÁLEZ, M.^a E.; LLORCA BALLESTER, J. y SANZ DONAIRE, J. J. (2007): «Evolución de la temperatura superficial desde el siglo XVIII», *Nimbus*, 19-20, pp. 233-272.
- PETTIT, J. R. and JOUZEL, J. *et al.* (1999): «Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core in Antarctica», *Nature*, 399, pp. 429-436.
- SANZ DONAIRE, J. J. (1999a): «La climatologie est morte! Vive la climatologie! Reflexiones sobre el cambio climático», *Estudios Geográficos*, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, tomo LX, pp. 467-486, Madrid.
- (1999b): «Escepticismo al “cambio climático”: el ejemplo de las temperaturas», *Nimbus*, número 4, pp. 173-198, Almería.
- (2000): «A propósito del cambio climático: una “nueva” definición de clima», pp. 285-294. En MANERO, F. (ed.): *Espacio natural y dinámicas territoriales*, Homenaje al doctor don Jesús García Fernández, Universidad de Valladolid, 694 p.
- (2005): «La problemática de las precipitaciones en el marco del cambio climático», en SANZ DONAIRE, J. J. (coord.): «Mitos y realidades del cambio climático», *Revista del Instituto de Economía*, pp. 25-76.
- (2007): «Dudas ante el cambio climático», *Boletín das Ciencias, Enciga*, número 63, pp. 119-174, Santiago de Compostela.
- (2008): «Comentario crítico al Avance para políticos del Grupo de Trabajo número 1 del IV Informe del IPCC dado a la publicidad en febrero de 2007», pp. 503-536, homenaje a Joaquín Bosque Maurel, Real Sociedad Geográfica, Madrid.
- SINGER, S. F. (ed.) (2008): *Nature, Not Human Activity, Rules the Climate: Summary for Policymakers of the Report of the Nongovernmental International Panel on Climate Change*, Chicago, IL: The Heartland Institute.
- SPENCER, R. W. (2008): *Climate Confusion. How Global Warming Hysteria Leads to Bad Science, Pandering Politicians and Misguided Policies that Hurt the Poor*, New York, 191 p., Encounter Books.
- SVENSMARK, H. and CALDER, N. (2007): *The Chilling Stars: A New Theory of Climate Change*, Cambridge, Icon Books, Ltd.
- URIARTE CANTOLLA, A. (2003): *Historia del clima*, 306 p., Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco.
- En: <http://www.sepp.org/publications/NIPCCfinal.pdf>

JUAN JOSÉ SANZ DONAIRE
Catedrático de Geografía Física
de la Universidad Complutense de Madrid
y de la Real Sociedad Geográfica

ENERGÍAS FÓSILES Y CAMBIO CLIMÁTICO

Evolución del consumo de energías fósiles

En el *World Energy Outlook* de la Agencia Internacional de la Energía (AIE) realizado en el presente año, se prevé la siguiente evolución del consumo de energía primaria, cuadro 1.

Puede apreciarse, por un lado, el crecimiento del consumo de energía primaria entre los años 2006 y 2030 (+45%) y, por otro, que se mantiene la participación de las energías fósiles en el 81% y, consecuentemente, las emisiones de CO₂ se incrementan en el 45% distribuidas de manera muy desigual entre los países de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) y el resto del mundo, cuadro 2, p. 54.

Cuadro 1.– Evolución del consumo mundial de energía primaria, años 1990-2030. AIE, noviembre de 2008.

Energías	Años							
	1900		2006		2020		2030	
	MTep	Porcentaje	MTep	Porcentaje	MTep	Porcentaje	MTep	Porcentaje
Fósiles	7.110	81	9.489	81	12.248	81	13.687	81
Nuclear	525	6	728	6	842	6	901	5
Hidroeléctrica	185	2	261	2	353	2	414	2
Biomásas	902	10	1.186	10	1.465	10	1.662	10
Otras renovables	36	–	66	1	215	1	350	2
<i>TOTAL</i>	<i>8.758</i>	<i>100</i>	<i>11.730</i>	<i>100</i>	<i>15.123</i>	<i>100</i>	<i>17.014</i>	<i>100</i>

ENERGÍAS FÓSILES Y CAMBIO CLIMÁTICO

Cuadro 2.– Evolución regional de las emisiones de CO₂, años 1990-2030. AIE noviembre de 2008 (no incluye búnker marino y aviación internacional).

Áreas y países	Años							
	1990		2006		2020		2030	
	Gt	Porcentaje	Gt	Porcentaje	Gt	Porcentaje	Gt	Porcentaje
OCDE	11,04	54	12,79	47	13,31	38	13,17	33
Resto del mundo	9,29	46	14,12	53	21,89	62	26,02	67
<i>TOTAL</i>	20,33	100	26,91	100	35,20	100	39,19	100
Estados Unidos	4,85	23	5,67	21	5,77	16	5,80	15
Unión Europea	4,04	19	3,94	15	3,95	11	3,75	10

Se observa que las emisiones de CO₂ en los países de la OCDE aumentan desde 1990 a 2020 y decrecen a partir de este año, mientras que en el resto del mundo aumentan de modo continuado en el periodo de manera tal que pasan de representar el 46% de las emisiones en el año 1990 al 66% en el año 2030. La razón de esta evolución es clara. Los países no desarrollados entienden que necesitan sustentar su desarrollo económico en energía lo más barata posible aún cuando sea fuertemente emisora de gases de efecto invernadero argumentando que así lo hicieron los países desarrollados a lo largo de los siglos XIX y XX. Por el contrario, los países desarrollados también están dispuestos a utilizar energías más caras pero menos contaminantes.

Las emisiones de CO₂ en la Unión Europea serían en el año 2020 un 2,3% inferiores a las de 1990 y similares a las de 2006, es decir, muy alejadas del objetivo 20/20/20 para el año 2020 (consumo de energía –20%, emisiones de CO₂ –20% y energías renovables 20%). En efecto, el consumo de energía sería un 15% superior al de 1990 y un 5% superior al de 2006 y las energías renovables representarían el 12,6%. Tampoco se alcanzaría una participación de los biocarburantes del 10% en el consumo en carretera, que difícilmente alcanzaría el 7% en dicho año.

Las emisiones totales de gases de efecto invernadero pasarían de 44 Gt en el año 2005 a 60 Gt en 2030 (+35%). Por tanto, la participación de las emisiones de CO₂ se incrementaría del 61% en el año 2005 al 68% en 2030. La evolución indicada en los cuadros 1 y 2, hasta final del siglo XXI,

ENERGÍAS FÓSILES Y CAMBIO CLIMÁTICO

implicaría, según la AIE, que se doblaría el contenido en CO₂ de la atmósfera y que la temperatura se incrementaría en 6 °C.

La evolución de la demanda mundial de energía primaria prevista por la AIE en el escenario de referencia contempla mejoras de eficiencia en todos los sectores, especialmente en la generación de electricidad y en el transporte. Sin embargo, esta evolución es incompatible con un desarrollo sostenible tanto desde el lado de la oferta como del de la demanda.

Desde el lado de la oferta, un consumo de 13.687 MTep de energías fósiles en 2030 (5.109 MTep de petróleo, 3.670 MTep de gas y 4.908 de carbón), un 44% más que en el año 2006 y casi el doble que en 1990 significa una explotación acelerada de recursos naturales que son agotables y que han tardado miles de millones de años en producirse.

Más aún, la oferta a largo plazo de petróleo y gas natural no está asegurada, y no por falta de reservas. En lo que al petróleo se refiere, a pesar del continuo aumento de la producción, la relación reservas-producción se ha mantenido por encima de 40 en los últimos 20 años, es decir, se ha repuesto más de lo que se ha producido. El problema está en la concentración de estas reservas en unos pocos países, algunos políticamente inestables, que pudiera ocurrir que no incrementasen la producción actual (81,5 millones barriles/día) en la medida necesaria para atender a la demanda, ya sea por falta de capacidad técnica, financiera o de gestión o porque deseen prolongar la duración de sus reservas. Hoy se piensa que difícilmente se alcanzará una producción de 100 millones de barriles/día cuando en el año 2030 el consumo estimado es de 106 millones. Ello se traduciría en tensiones sobre los precios que ajustarían la demanda a la oferta.

La situación del gas natural es parecida por idénticas razones, aún cuando la relación de reservas a producción se mantenga desde hace 20 años en torno a 60. Las tensiones en los precios tendrían el mismo origen si los pocos países en los que se concentran gran parte de las reservas (Oriente Medio, Federación Rusa, etc.) no quisieran o no pudieran aumentar la producción al ritmo del crecimiento de la demanda.

En cuanto al carbón, la situación es diferente. Hay reservas para 130 años y, además, están muy diversificadas, su cotización es menos volátil y las rutas de aprovisionamiento más seguras. Sin embargo, tienen el inconveniente de su impacto medioambiental. Una Tep de carbón emite cerca de 4 toneladas de CO₂, frente a 2,7 la de petróleo y 2,3 la de gas.

La demanda de carbón en el año 2030 sería muy próxima a la de petróleo (4.908 MTep) frente a 3.053 MTep en 2006, es decir, se incrementaría

ENERGÍAS FÓSILES Y CAMBIO CLIMÁTICO

Cuadro 3.– Consumo de carbón, años 2006-2030. AIE, año 2008.

Áreas	Años			
	2006		2030	
	MTep	Porcentaje	MTep	Porcentaje
OCDE	1.139	37	1.192	24
Resto del mundo	1.914	63	3.716	76
<i>TOTAL</i>	<i>3.053</i>	<i>100</i>	<i>4.908</i>	<i>100</i>

en un 60% y las emisiones de CO₂ producidas por el carbón pasarían de representar el 42% de las emisiones totales en 2006 al 60% en 2030. El cuadro 3, refleja la distribución del consumo de carbón en los países de la OCDE y en el resto del mundo.

Emisiones de la generación de electricidad

El *World Energy Outlook 2008* prevé la siguiente evolución de la generación de electricidad, cuadro 4.

Se aprecia que entre los años 1990 y 2006 la generación eléctrica creció el 76% (frente al 34% el de energía primaria) y entre los años 2006 y 2030 el 76% (frente al 45% el de energía primaria). Por ello, la energía primaria consumida en la generación de electricidad pasó de representar el 34% de la energía total consumida en el año 1990 al 38% en 2006 y alcanzaría el 42% en 2030.

La generación eléctrica a partir de energías fósiles aumentaría entre los años 2006 y 2030 en un 75% ligeramente por debajo del crecimiento de la generación eléctrica, mientras que las emisiones de CO₂ aumentarían menos, el 58%, debido al mayor rendimiento de las centrales de carbón (31% en 2006 y 38% en 2030) y a la mayor participación de las centrales de ciclo combinado de gas natural cuyos rendimientos superan el 50%, cuadro 5.

Las emisiones de CO₂ producidas en los países de la OCDE crecerían entre los años 2006 y 2030 solamente un 8% mientras que se duplicarían en el resto del mundo, las emisiones de Estados Unidos crecerían ligeramente y las de la Unión Europea se mantendrían estables.

ENERGÍAS FÓSILES Y CAMBIO CLIMÁTICO

Cuadro 4.– Emisiones de la generación mundial de electricidad. AIE, año 2008.

Energías	Años							
	1900		2006		2020		2030	
	Twh	Porcentaje	Twh	Porcentaje	Twh	Porcentaje	Twh	Porcentaje
Carbón	4.424	37	7.756	41	12.442	45	14.596	44
Hidrocarburos	3.057	26	4.903	26	6.184	22	7.507	22
Nuclear	2.013	17	2.793	15	3.232	12	3.458	10
Hidroeléctrica	2.146	18	3.035	16	4.101	15	4.809	14
Biomásas y residuos	129	1	239	1	542	2	863	3
Eólica	4	–	130	1	970	4	1.490	4
Geotérmica, solar y otras	38	–	66	1	215	1	350	2
<i>TOTAL</i>	<i>11.811</i>	<i>100</i>	<i>18.922</i>	<i>100</i>	<i>27.726</i>	<i>100</i>	<i>33.073</i>	<i>100</i>

Las centrales térmicas produjeron en el año 2006 el 42% de las emisiones totales de CO₂ y en el año 2030 este porcentaje se incrementaría hasta el 46%. Es significativo que la energía nuclear, que no produce emisiones de CO₂, pierde terreno en términos relativos al descender su participación del 15% en 2006 al 10% en el año 2030.

Cuadro 5.– Emisiones de CO₂ en la generación eléctrica.

Áreas y países	Años							
	1900		2006		2020		2030	
	Gt	Porcentaje	Gt	Porcentaje	Gt	Porcentaje	Gt	Porcentaje
OCDE	3,91	52	5,00	42	5,44	34	5,40	30
Resto del mundo	3,57	48	6,45	58	10,57	66	12,65	70
<i>TOTAL</i>	<i>7,48</i>	<i>100</i>	<i>11,45</i>	<i>100</i>	<i>16,01</i>	<i>100</i>	<i>18,05</i>	<i>100</i>
Estados Unidos	1,85	25	2,40	21	2,51	16	2,54	13
Unión Europea	1,49	20	1,44	13	1,51	9	1,43	8

ENERGÍAS FÓSILES Y CAMBIO CLIMÁTICO

Emisiones del transporte

El transporte es el segundo emisor de CO₂, después de la generación de electricidad. Las emisiones de CO₂ producidas por este sector evolucionan de la forma indicada en el cuadro 6.

Las emisiones de CO₂ en el año 2006 representaron el 23% de las emisiones totales y en 2030 se situarían en el 22%. El incremento de emisiones entre los años 2006 y 2030 se distribuye del modo siguiente:

- No-OCDE: 83,8%.
- OCDE: 0,5%.
- Interregional: 15,7%.
- TOTAL: 100%.

En los países de la OCDE, el parque de vehículos se incrementaría entre los años 2006 y 2030 en un 30%, pero sus emisiones permanecerían estables debido a que las emisiones por kilómetro se prevé descendan de 176 a 133 gramos. Esta disminución es debida a la mayor eficiencia de los motores de combustión, a la penetración de los biocarburantes que po-

Cuadro 6.– Emisiones de CO₂ sector del transporte.

Áreas y países	Años							
	1900		2006		2020		2030	
	Gt	Porcentaje	Gt	Porcentaje	Gt	Porcentaje	Gt	Porcentaje
OCDE	2,71	69	3,51	64	3,66	54	3,53	4,7
Resto del mundo	1,24	31	1,95	36	3,15	46	4,03	5,3
<i>TOTAL</i>	<i>3,95</i>	<i>100</i>	<i>5,46</i>	<i>100</i>	<i>6,81</i>	<i>100</i>	<i>7,56</i>	<i>100</i>
Búnker marino y aviación internacional	0,62		0,98		1,20		13,6	
<i>TOTAL GENERAL</i>	<i>4,57</i>		<i>6,44</i>		<i>8,01</i>		<i>8,92</i>	
Estados Unidos	1,41	36	1,81	33	1,88	28	1,84	24
Unión Europea	0,75	19	0,95	17	0,96	14	0,88	10

ENERGÍAS FÓSILES Y CAMBIO CLIMÁTICO

drían aportar del orden del 7% del consumo en el transporte por carretera y al desarrollo de los motores híbridos.

En los países no-OCDE el incremento del parque sería del orden 770 millones de vehículos frente a 200 en los países de la OCDE.

En lo que se refiere al transporte aéreo, se espera un incremento del número de aviones de 18.000 en 2006 a 44.000 en el año 2030. Las nuevas generaciones de aviones serán considerablemente más eficientes que las actuales.

Emisiones de la industria

La AIE, en su escenario de referencia, prevé unas emisiones de la industria en 2030 de 6,4 Gt (16% emisiones totales), también en este caso con un fuerte desequilibrio entre las emisiones de la OCDE, que disminuirían un 10% por la sustitución parcial de las energías actualmente utilizadas por otras menos contaminantes. Por el contrario las emisiones de los países no-OCDE aumentarían un 65% correspondiendo casi la mitad del incremento de China y un 25% a la India.

Las emisiones de la industria siderúrgica, química y petroquímica, minerales no metálicos y papel representan más del 60% de las emisiones totales.

Otras emisiones: agricultura, residencial y servicios

Conjuntamente, aportan el 12% de las emisiones de CO₂ y se mantendrá a niveles similares en el año 2030 a pesar de las nuevas normas de edificación aplicadas en numerosos países que moderan el consumo de energía, compensados con la sustitución de biomásas por energías fósiles, especialmente gas, en los países no-OCDE.

Las emisiones de CO₂ y el cambio climático

Desde el lado de la demanda, la evolución del sector energético no es sostenible por su influencia medioambiental. Aún cuando no todos los científicos están de acuerdo en la correlación establecida entre el contenido de CO₂ equivalente en la atmósfera y la evolución de la temperatura, el IV Informe del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático prevé

ENERGÍAS FÓSILES Y CAMBIO CLIMÁTICO

que la estabilización de las emisiones de gases de efecto invernadero en 1.000 ppm, a la que se llegaría en el escenario de referencia, cuadro 1, p. 53, implicaría un aumento de la temperatura en el año 2100 de 6 °C. Se han realizado cálculos para una estabilización en 550 ppm de CO₂-equivalente y 450 ppm de CO₂-equivalente en cuyo caso el incremento de temperatura sería de unos 3 °C y 2 °C respectivamente. La doble pregunta es: ¿cuánto debería moderarse el consumo de energía para alcanzar estos niveles? ¿cómo podría llegarse a ese consumo sin afectar al desarrollo económico, especialmente el de los países más desfavorecidos?

Demanda de energía en diversos escenarios

ESCENARIO 550 PPM

Para alcanzar esta reducción en el contenido de CO₂-equivalente en la atmósfera, la demanda de energía en 2020 y 2030 debería ser del orden de la que figura en el cuadro 7 (AIE).

El consumo de energía se incrementaría un 32%, frente al 45% en el escenario de referencia el consumo de energías fósiles crecería un 23%

Cuadro 7.— Consumo de energía, año 2030 en escenario 550 ppm CO₂-equivalente.

Energías	Años					
	2006		2006		2030 diferencia referencia	
	MTep	Porcentaje	MTep	Porcentaje	MTep	Porcentaje
Petróleo	4.029	34	4.689	30	(420)	(4)
Gas	2.407	21	3.383	22	(287)	1
Carbón	3.053	26	3.575	23	(1.333)	(3)
<i>TOTAL FÓSILES</i>	<i>9.489</i>	<i>81</i>	<i>11.647</i>	<i>75</i>	<i>(2.040)</i>	<i>(6)</i>
Nuclear	489	6	1.086	7	185	2
Hidroeléctrica	728	2	456	3	42	1
Biomásas	261	10	1.826	12	164	2
Otras renovables	66	1	468	3	118	1
<i>TOTAL GENERAL</i>	<i>11.033</i>	<i>100</i>	<i>15.483</i>	<i>100</i>	<i>(1.531)</i>	<i>—</i>

ENERGÍAS FÓSILES Y CAMBIO CLIMÁTICO

frente al 44% en el de referencia y las energías limpias a efecto de las emisiones de CO₂ pasarían de representar el 19% en el año 2030 en el escenario de referencia al 25% en el escenario 550 ppm. Después veremos cómo esto podría lograrse.

ESCENARIO 450 PPM

El cuadro 8 refleja el consumo de energía en el año 2030 para alcanzar las emisiones de 450 ppm.

El consumo de energía se incrementaría en un 22% frente al 45% en el escenario de referencia. El consumo de energías fósiles apenas variaría entre los años 2006 y 2030, con lo que su participación porcentual descendería del 81% al 67% y, en contraste, las energías limpias a efectos de emisiones se incrementarían del 19% al 33%.

Cualquiera de estos dos escenarios es mucho más sostenible que el del escenario de referencia. Así, el consumo de petróleo sería de 97 millones de barriles/días (escenario 550) o 90 millones (escenario 450), producción esta última que podría alcanzarse sin que se provocasen graves tensiones en el precio del petróleo.

Cuadro 8.– Consumo energía en el año 2030 en escenario 450 ppm CO₂-equivalente.

Energías	Años					
	2006		2006		2030 diferencia referencia	
	MTep	Porcentaje	MTep	Porcentaje	MTep	Porcentaje
Petróleo	4.029	34	4.308	30	(801)	–
Gas	2.407	21	2.950	21	(720)	(1)
Carbón	3.053	26	2.381	16	(2.527)	(12)
<i>TOTAL FÓSILES</i>	<i>9.489</i>	<i>81</i>	<i>9.639</i>	<i>67</i>	<i>(4.048)</i>	<i>(13)</i>
Nuclear	489	6	1.364	9	463	3
Hidroeléctrica	728	2	555	4	141	2
Biomásas	261	10	2.119	15	457	5
Otras renovables	66	1	638	5	333	3
<i>TOTAL GENERAL</i>	<i>11.033</i>	<i>100</i>	<i>14.315</i>	<i>100</i>	<i>(2.654)</i>	<i>–</i>

ENERGÍAS FÓSILES Y CAMBIO CLIMÁTICO

Medidas para reducir el consumo previsto de energía primaria

Para alcanzar una reducción significativa de emisiones, será necesario actuar en dos frentes: la mejora de la eficiencia energética y la sustitución de las energías fósiles por energías limpias: nuclear y renovables. Veamos cada uno de los sectores.

GENERACIÓN ELÉCTRICA

La generación eléctrica es el mayor emisor de CO₂, representando en el año 2006 el 42% de las emisiones totales. Por tanto, es prioritario actuar en este sector.

En el escenario 550, la reducción de la demanda respecto del escenario de referencia es relativamente modesta, el 9%, debido a un consumo más racional de electricidad. En cambio, las emisiones de CO₂ disminuyen considerablemente, el 28%, debido fundamentalmente a la sustitución del carbón por energías renovables y nuclear y por el mayor rendimiento de las centrales de carbón. En el escenario 450, el consumo se reduce algo más, el 13% y las emisiones de CO₂ disminuyen un 54% por las mismas razones que en el caso anterior, acentuadas. El cuadro 9 refleja el consumo de electricidad en 2030 en el escenario de referencia y en las alternativas 550 y 450 así como la estructura de la generación en los tres casos.

Cuadro 9. – Generación de electricidad y su estructura en el año 2030.

Generación	Año 2030		
	Estructura referencia	Escenario 550	Escenario 450
Generación de electricidad Twh	33.365	30.186	25.000
Estructura de la generación:			
– Carbón	44%	32%	20%
– Hidrocarburos	23%	23%	23%
– Nuclear y renovables	33%	44%	58%
<i>TOTAL</i>	<i>100%</i>	<i>100%</i>	<i>100%</i>
Emisiones de CO ₂ Gt	18,1	12,8	8,3

ENERGÍAS FÓSILES Y CAMBIO CLIMÁTICO

Puede apreciarse que la participación del carbón se reduce del 44% en el escenario de referencia al 32% y 20% en los otros escenarios mientras que la participación de las energías limpias pasa del 33% al 44% en el escenario 550 y el 58% en el escenario 450.

Por otra parte la situación futura dependerá de la evolución de las tecnologías del secuestro y almacenamiento de CO₂. El CO₂ puede capturarse quemando el combustible en una central convencional extrayendo el CO₂ mediante tecnologías de absorción. Puede también extraerse después de la gasificación del combustible y antes de la combustión y, finalmente, utilizando oxígeno para la oxidación parcial seguida de la combustión del CO e hidrógeno en una central de ciclo combinado obteniendo como emisiones CO₂ y H₂O fácilmente separables. Una vez capturado el CO₂, éste debe trasladarse a estructuras geológicas que permitan su almacenamiento estable. Se estima que en la década de los años veinte el coste total puede ser del orden de 30 euros/tonelada, lo que implicaría en un gasificación más ciclo combinado, alimentado con carbón o coque de petróleo con rendimiento del 46%, un extracoste del orden de 22 euros/MWh.

TRANSPORTE

El sector del transporte es el segundo emisor de CO₂. Las emisiones de CO₂ en el año 2030 serían las siguientes también en los diferentes escenarios:

- Escenario de referencia: 8,92 Gt.
- Escenario 550: 8,19 Gt.
- Escenario 450: 7,80 Gt.

Esta reducción se conseguiría con la introducción de vehículos híbridos, biocarburantes de Generación II y vehículos eléctricos. Sin embargo, las reducciones de emisiones en los vehículos eléctricos serían compensadas por las mayores emisiones en la generación de electricidad. En concreto, la aportación de los biocarburantes sería de 240 MTep en el escenario 450 frente a 170 en el escenario 550 y 120 en el escenario de referencia y del orden de 45 en la actualidad. La participación de los biocarburantes ascendería en el escenario 450 al 9% del consumo de carburantes en carretera.

ENERGÍAS FÓSILES Y CAMBIO CLIMÁTICO

INDUSTRIA

Es el tercer sector en emisiones de CO₂ que evolucionarían del modo siguiente en los diferentes escenarios:

- Escenario de referencia: 6,43 Gt.
- Escenario 550: 5,53 Gt.
- Escenario 450: 4,30 Gt.

Esta reducción se produciría por la mayor eficiencia energética, nuevos procesos menos consumidores de energía y por la parcial sustitución del carbón por energías más limpias.

OTROS SECTORES

La evolución de las emisiones sería similar a la del transporte y la industria por mayor eficiencia el consumo de energía en la edificación y la sustitución parcial por energía solar tanto para usos térmicos como en los consumos eléctricos.

Consideraciones finales

Los objetivos de los escenarios 550 ppm y 450 ppm, que irían asociados a incrementos de temperatura de 3 °C y 2 °C respectivamente en los próximos 100 años, son difícilmente alcanzables.

En efecto, esencialmente consisten en la mejora de eficiencia energética y la sustitución del carbón por energías renovables. Así, en la generación de electricidad el carbón pasaría de aportar el 44% en el escenario de referencia al 20% en el escenario 450 y las energías renovables, más la nuclear, del 33% al 58%. En cuanto al consumo total de energía primaria, el carbón pasaría del 29% al 16% y las renovables del 14% al 24%. Dado que previsiblemente el carbón será la energía más barata y que las energías renovables son todas ellas más caras que las fósiles es dudoso que los países no-OCDE acepten este cambio.

El cuadro 10 refleja los consumos unitarios de energía primaria y las emisiones unitarias de CO₂ en los años 2006 y 2030 en el escenario de referencia.

ENERGÍAS FÓSILES Y CAMBIO CLIMÁTICO

Cuadro 10.– *Evolución consumos unitarios de energía primaria y de las emisiones de CO₂.*

Áreas	Consumo Tep/habitantes		Emisiones T CO/habitantes		Población millones de habitantes	
	Años		Años		Años	
	2006	2030	2006	2030	2006	2030
OCDE	4,6	4,8	10,7	10,7	1.118	1.300
Resto de mundo	1,1	1,6	2,6	3,8	5.360	6.900
<i>MEDIA</i>	<i>1,8</i>	<i>2,1</i>	<i>4,3</i>	<i>4,9</i>	<i>6.540</i>	<i>8.200</i>

La disparidad entre las cifras de las zonas ricas y el resto del mundo es tal que será difícil convencer a los líderes políticos de estos últimos que deben consumir energías más caras pero más limpias. Adicionalmente está el hecho de que los países subdesarrollados tienen un elevado consumo de biomasa porque en muchas ocasiones carecen de otra fuente de energía. Todavía el 25% de la población mundial carece de un suministro estable de electricidad.

En zonas del mundo como África, donde las biomasa aportan el 50% de la energía primaria o la India con el 28%, se producirá necesariamente la sustitución progresiva por otras energías más contaminantes.

La consecuencia de todo lo anterior es la dificultad de alcanzar los objetivos propuestos en el escenario 450 habida cuenta de que en el escenario de referencia los países no-OCDE consumirán casi los dos tercios del consumo mundial de energía primaria y tienen el 84% de la población mundial. El esfuerzo de los países OCDE será insuficiente. Adicionalmente, los extracostes del abastecimiento energético en estos países podrá producir la deslocalización de industrias básicas, con lo que se agravaría el problema.

JOSÉ LUIS DÍAZ FERNÁNDEZ

*Catedrático emérito de Mecánica Racional
y Mecánica de Fluidos de la Escuela Técnica Superior
de Ingenieros de Minas de la UPM
Ex presidente de CAMPSA y REPSOL Petróleos*

CAMBIO CLIMÁTICO Y ENERGÍA NUCLEAR

Introducción y conclusión previa

Bajo la verificable asunción de un efecto antropogénico en el cambio climático percibido por la humanidad en este momento, y sabiendo que sus potenciales protagonistas son las emisiones de anhídrido carbónico (CO₂) (fundamentalmente), N₂O y metano (CH₄) a la atmósfera y la consecuente aparición del efecto invernadero, la pregunta es cuáles fuentes de energía puede ser las substitutas de las fósiles actuales consideradas como las mayores responsables en la generación de dichas consecuencias climáticas.

La respuesta no es única y depende de varios factores como:

- Capacidad de substitución, dependiendo del sector en el que se produciría dicho *relevo*: industrial, agrícola, residencial, servicios y también de transporte.
- Modelo energético que desea la sociedad: fuentes de generación concentradas y/o distribuidas; electricidad, hidrógeno, *otras* y también en su forma final.
- Seguridad de abastecimiento del recurso natural: *combustible*.
- Economía de mercado.
- Capacidad de impulso y movilización del conocimiento científico-tecnológico y otras.

Entre otras opciones, está la energía nuclear; en su forma actual, y evolucionada a medio plazo, como la *fisión nuclear*, y a medio y largo plazo la energía de la *fusión nuclear*. En ambos casos el motivo que

CAMBIO CLIMÁTICO Y ENERGÍA NUCLEAR

lleva a esta solución nuclear (*al cambio climático y su mecanismo provocador, de naturaleza antropogénica por emisión de gases en la combustión de materiales fósiles, sean éstos sólidos, líquidos o gaseosos*) es de inmediata demostración, y no ha sido puesto en duda dada la eliminación total de dichas emisiones en la operación de la planta. Y entonces... ¿qué más?

Pocas preguntas sobre este punto; en todo caso, *conocer si en el conjunto de todas las operaciones del ciclo*, lo que implica:

- Extracción del recurso natural combustible.
- Su procesamiento para introducirlo en el reactor.
- Operaciones del mismo durante y después de la vida de la planta.

Pudiera haber un consumo (uso) de energía de origen combustión molecular de hidrocarburos que pudiera ser significativo. Las figuras 1 y 2, que vienen a continuación demuestran que eso no sólo no es así, sino que aparece como el primer y gran argumento a favor de esta fuente de energía.

Es obvio deducir de las mismas que en el caso del *conjunto del ciclo nuclear* existe una *emisión totalmente despreciable de CO₂*. Y eso se

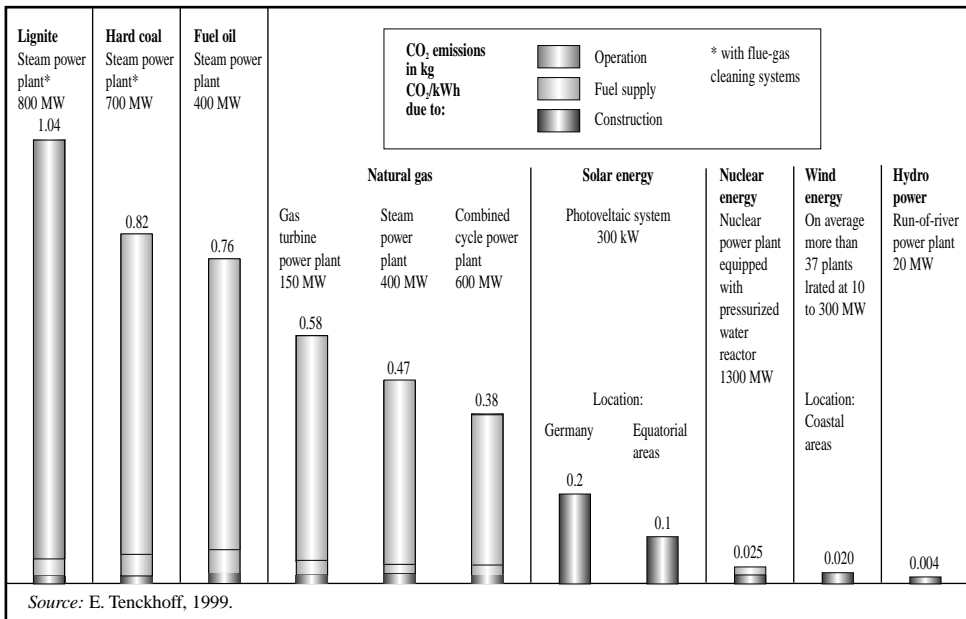


Figura 1.– Generación de CO₂ en todo el ciclo de combustible, para diferentes fuentes de energía.

CAMBIO CLIMÁTICO Y ENERGÍA NUCLEAR

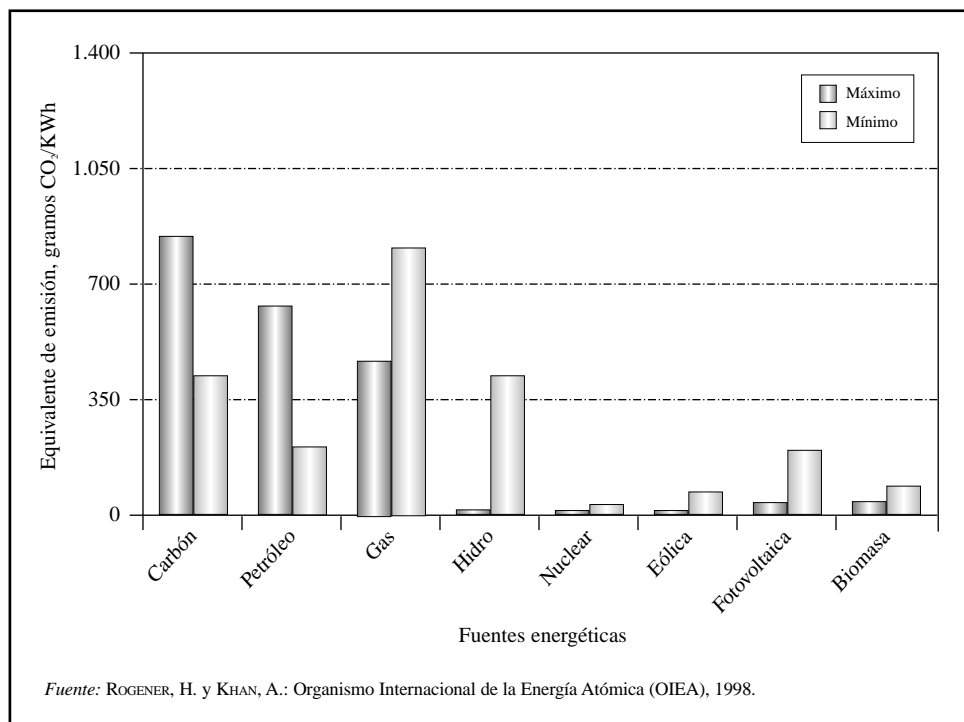


Figura 2.– Misma respuesta de la figura 1 desde otra fuente confirmando para todo el ciclo de uso de las fuentes de energía la valoración positiva de la energía nuclear.

concluye de las áreas de manejo del combustible, y de la construcción y operación de la planta de generación de energía nuclear.

Otra forma de certificar el papel *que ha jugado ya* el uso de la energía nuclear se puede visualizar en la figura 3, p. 70, en la que se representan los millones de toneladas de CO₂ acumuladas en el periodo de tiempo de los años 1980 a 2006 por todos los países, junto a la magnitud *no emitida (evitada)* gracias a considerar el conjunto de países que tienen programas nucleares. En la figura se concluye que esa disminución ha supuesto un 20% del total.

Otras consideraciones

La conclusión del punto anterior resulta sencilla de obtener cuando se conoce cuál es el proceso por el que se obtiene energía en una planta nu-

CAMBIO CLIMÁTICO Y ENERGÍA NUCLEAR

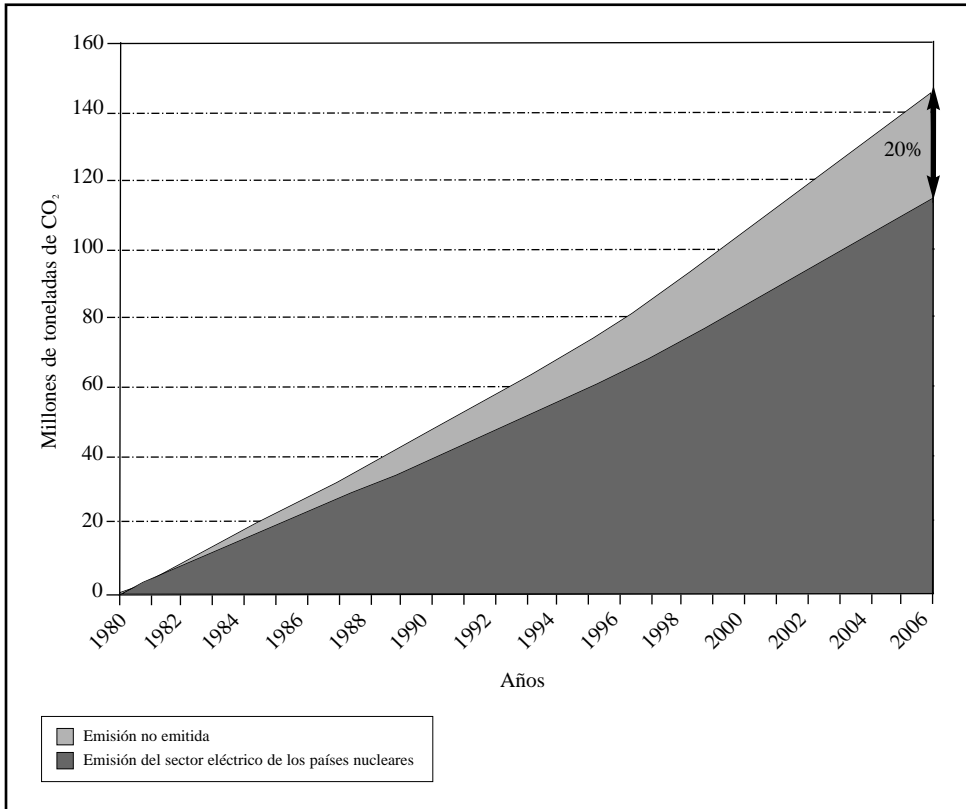


Figura 3.– Representación de las emisiones evitadas de CO₂ como consecuencia de los programas de energía nuclear existentes en el mundo.

clear donde, en lugar de ser su origen la *manipulación* molecular y *combustión*, resulta ser nuclear, de muy alta densidad de energía y donde los productos resultantes no tienen las características de aquellos considerados responsables del efecto invernadero.

Es muy importante en las consideraciones sobre la substitución avanzada de las fuentes de energía, el dato de que se produzca en el sentido de poder explotar la nueva *gran revolución* de fuentes de energía de *muy alta densidad de energía*, algo que las dos opciones nucleares ofrecen de manera tremendamente superior a otras fuentes de energía. La siguiente figura 4 da la magnitud de este dato.

De esta figura no se deben extraer conclusiones indicando que el uso de energías renovables sea, quede, *retrasado tecnológicamente*; nada más

CAMBIO CLIMÁTICO Y ENERGÍA NUCLEAR

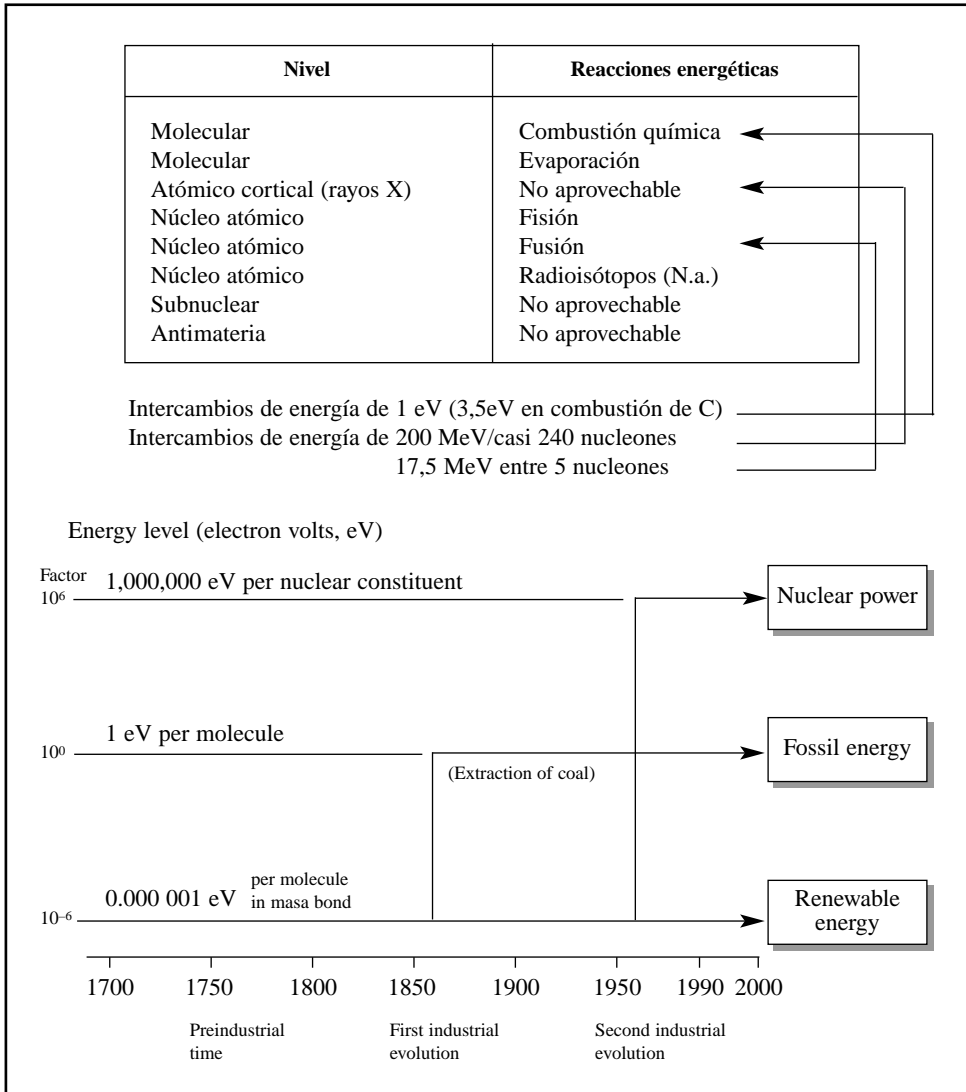


Figura 4.– El cuadro superior es de generación propia. La figura inferior extraída de B. Fritsch, *Mensch-Umwelt-Wissen*, 1990.

lejos de este análisis, sino que su utilización se da bajo eficiencias limitadas (mejoradas progresivamente) actualmente, pero aceptables, y en cualquier caso de baja densidad de energía, lo que proviene de conocimientos ancestrales.

CAMBIO CLIMÁTICO Y ENERGÍA NUCLEAR

Además, otras consideraciones pueden ser *puestas sobre la mesa* al aceptar esa substitución:

- Seguridad de abastecimiento de combustible.
- Seguridad del sistema tecnológico de la planta de potencia y no liberación de radiactividad al medio ambiente.
- Gestión de los residuos radiactivos con solución científica cierta y demostrable tecnológicamente en un futuro con alta probabilidad.
- Uso de combustibles y procesos de manera que no se provoque la proliferación de armamento nuclear.

Estos aspectos han sido recogidos en la *Monografía del CESEDEN*, número 98, «La energía y su relación con la Seguridad y la Defensa», y en el *Documento de Seguridad y Defensa*, número 18, «La crisis energética y su repercusión en la Economía, Seguridad y Defensa Nacional».

Desde la perspectiva del abastecimiento de combustible se concluía en esos trabajos:

- La *World Nuclear Association* estima que los recursos de uranio pueden durar unos 200 años al ritmo de consumo actual. Un dato revelador es que hace diez años las reservas mundiales se estimaban en torno a 2,1 millones de toneladas y sin embargo hoy (2006) se cifran según la Agencia de Energía Nuclear y el OIEA en torno a las 5,5 millones de toneladas explotables a un coste de 130 dólares/kilogramo. Además, el coste del combustible supone entre el 10% y el 15% del coste total de la generación de energía de origen nuclear, y como el coste de los concentrados de uranio es del orden del 51%, la repercusión de la materia prima en esta fuente de energía es de sólo un 5% en el coste de generación.
- La investigación actual hace creíble y viable, siguiendo con esta fuente de energía, el uso de los productos fisibles *generados en el propio ciclo de combustible* como recursos energéticos en nuevos/otros sistemas de una potencia y eficiencia global muy elevada (*mucho más elevada que la actual*). Lo que en la actualidad supone el uso de óxidos mixtos de uranio y plutonio, pasaría a la utilización de esos elementos fisibles (Pu, Am, Np y Ci), así como de la totalidad de los isótopos de uranio, en toda su potencialidad energética dentro de unas condiciones de irradiación distintas de las actuales, pero no precisamente nuevas ni desconocidas por la física y tecnología nuclear *ancestral* (espectro de energía rápido de los neutrones), que permiti-

CAMBIO CLIMÁTICO Y ENERGÍA NUCLEAR

rían extraer valores de hasta el 80% o superiores de su potencial energético. Las nuevas generaciones de reactores (*Generación IV* o sistemas transmutadores subcríticos guiados por acelerador, *ADS*) se basan exactamente en este principio. Este rescate de una idea científicamente antigua no desarrollada tecnológicamente, sitúa el *potencial de la energía nuclear de fisión* en vidas de varios cientos de años situando esta fuente en un plazo de medio y largo plazo. Sólo en Alemania, y contando con lo ahora existente, se estima que se centraría en los 400 a 500 años.

- El uso del *ciclo del torio* supone una aproximación, no usada hasta el momento en la que la magnitud de recursos es muy elevada; hasta tres veces la de uranio y con un solo isótopo utilizable Th-232.
- En el trabajo mencionado también se hace referencia al potencial uso de las cabezas nucleares con un enriquecimiento 25 veces superior al del combustible para las centrales nucleares, que se han empezado a *diluir*, en un proceso inverso al enriquecimiento, hasta 13.000 cabezas nucleares desde el año 2000, utilizadas como combustible nuclear, representando en total un 13% de la necesidad mundial de combustible al año.

Son aceptados hoy de manera cada vez más universal y contundente los logros obtenidos en el Área de la Seguridad Nuclear, hasta niveles de reducción de riesgo muy elevados; y la marcha seria y progresiva hacia los sistemas pasivos de centrales nucleares, lo que vienen a dar los ya existentes reactores de seguridad pasiva y de Generación III. En la *Monografía del CESEDEN* y en el *Documento de Seguridad y Defensa* citados anteriormente ya se ha destacado como conclusión que el incidente máximo ha sido el de Chernóbil, reactor fuera de los alcances puramente comerciales, habiendo quedado los restantes incidentes, en reactores comerciales, como accidentes bajo control previsto y sin consecuencias sobre la población. Es evidente que la línea de trabajo de los futuros reactores de Generación IV se moverá sobre las hipótesis de mantenimiento de la seguridad pasiva de los mismos.

En la valoración de los residuos radiactivos, lo primero es el reconocimiento de la situación y de la necesidad de una gestión adecuada para la sociedad de los mismos por parte de las entidades nacionales e internacionales. Se dispone de varias alternativas, algunas de orden *cuasi-inmediato* y otras de disposición o eliminación *final*: plantas de almacenamiento

temporal centralizado que den paso a configuraciones geológicas estables para enterramiento profundo y su eliminación mediante la transmutación nuclear.

La idea de la *transmutación nuclear*, por la que los residuos son eliminados mediante las propias reacciones nucleares que los han generado se presenta como una alternativa seria, donde la inversión en investigación y desarrollo es creciente a nivel mundial, y con diversas ideas emergentes según el punto del planeta. Afortunadamente ha calado, algo obvio conociendo el proceso, la idea de que *la eliminación de esos residuos de larga vida y actividad (plutonio y actínidos) supone*, debido al proceso nuclear involucrado en su destrucción (*fisión nuclear*), *la generación de energía de manera simultánea*.

Eso ha llevado a la proposición de los propios reactores de *Generación IV*, y los *sistemas subcríticos guiados por neutrones*, sean estos neutrones provenientes de reacciones nucleares de *espalación* (protones de energías de GeV incidiendo en materiales pesados, por ejemplo Pb) (*ADSs*), o provenientes de sistemas de fusión nuclear LIFE (*Laser Inertial Fusion-Fission Energy*), propuesto por el Lawrence Livermore National Laboratory. Esta última idea, la combinación de fusión y fisión, puede ser ahora una realidad incluso con los sistemas aún no totalmente desarrollados de fusión nuclear de baja ganancia si se les aplica una envolvente fisionable que incrementa el factor de ganancia haciéndolos rentables. Esta idea aplicada a la fusión por láser requeriría en este momento de un sistema repetidor de láser (no existente) pero que se adivina en un periodo a medio plazo (*no a largo plazo como siempre se menciona*). En cualquier caso el progreso, con más recursos, en esa línea supone una solución del problema y una contribución en el tiempo y en la magnitud de la generación de energía.

No puede concluir este análisis sin mencionar el papel fundamental que, en un futuro cada vez más próximo de lo que la sociedad cree, y *más sabiendo la relatividad de los periodos en los que estamos proyectándonos*, desempeñará la *fusión nuclear*. Los *lugares comunes* siempre mencionados de: *energía limpia, segura e inagotable, siguen siendo válidos*. Actualmente, sus valores positivos se consolidan aún más en la comparación con las otras alternativas. Su papel representa el ejemplo más claro de la opción de uso de *energías de muy alta densidad (el más elevado de todas)*, lo que supone (o supondrá) una elección válida, sólida y alternativa para todo el sistema energético de la humanidad. Cuidar este inmenso potencial desde la perspectiva del reparto de conocimiento científico y tec-

CAMBIO CLIMÁTICO Y ENERGÍA NUCLEAR

nológico en esta humanidad global, y de las consecuencias de su desarrollo sin despertar amenazas, supone un reto tremendo en todo los órdenes, no sólo científico-tecnológico sino sociopolítico y económicos.

El uso de los isótopos del hidrógeno (deuterio y tritio), *agua de los océanos*, como combustible de primera generación es una garantía de abastecimiento; la no generación intrínseca de residuos radiactivos en la propia reacción nuclear de fusión supone un *alivio*, pasando el problema de los residuos a periodos de pocos años bajo una correcta elección de materiales (investigación actual y a medio plazo); y el desarrollo real de las instalaciones (ITER, NIF y LMJ) con ganancias energéticas que permitirán experimentar las soluciones finales *ya sólo tecnológicas*, supone otro argumento a su favor.

El recurso manido de *siempre 50 años más* es fácilmente desmontable si se piensa que llegar a un sistema de potencia (aunque sea experimental, ITER, y no comercial ni DEMO) de 500 MWh desde sistemas de vatios ha supuesto sólo 35 años. Sin comentarios.

Que queda un camino de medio y largo recorrido, que pasa por un reactor demostrador, y su final comercial, nadie lo oculta pero *sí* parece claro a estas alturas que los pasos a dar están bien planteados, y los esfuerzos internacionales, de vastos grupos científicos consolidados, muy serios. Y esta aserción que es aplicable para la más reconocida públicamente fusión por confinamiento magnético, lo es también para la opción de la fusión por confinamiento inercial bien sea por láseres o iones pesados.

JOSÉ MANUEL PERLADO MARTÍN

Catedrático de Física Nuclear

Director del Instituto de Fusión Nuclear

de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de la UPM

Director del Instituto de Fusión Nuclear

IMPLICACIONES DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA POLÍTICA ENERGÉTICA. GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD

Introducción

Como consecuencia del cambio climático, muchos gobiernos inician políticas tendentes a reducir los efectos de las actividades que contribuyen a incrementar este cambio climático.

Uno de los sectores que tienen una clara influencia en el cambio climático, es el sector energético, y más concretamente la generación de electricidad que es el campo en el que se centrará este estudio, si bien se efectuará alguna mención al sector del transporte y algunos comentarios sobre ahorro y la eficiencia energética.

El trabajo que se inicia no tiene por objeto analizar en sí mismo el cambio climático, el trabajo se centrará en la situación española, teniendo en cuenta las directivas y recomendaciones comunitarias.

La metodología del análisis consistirá, en la revisión de los planes y compromisos de la Administración, pudiéndose analizar en una segunda fase cuáles son las consecuencias económicas y sociales de la realización de estos planes.

Una primera dificultad que se presenta es la no existencia de un plan energético a largo plazo. Los dos Documentos de referencia:

1. Plan Energético Nacional (PEN) (2002-2011).
2. Plan de Energías Renovables (PER) (2005-2010) en España.

Se encuentran actualmente en fase de revisión: se espera que a lo largo del año 2009, la Administración elaborará nuevos planes en los que se incluirán los distintos objetivos energéticos.

IMPLICACIONES DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA POLÍTICA...

Para paliar esta dificultad se considerarán dos Documentos que proporcionan indicaciones sobre cuál puede ser la futura estructura energética en España en los años siguientes:

1. Planificación de los sectores de electricidad y gas años 2008-2016. Desarrollo de las redes de transporte. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, mayo de 2008.
2. Plan Estratégico Europeo de Tecnología Energética, SET-PLAN (*European Strategic Energy Technology Plan*). Comisión de las Comunidades Europeas, noviembre de 2007.

Una segunda dificultad con la que se enfrenta este estudio, estriba en la realidad de que las motivaciones que impulsan las distintas planificaciones energéticas (incluida la planificación de energías renovables) no sólo incorporan criterios de reducción del cambio climático, sino que tienen en cuenta otros aspectos como dependencia energética, seguridad de suministro, etc.

Como ejemplo baste citar los objetivos de la planificación energética obtenidos de la página *web* de la Secretaría General de la Energía:

«La energía constituye un sector clave de la economía, tanto por su gran peso como industria como, sobre todo, por su valor estratégico, al ser la energía elemento imprescindible de cualquier industria o servicio. Los objetivos de una política energética sostenible deben ser la seguridad en el suministro energético, la competitividad de los mercados de la energía y la protección del medio ambiente.

Estos objetivos se formulan en España en el contexto de un panorama energético caracterizado por:

- Elevado peso de los hidrocarburos en la cesta energética, ya que alrededor de las dos terceras partes de la demanda de energía primaria se cubre con hidrocarburos.
- Extraordinaria dependencia de las importaciones, el 70% de nuestra demanda energética se cubre con importaciones.
- Altas tasas de crecimiento de la demanda energética, en los últimos cuatro años el crecimiento promedio ha sido del 5% anual.
- Crecimiento de la demanda energética superior al crecimiento del producto interior bruto, de los años 1993 a 1999 la eficiencia energética ha disminuido un 9,4%.

La política energética española está respondiendo a los nuevos condicionantes del sector: tras la privatización de los sectores eléc-

tricos, promovida por las nuevas Leyes del Sector Eléctrico y del Sector de Hidrocarburos, se está produciendo un profundo proceso de liberalización de los mismos. Los monopolios o cuasi monopolios estatales energéticos se están convirtiendo en empresas privadas de servicios que compiten y que suministran, entre otros servicios, productos petrolíferos, gas y electricidad.

Asimismo, se está desarrollando una política muy activa en los aspectos medioambientales de la energía, con la imbricación de la protección medioambiental en la Ley del Sector Eléctrico y en la Ley del Sector de Hidrocarburos; con la creación de órganos específicos –Consejo Nacional del Clima– para analizar y definir la estrategia española frente a los compromisos asumidos por la firma del Protocolo de Kioto; con la aprobación de un Plan de Fomento de las Energías Renovables que pretende elevar en el año 2010 la participación de dichas energías al 12% del abastecimiento total, así como el próximo Plan de Eficiencia Energética, constituyendo ambos el núcleo del impulso que se pretende dar al pilar medioambiental de la política energética.

Por otra parte, el PEN (2002-2011), que contiene la planificación de los sectores de electricidad y gas y el desarrollo de las redes de transporte, es pieza base en la seguridad del suministro de gas y electricidad, pues complementa con una planificación indicativa de ciertos sectores la planificación vinculante de ciertas actividades reguladas.»

Energía y cambio climático

La energía es uno de los elementos claves en la estabilización de las concentraciones de los gases de efecto invernadero. Las actividades relacionadas con la energía (procesado, transformación, consumo, etc.) representan el 80% de las emisiones de CO₂ a escala mundial. Dentro de la Convención-Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático se ha firmado el Protocolo de Kioto en el que se establecen unas limitaciones a las emisiones de los gases, o familias de gases, de efecto invernadero.

El Protocolo de Kioto, auspiciado por la Organización de Naciones Unidas en su Convenio sobre Cambio Climático, y firmado en el año 2002 por la Unión Europea, tiene como objetivo que los países pertenecientes al

Anexo I «Países industrializados y economías en transición» reduzcan sus emisiones por debajo del volumen del año 1990 en un 5,1%.

En el caso de la Unión Europea el objetivo en conjunto es la reducción de un 8% de para el periodo 2008-2012 con respecto a las emisiones del año 1990, meta para la que el Ejecutivo comunitario está diseñando un plan de reducción gradual.

España publicó el 8 de febrero de 2005 el texto de ratificación del Protocolo de Kioto al Convenio-Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.

El sector energético desempeña un papel fundamental en el desarrollo económico. Las medidas en el campo de la energía deben ser compatibles con los tres principios fundamentales: competitividad, seguridad de abastecimiento y protección medioambiental, buscando un crecimiento sostenible.

El sector energético comprendiendo la extracción, producción, transporte y uso de la energía, es la fuente más importante de gases de efecto invernadero. Un pilar básico de la estrategia medioambiental es el apoyo al desarrollo de las energías renovables. La apuesta por esta fuente de energía se basa, en primer término, en su reducido impacto ambiental en comparación con otras energías, y en su carácter de recurso autóctono, que favorece, por tanto, el autoabastecimiento energético y la menor dependencia del exterior.

El PER en España (2005-2010). Balance del año 2007

El PER (2005-2010) en España elaborado en el año 2005, constituye una revisión del anterior Plan de Fomento de las Energías Renovables (2000-2010) y trataba de mantener el compromiso de cubrir con fuentes de energías renovables al menos el 12% del consumo total de energía en el año 2010, así como incorporar otros dos objetivos indicativos: alcanzar el 29,4% de generación de electricidad con energías renovables y el 5,75% de biocarburantes en el transporte.

Esta revisión, estuvo motivada por dos razones fundamentales, por un lado el crecimiento de la energía primaria fue muy superior al previsto, en gran medida por el aumento de la demanda eléctrica y del consumo de carburantes en el transporte, y por otro lado la aparición de nuevos objetivos indicativos para la generación de electricidad con energías renovables Directiva 2001/77/CE y Directiva 2003/30/CE relativa al fomento del uso de biocarburantes y otros combustibles renovables en el transporte.

IMPLICACIONES DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA POLÍTICA...

Las energías renovables, son asimismo contempladas en el Plan, como una baza fundamental para cumplir los nuevos compromisos de carácter medioambiental tales como los derivados del Plan Nacional de Asignación de Derechos de Emisión.

A modo de resumen del PER (2005-2010) de España, puede establecerse lo siguiente:

1. Objetivos energéticos (energías renovables en 2010):
 - Consumo energía primaria: 12,1%.
 - Consumo bruto electricidad: 30,3%.
 - Biocarburantes: 5,83% en el sector transporte.
2. Indicadores económicos, en millones de euros:
 - Inversión estimada (periodo 2005-2010): 23.598,64.
 - Apoyos públicos (2005-2010): 8.492,24.
 - Sistema de primas (áreas eléctricas): 4.956,21.
 - Incentivos fiscales (biocarburantes): 2.855,09.
 - Subvenciones (biomasa térmica y solar): 680,94.

El PER establece medidas sectoriales para alcanzar los nuevos objetivos. Se asigna un papel fundamental a la energía de la biomasa y a la energía eólica.

El cuadro 1, p. 82, se detallan los objetivos sectoriales del PER, para cada una de las fuentes de energías renovables.

Durante el año 2007, con una generación de 61.951 GWh, las renovables fueron responsables del 19,8% de la producción eléctrica de España. Además el consumo de energía primaria de las fuentes renovables superó por primera vez en su historia, la barrera de los 10 millones de toneladas equivalentes de petróleo, lo que supuso una aportación del 7% al balance del consumo de energía primaria.

A pesar de la menor hidraulicidad del año 2007 con respecto al año 2006 y al mayor incremento de los consumos de energía primaria (alrededor de un 1,7%), las renovables logran incrementar su participación en 0,5 puntos porcentuales en el crecimiento experimentado en las diferentes áreas.

La energía hidráulica y la energía eólica son las tecnologías que más han contribuido a la producción eléctrica con energías renovables. Como dato relevante, cabe señalar que la energía eólica –tecnología en la que España es líder mundial junto con Alemania y Estados Unidos– incremen-

IMPLICACIONES DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA POLÍTICA...

Cuadro 1.– *Objetivos sectoriales del PER (2005-2010).*

Indicadores	Situación objetivo en el año 2010		
	Potencia (MW)	Producción (GWh)	Producción en términos de energía primaria (Ktep)
<i>Generación de electricidad</i>			
Hidráulica (>50 MW) (3)	13.521	25.014	1.979
Hidráulica (entre 10 y 50 MW)	3.257	6.480	557
Hidráulica (<10 MW)	2.199	6.692	575
Biomasa:			
– Centrales de biomasa	1.317	8.980	3.586
– Co-combustión	722	5.036	1.552
R. S. U.	189	1.223	395
Eólica	20.155	45.511	3.914
Solar fotovoltaica	400	609	52
Biogás	235	1.417	455
Solar termoeléctrica	500	1.298	509
<i>TOTAL ÁREAS ELÉCTRICAS</i>	<i>42.495</i>	<i>102.259</i>	<i>13.574</i>
<i>Usos térmicos</i>			
Biomasa		(m ² solar t. Baja T.º)	4.070
Solar térmica de baja temperatura		4.900.805	376
<i>TOTAL ÁREAS TÉRMICAS</i>			<i>4.445</i>
<i>TOTAL BIOCARBURANTES (TRANSPORTE)</i>			<i>2.200</i>
<i>TOTAL ENERGÍAS RENOVBLES</i>			<i>20.129</i>

tó en un 29% la potencia instalada y creció en un 16% su producción de energía con respecto al año anterior.

Cumplimiento del PER año 2007

En lo que se refiere a la potencia eléctrica total instalada en plantas de aprovechamiento de recursos renovables, en el año 2007 se alcanzaron los

IMPLICACIONES DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA POLÍTICA...

34.794 MW de potencia eléctrica renovable, de los cuales 18.373 corresponden a hidráulica, incluida la hidráulica de más 50 MW.

Una potencia de 785 MW corresponden a la biomasa, biogás y residuos sólidos urbanos; 15.110 MW en energía eólica; y algo más de 500 MW instalados en el área de energía solar fotovoltaica.

En lo que respecta al cumplimiento de objetivos finales del Plan y en términos de potencia eléctrica instalada, alcanza el 49%.

Y en lo que se refiere a las áreas térmicas (biomasa y solar térmica) consiguen en conjunto el 12% de los objetivos energéticos. Es importante destacar, en el año 2007, el desarrollo del área de biocarburantes, con un cumplimiento del 41% de los objetivos finales, multiplicando por dos la capacidad de producción del año anterior.

De esta forma, se puede decir que el balance en el año 2007 de las energías renovables ofrece avances muy significativos, entre los que se pueden destacar: los 3.374 MW nuevos en el área eólica; los 341 MW en el área

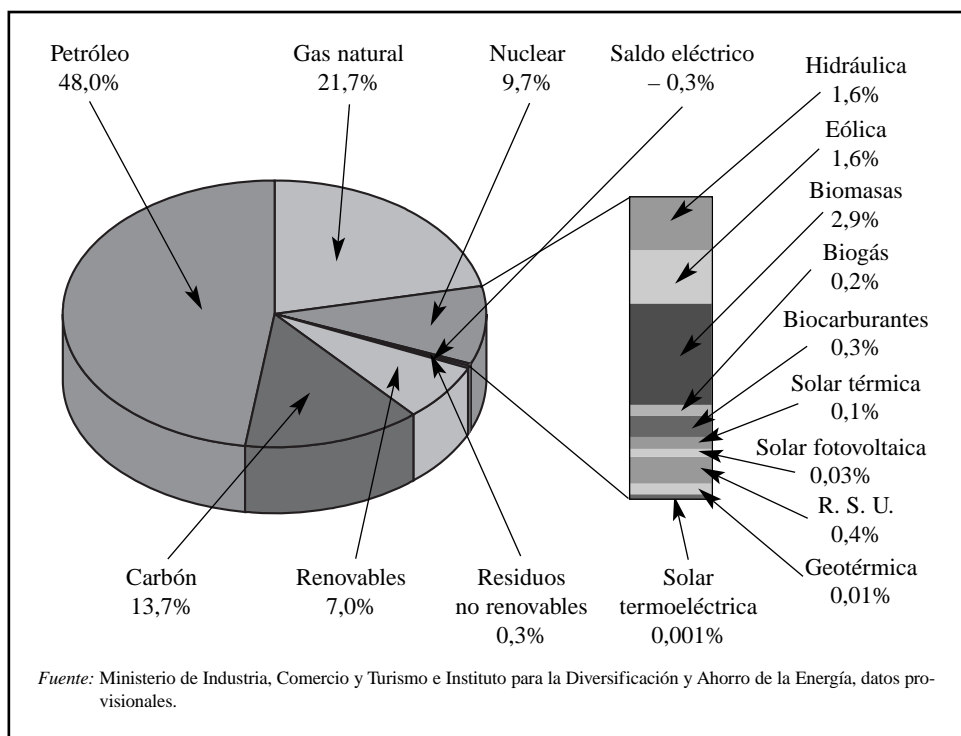


Figura 1.- Balance de energía primaria, año 2007.

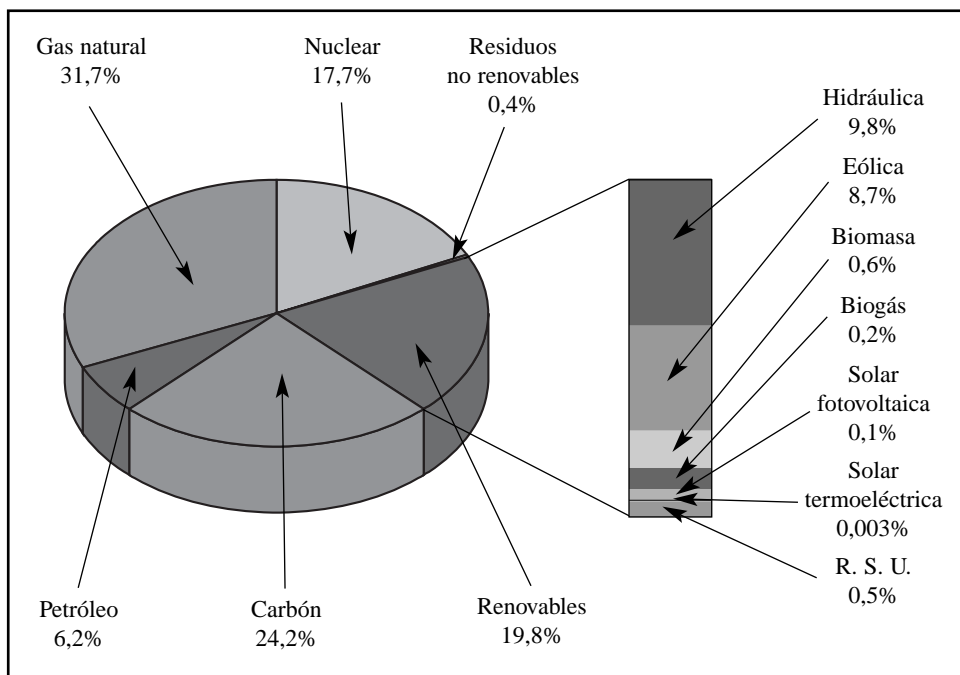


Figura 2.- Balance de producción eléctrica, año 2007.

fotovoltaica; los 59 MW en hidráulica y los 499 Kep de nueva capacidad para biocarburantes.

De hecho, considerando solamente el objetivo establecido para el año 2007 en el propio Plan, el grado de avance de las renovables alcanza un 95% de cumplimiento respecto a dicho objetivo anual.

En la figura 1, se detalla el balance de energía primaria para el año 2007, detallando la contribución de las energías renovables, y en la figura 2, se detalla el balance de la producción de electricidad para el año 2007.

Nuevo PER

En el balance de actuaciones, durante el año 2007 destacan, en el ámbito normativo, la aprobación de la Ley 17/2007 del Sector Eléctrico (que modifica a la Ley 54/97) y de la Ley 12/2007 del Sector de Hidro-

carburos (que modifica a la Ley 34/1998). Ambas están dirigidas a la armonización de los mercados energéticos en línea también con las Directivas europeas.

Otro hito de gran importancia lo constituye la aprobación del nuevo Real Decreto 661/2007, que regula la actividad de producción de energía eléctrica en Régimen Especial, incluyendo el nuevo régimen retributivo de primas, que sustituye al Real Decreto 436/2004.

En cuanto a las actuaciones previstas para el año en curso, también se consideran las directrices de la política energética europea con objetivos cuantificados en el horizonte del año 2020, previéndose además la aprobación de una futura Directiva comunitaria sobre energías renovables.

En España se prevé también que durante el año 2008 se inicie la elaboración de un nuevo PER para su aplicación en el periodo 2011-2020, de acuerdo con el Real Decreto 661/2007, y en el que se incorporen los nuevos compromisos derivados de las directrices comunitarias.

Políticas europeas. Hacia una estrategia baja en carbón. Objetivos 2020

El punto de partida de la política energética europea es triple: luchar contra el cambio climático, limitar la vulnerabilidad exterior de la Unión Europea frente a la importación de hidrocarburos y promover el crecimiento y el empleo, garantizando así una energía a buen precio y de abastecimiento seguro en beneficio del consumidor.

A la luz de las múltiples aportaciones recibidas durante el periodo de consulta del *Libro Verde*, la Comisión propone en esta Revisión Estratégica del Sector de la Energía que la política energética europea sea informada por los siguientes elementos:

- Reducir al menos un 20% las emisiones de gases de efecto invernadero de aquí al año 2020; (ese porcentaje podría llegar al 30% en caso de alcanzarse un acuerdo mundial que comprometa a otros países desarrollados).
- Lograr que las energías renovables representen el 20% del consumo energético de la Unión Europea en el año 2020.
- Reducir las emisiones de efecto invernadero de aquí hasta el año 2050 en un 60%-80%.

IMPLICACIONES DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA POLÍTICA...

El Consejo Europeo reconoció que el medio más idóneo para alcanzar unos objetivos tan ambiciosos es que cada Estado miembro conozca las expectativas y que los objetivos sean jurídicamente vinculantes. De ese modo podrían aprovecharse plenamente los resortes estatales y el sector privado contaría con la confianza exigida a largo plazo para justificar las inversiones necesarias para transformar Europa en una economía de gran eficiencia energética y bajas emisiones de carbono.

¿Cómo alcanzar los objetivos?

El cumplimiento del objetivo del 20% exigirá un enorme crecimiento en los tres sectores de la energía renovable: la electricidad, los biocombustibles y los sistemas de calefacción y refrigeración. En todos ellos, los marcos políticos establecidos en determinados Estados miembros han conseguido resultados que muestran que es posible lograrlo.

Las fuentes de energía renovables tienen potencial para suministrar alrededor de una tercera parte de la electricidad de la Unión Europea en el año 2020. La energía eólica satisface ya aproximadamente el 20% de las necesidades de electricidad de Dinamarca, así como el 8% en España y el 6% en Alemania. Se prevé que disminuyan los elevados costes actuales de otras nuevas tecnologías: fotovoltaica, energía solar térmica y energía del oleaje y de las mareas.

En el sector de la calefacción y la refrigeración, los progresos tendrán que proceder de diversas tecnologías. En Suecia, por ejemplo, hay más de 185.000 bombas de calor geotérmicas instaladas. Alemania y Austria han abierto el camino de la calefacción solar. Si otros Estados miembros alcanzan estos niveles, el porcentaje de energía renovable en el sector de la calefacción y la refrigeración aumentaría en un 50%.

Por lo que respecta a los biocombustibles, en Suecia el bioetanol ha conseguido ya una cuota de mercado del 4% del mercado de la gasolina, y Alemania es el líder mundial en biodiésel, con un 6% del mercado del diésel. Los biocombustibles podrían representar hasta el 14% de los combustibles para transporte en el año 2020.

Junto con las políticas energéticas y para hacer de Europa una economía próspera y sostenible que se sitúe a la cabeza de las tecnologías energéticas limpias, eficiente y con baja emisión de carbono, se ha redactado el SET-PLAN.

IMPLICACIONES DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA POLÍTICA...

De acuerdo con este Plan, los principales retos tecnológicos que deberá superar la Unión Europea para alcanzar todo estos objetivos para el año 2020:

- Lograr que los biocombustibles de la segunda generación representen alternativas competitivas a los combustibles fósiles, manteniendo al mismo tiempo la sostenibilidad de su producción.
- Permitir la utilización comercial de tecnologías de captura, transporte y almacenamiento del CO₂, mediante la demostración a escala industrial, en particular, en lo que se refiere a la eficacia de sistemas completos y a la investigación avanzada.
- Duplicar la capacidad de generación de electricidad de las mayores centrales eólicas, centrándose también en el desarrollo de la energía eólica marina.
- Demostrar la disponibilidad comercial a gran escala de la energía solar fotovoltaica y de la energía solar concentrada.
- Permitir una red eléctrica europea única e inteligente capaz de incorporar la integración masiva de fuentes de energía renovables y descentralizadas.
- Introducir masivamente en el mercado unos dispositivos y sistemas más eficientes de conversión de la energía y de utilización final, en los edificios, en los transportes y en la industria, tales como las pilas de combustible y la poligeneración.
- Mantener la competitividad de las tecnologías de la fisión nuclear, así como también soluciones de gestión de los residuos nucleares a largo plazo.

Estableciéndose para cumplir los objetivos en el horizonte del año 2050 los siguientes retos tecnológicos:

- Lograr la competitividad en el mercado de la próxima generación de tecnologías para las energías renovables.
- Lograr un avance decisivo en la rentabilidad de las tecnologías de almacenamiento de energía.
- Desarrollar las tecnologías y crear las condiciones que permitan a la industria comercializar vehículos con motor de hidrógeno o pilas de combustible.
- Completar los preparativos para la demostración de una nueva generación de reactores de fisión nuclear (Generación IV) para una mayor sostenibilidad.

- Completar la construcción de la instalación de fusión nuclear ITER y asociar rápidamente a la industria a la preparación de acciones de demostración.
- Elaborar objetivos alternativos y estrategias de transición alternativas hacia el desarrollo de las redes energéticas transeuropeas y otros sistemas necesarios para respaldar en el futuro una economía con baja emisión de carbono.

Planificación de los sectores de electricidad y gas en los años 2008-2016

En mayo de 2008, la Subdirección General de Planificación Energética de la Secretaría General de la Energía del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, publicó el Documento «Planificación de los sectores de electricidad y gas 2008-2016», que constituye hasta ahora la fuente más fiable de los planes energéticos a un horizonte a varios años (hasta el año 2016), en tanto se elabora el nuevo PER que incorpore los objetivos comunitarios hasta el año 2020 e inicie algunas indicaciones para el año 2050.

En el Documento se considera la planificación, como uno de los instrumentos que utiliza la Administración para intervenir la actividad económica en la sociedad. Dicha intervención de los gestores del interés público tiene la finalidad de encauzar, racionalizar y facilitar la aplicación de la política energética, en función de aquello que se considera necesario o beneficioso para el conjunto del país.

El suministro de energía es esencial para el funcionamiento de nuestra sociedad, tanto en la provisión y prestación de bienes y servicios como en su faceta de factor de producción de utilización general, pudiendo llegar a representar también una de las claves de la competitividad de muchos sectores económicos.

Este Documento, que supone una revisión de la planificación aprobada en el año 2002, que abarcaba los sistemas gasista y eléctrico en un horizonte temporal 2002-2011, y que fue revisado en el año 2006, incorpora por un lado los efectos de otras políticas energéticas como la Estrategia Española de Ahorro y Eficiencia Energética, 2004-2010, su Plan de Acción 2005-2010, el PER, el Plan Nacional de Asignación de CO₂, etc. y por otro lado tiene como referencia los objetivos que a nivel de la Unión Europea, se han fijado para el año 2020.

Previsiones en el Plan de la Generación en Régimen Ordinario

Los resultados de la cobertura de la demanda que se describirán a continuación, se basan en las siguientes hipótesis:

- *Generación hidráulica*: aumento de 3.000 MW en el equipo de bombeo puro. En la actualidad existen solicitudes de acceso a la red de centrales de esta tecnología por un valor de casi 2.000 MW y los agentes tienen una cartera de proyectos de construcción de centrales reversibles de bombeo puro adicionales a los anteriores que ascienden a otros 2.000 MW. La construcción efectiva de estas instalaciones dependerá también del entorno regulatorio y técnico-económico fundamentalmente.
- *Turbinas de gas*: se ha previsto la instalación de 3.000 MW de este equipo de arranque rápido hasta el año 2016.
- *Equipo nuclear*: no se prevé la puesta en servicio de ningún nuevo grupo adicional a los ya existentes en la actualidad en el parque de generación nuclear español. Se han considerado dos repotenciaciones previstas de 10 MW en el año 2008 y 27 MW en el año 2009.
- *Equipo de carbón*: se ha considerado la baja de los grupos que de acuerdo con la normativa de grandes instalaciones de combustión prevén su cierre en el periodo de análisis y la de aquellos que lleguen al final de su vida útil (estimada en 35 o 40 años, dependiendo de la tecnología). La cifra total de bajas asciende también a unos 3.000 MW.
- *Equipo de fuel*: de forma análoga al caso anterior, se ha considerado la baja de los grupos que según la normativa de grandes instalaciones de combustión tiene previsto su cierre, así como la de aquellos que llegan al final de su vida útil (estimada en 35 años). La cifra total de bajas supone unos 5.000 MW. Se estima que al final del horizonte de estudio permanecerán en servicio menos de 1.000 MW instalados correspondientes a esta tecnología, cuya utilización será fundamentalmente en periodos de punta de demanda.
- *Ciclos combinados*: se considera una horquilla de potencia instalada que varía entre los siguientes valores:
 - Escenario de punta del operador del sistema eléctrico: 28.000 MW en el año 2011 y 35.000 MW en el año 2016.
 - Escenario de punta eficiente: 25.000 MW en el año 2011 y 30.000 MW en el año 2016.

IMPLICACIONES DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA POLÍTICA...

Se ha considerado que la práctica totalidad de las nuevas incorporaciones de generación térmica corresponderán a centrales de ciclo combinado; no obstante, es probable que al final del horizonte de estudio se pongan en servicio grupos de carbón supercríticos, en lugar de ciclos combinados o en sustitución de grupos de carbón tradicionales. En la actualidad existen peticiones de acceso a la red de nuevos grupos de carbón por un total de 2.400 MW, excluyentes de los correspondientes ciclos combinados en la misma ubicación.

Previsiones en el Plan de la Generación en Régimen Especial

La previsión de generación futura en Régimen Especial se ha realizado teniendo como referencia las cifras que se indican el PER (2005-2010) y realizando una evolución tendencial hasta el año 2016 considerando la cifra de 29.000 MW de potencia instalada eólica en 2016 y 4.500 MW en plantas solares, dado el previsible incremento de la penetración de esta tecnología en el sistema eléctrico peninsular español a lo largo del próximo decenio.

En los cuadros 2 y 3 se detallan la evolución prevista de la Generación en Régimen Especial a lo largo del horizonte de la planificación así como el tanto por ciento sobre la potencia instalada.

Cuadro 2.– Evolución de la potencia (MW) en Régimen Especial, sistema peninsular.

Tecnología (MW)	Años			
	2006	2008	2011	2016
Eólica	11.233	14.980	22.000	29.000
Solar	106	530	1.700	4.500
Resto renovable	2.808	4.120	5.310	6.180
<i>TOTAL RENOVABLE</i>	<i>14.147</i>	<i>19.630</i>	<i>29.010</i>	<i>39.680</i>
Cogeneración	6.784	7.000	7.370	7.990
<i>TOTAL RÉGIMEN ESPECIAL</i>	<i>20.931</i>	<i>26.630</i>	<i>36.380</i>	<i>47.670</i>
Porcentaje sobre potencia instalada total	26,5	31,5	37,7	40,9

IMPLICACIONES DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA POLÍTICA...

Cuadro 3.– Evolución de la producción (GWh) en Régimen Especial, sistema peninsular. Año Hidrológico medio.

Tecnología (GWh)	Años			
	2006	2008	2011	2016
Eólica	22.631	31.000	47.000	62.000
Resto	27.607	34.600	45.500	62.500
<i>TOTAL RÉGIMEN ESPECIAL</i>	<i>50.238</i>	<i>65.600</i>	<i>92.500</i>	<i>124.500</i>
Porcentaje sobre potencia instalada total	19,2	23,1	30,0	36,5

Como resumen de los aspectos más relevantes de la planificación descrita en el Documento, se resaltan los cambios más significativos que se prevén en la mezcla de producción de electricidad para el año 2016:

- *Equipo nuclear*: suponiendo el mantenimiento de la potencia instalada, el aumento de la demanda hace que su participación pase del 24% en 2006 a un valor estimado del 17% en el año 2016.
- *Equipo de carbón*: hay una reducción progresiva de esta tecnología de producción desde el 26% en el año 2006 hasta el 14% previsto en el año 2016.
- *Ciclos combinados*: siguiendo el escenario de eficiencia su participación en la mezcla de generación se mantendría estable en torno al 25%. Según el escenario del operador del sistema eléctrico, pasaría del 25% en 2006 a un 29% en el año 2016.
- *Equipo de arranque rápido* (turbinas de gas y bombeo puro): se alcanza el 3% de participación en la cobertura de toda la demanda en el año 2016.
- *Hidráulica* (excepto bombeo puro): mantiene su participación en la mezcla en torno a un 8% del total.
- *Generación eólica*: se prevé un significativo aumento de este tipo de tecnología de generación, pasando del 9% en 2006 a un previsible 19% en el año 2016

La producción de origen renovable (incluida toda la generación hidráulica) pasa del 18% en el año 2006 a una cifra cercana al 32% en el horizonte 2016. Esta previsión de balance de energía futuro y, más concreta-

IMPLICACIONES DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA POLÍTICA...

mente su estructura, implicaría una reducción media del orden del 17% en las emisiones de CO₂ a lo largo de los años del horizonte de estudio, respecto de los valores del año 2005.

En los cuadros 4 y 5, se detallan los balances de potencia y energía para el sistema peninsular en el horizonte del año 2016.

Cuadro 4.– Balance de potencia sistema peninsular punta extrema de invierno, planificación de los sectores de electrificación y gas, años 2008-2016.

Potencia instalada (MW) a final de año	Años			
	2006	2008	2011	2016
Hidráulica convencional más bombeo mixto	13.930	13.930	13.930	13.930
Bombeo puro	2.727	2.727	3.700	5.700
Nuclear (1)	7.716	7.726	7.783	7.783
Carbón	11.424	10.728	9.299	8.240
Fuel/Gas	6.647	1.831	670	320
Ciclos combinados	15.500	20.624	25.400	30.000
Equipo de punta (turbina de gas, etc.)	–	300	600	3.000
Eólica	11.230	14.980	22.000	29.000
Solar	106	530	1.700	4.500
Minihidráulica	1.811	2.000	2.240	2.450
Biomasa	554	1.560	2.360	2.770
Residuos	444	560	710	960
Cogeneración (2)	6.785	7.00	7.370	7.990
<i>TOTAL POTENCIA INSTALADA</i>	<i>78.877</i>	<i>78.196</i>	<i>97.762</i>	<i>116.643</i>
Punta de invierno	41.890 (4)	46.200	50.800	58.700
Margen	6.540 (4)	5.370	5.239	6.029
<i>TOTAL POTENCIA DISPONIBLE (3)</i>	<i>48.430</i>	<i>51.570</i>	<i>56.039</i>	<i>64.729</i>
Índice de cobertura	1,16 (4)	1,12	1,10	1,10

(1) Se ha supuesto el mantenimiento del número de grupos nucleares. En caso de que se produjera el cierre de algún grupo, el sistema sería capaz de asumirlo, bien a costa de disminuir ligeramente el índice de cobertura, bien con generación de otro tipo de tecnología.

(2) El Plan de Acción 2008-2012 de la Estrategia Española de Ahorro y Eficiencia Energética (E4) propone un objetivo de 8.400 MW en el año 2012.

(3) Potencia disponible determinada ex ante a partir de cálculos probabilísticos.

(4) Las cifras del año 2006 corresponden al valor real de la punta de demanda de diciembre de 2006. La punta máxima anual del año 2006 tuvo lugar en enero de 2006 y ascendió a 42.253 MW, con un valor real de potencia disponible de 46.172 MW, que representa un índice de cobertura real de 1,09.

IMPLICACIONES DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA POLÍTICA...

Cuadro 5.– Balance de energía sistema peninsular. Escenario del operador del sistema, planificación de los sectores de electricidad y gas, años 2008-2016.

Balance de energía (GWh)	Años			
	2006	2008	2011	2016
Hidráulica convencional más bombeo mixto	22.652	27.250	27.070	26.000
Bombeo puro	2.678	3.750	4.250	6.750
Nuclear (1)	60.126	59.000	59.000	57.000
Carbón	66.006	60.500	52.000	50.000
Fuel/Gas	5.905	2.000	880	220
Ciclos combinados	63.506	72.226	80.462	101.430
Equipo de punta (turbina de gas, etc.)	–	540	1.080	3.000
Eólica	22.631	28.500	47.000	62.000
Resto régimen especial	27.607	34.600	45.500	62.500
<i>TOTAL PRODUCCIÓN</i>	<i>271.111</i>	<i>288.366</i>	<i>317.242</i>	<i>368.900</i>
Consumos en generación	–8.907	–9.000	–10.000	–11.000
Consumos en bombeo	–5.261	–6.000	–8.000	–10.000
Saldo de intercambios internacionales	–3.280	–	–	–
<i>TOTAL DEMANDA</i>	<i>253.663</i>	<i>273.366</i>	<i>299.242</i>	<i>347.900</i>

(1) Se ha supuesto el mantenimiento del número de grupos nucleares. En caso de que se produjera el cierre de algún grupo, el sistema sería capaz de asumirlo, bien a costa de disminuir ligeramente el índice de cobertura, bien con generación de otro tipo de tecnología.

Resumen y comentarios finales

En general en las políticas energéticas hay un aspecto esencial tendente a reducir los impactos medioambientales y a minimizar la influencia de las causas que contribuyen al cambio climático, fundamentalmente la emisión de gases de efecto invernadero.

Las políticas y directrices comunitarias, persiguen estos objetivos, agrupados bajo un epígrafe general de sostenibilidad, pero también mencionan como un impulso importante dos aspectos: seguridad de suministro, que permita reducir la dependencia energética y competitividad, que permita disminuir los costes a los ciudadanos y a las empresas.

En la actualidad se está en un proceso de incorporación de los nuevos objetivos energéticos de la Unión Europea (20% de energías renovables en

IMPLICACIONES DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA POLÍTICA...

el año 2020, 20% de reducción de emisiones de CO₂) a las políticas energéticas nacionales. Es previsible que en un plazo breve, se redacte un nuevo PER en España, que incorpore estos objetivos.

La Unión Europea en la definición del SET-PLAN ha ligado la consecución de estos objetivos con la oportunidad de iniciar una nueva generación de tecnologías energéticas que permitan abordar los cada vez mayores retos: cambio climático, reducción de la dependencia energética y crecimiento sostenible y situar a los países de la Unión en el liderazgo en tecnologías energéticas con bajas emisiones de carbono. Las energías renovables en todas sus formas (eólica, solar termoeléctrica, biomasa y biocombustibles de segunda generación, empleo de las energías marinas, etc.) tendrán un importante papel en los próximos años.

Bibliografía

PLAN DE ENERGÍAS RENOVABLES DE ESPAÑA: PER (2005-2010). Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), agosto de 2005.

BOLETÍN ELECTRÓNICO DEL IDAE: *Balance Energético 2007*, número 42, junio de 2008.

PLAN ESTRATÉGICO EUROPEO DE TECNOLOGÍA ENERGÉTICA: *Hacia un futuro con baja emisión de carbono*, Comisión de las Comunidades Europeas, noviembre de 2007.

PLANIFICACIÓN DE LOS SECTORES DE ELECTRICIDAD Y GAS 2008-2016: *Desarrollo de las redes de transporte*, Secretaría General de la Energía, Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, mayo de 2008.

ENRIQUE SORIA LASCORZ

*Director de la División de Energías Renovables
del Centro de Investigaciones Energéticas Medioambientales y Tecnológicas*

SOBRE EL PROBLEMA ENERGÉTICO Y MEDIOAMBIENTAL

Recuerdo que el profesor Perpiñá Grau volvió impresionadísimo de la Conferencia de la Población de Belgrado en el año 1965, a causa de las profecías de Hubbert, quien, previamente, como profesor de Geofísica, había anunciado la progresiva desaparición del petróleo. Se trataba, en el fondo, de una reedición de la famosa obra de W. Stanley Jevons, *The coal question*, aquella que profetizaba sobre el futuro de la Revolución Industrial, una vez que hubiera desaparecido el carbón como consecuencia de su carácter de fósil, con un forzoso rendimiento decreciente en su extracción, y por ello, en el incremento de su precio. Al cabo de los años, esta cuestión del carbón y del petróleo, y sus encarecimientos, a causa de las tesis de Arrhenius, viejas de hace un siglo, sobre el papel del CO₂ y el *efecto invernadero*, aún se ha agravado más.

En España todo esto es aún más preocupante, porque el modelo energético que se decidió a partir del parón nuclear de 1982, ha sido uno de gran consumo por unidad adicional de producción. Fernando Becker Zuzua, en su discurso de toma de posesión como académico numerario de la Real Academia de Doctores de España, titulado *Un nuevo escenario energético* señala que esto, que se conoce con el nombre de *intensidad energética*, alcanzó su máximo histórico a escala mundial en el año 1970 y «desde entonces ha experimentado una reducción constante y acumula una disminución del 30% a partir de los máximos», pero «España, a diferencia del resto de los países desarrollados, sigue mostrando incrementos de la intensidad energética y en la actualidad ha superado los valores registrados por el conjunto de economías pertenecientes a la Unión Europea».

Además, España exhibe una colosal dependencia de importaciones de energía primaria, fundamentalmente de petróleo y de gas natural, que sube desde un 77,9% en el año 2002 a un 81,4% en 2006, según la Secretaría General de la Energía del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. Según *Eurostat* se encuentran los porcentajes españoles entre los máximos de la Unión Europea-27, con Chipre, Malta, Luxemburgo, Irlanda, Portugal e Italia. Como contraste, según los últimos datos publicados para el año 2005, toda Europa precisa traer del exterior el 52,9% de sus necesidades de energía primaria, y no se alegra precisamente al prever que en el año 2025 precisará importar el 65%. Concretamente en 2007, el autoabastecimiento español de carbón fue de un 29,1% –en 2002 del 35,1%–; el de petróleo, de un 0,2% –en 2002 de un 0,5%– y el de gas natural, de un 0%, y en el año 2002 del 2,5%. Y estos tres productos funcionan en el mercado internacional con un muy alto grado de monopolio, y la noticia derivada, es una carga muy fuerte en nuestro déficit comercial como consecuencia del choque de sus precios.

El déficit del comercio exterior de productos energéticos no ha cesado de aumentar de los años 2002 a 2007, pasando de 15.700 millones de euros en el año 2002 a 33.900 millones en 2007. Según la estimación publicada en ese valioso Documento de Foro Nuclear que es «Energía 2008», las previsiones para el año 2011 de consumo español de energía primaria se distribuirían así, respecto al total del consumo respectivo: un 8,9% de carbón; un 44,7% de petróleo; un 23,4% de gas natural; un 9,9% de energía nuclear, y un 13,1% de energías renovables.

Por tanto, tenemos, en principio, ante nosotros, aun con la caída de los precios del petróleo consecuencia de la crisis económica que golpea ya a casi todos los países, un panorama de encarecimiento –lo que es un freno al desarrollo– y de empeoramiento de la balanza comercial, que es asimismo, otro freno. De ahí el interés del homenaje que se tributó a la impagable personalidad de Loyola de Palacio el 1 de octubre de 2007, en la *European Energy Challenges*, una reunión científica organizada por la IE Business School tal como se publicó en *Nueva Revista*, diciembre de 2007. He aquí unos párrafos significativos de lo que allí se dijo.

En primer lugar Ana Palacio sintetizó así los puntos esenciales de lo logrado por su hermana en sus tareas en el ámbito comunitario:

1. «Medidas para salvaguardar el suministro de energía en Europa. Lanzó el diálogo de la energía con Rusia en el año 2000 y logró

SOBRE EL PROBLEMA ENERGÉTICO Y MEDIOAMBIENTAL

fomentar la integración de los países vecinos en una comunidad energética.

2. La competitividad de la industria europea. Mediante el acuerdo histórico de liberalización de los mercados eléctricos y del gas en la Unión Europea en 2002, estableció los cimientos de un mercado energético verdaderamente interior que condujo a una competencia sana entre operadores, respetando al mismo tiempo las exigencias del ámbito del servicio público.
3. Fomento de medidas medioambientales y de la energía eficaz. Su ambicioso plan para aumentar la eficacia de la energía cobró forma en la propuesta europea de eficacia energética para edificios que se adoptó en 2002.»

A ello se deben añadir «sus numerosas propuestas innovadoras», entre las que se encuentran «las relacionadas con combustibles biológicos (adoptada en 2003), la de cogeneración (adoptada en 2004), y la primera Directiva de la historia de la Unión Europea sobre energías renovables (adoptada en 2001). También introdujo el debate acerca del papel de la energía nuclear».

En esa misma revista Alejo Vidal Quadras, bajo el título «La energía, una prioridad europea» escribe:

«Precisamente porque las renovables todavía no son una alternativa creíble a los combustibles fósiles, no podemos prescindir de la energía nuclear tal como dejó establecido el Consejo de Europa en sus conclusiones de la cumbre de primavera de este año. Y por eso se ha decidido que la contribución nuclear se tendrá en cuenta cuando se haga el reparto del esfuerzo entre Estados miembros para el aumento de las renovables. A ciertos partidos políticos y grupos sociales este planteamiento les suscita serias reservas, pero si realmente pretendiéramos reducir nuestras emisiones de CO₂, sin penalizar desproporcionadamente a nuestra industria ni a los consumidores, la energía nuclear que, por supuesto, no es la solución, ha de ser parte de ésta. A pesar del empeño de algunos en convencer al público que esta fuente de energía está en vía de extinción, no podrían estar más equivocados. Sólo en la Unión Europea, Finlandia, Francia, Eslovaquia, Rumania, Bulgaria, Holanda, Estonia, Letonia y Lituania, están decididamente embarcados en un claro renacimiento nuclear. En cuanto a las econo-

SOBRE EL PROBLEMA ENERGÉTICO Y MEDIOAMBIENTAL

mías emergentes, se proponen a su vez desarrollar programas masivos de construcción de centrales de fisión. Existe seguridad de aprovisionamiento de uranio, ya que las principales reservas se encuentran en países muy estables políticamente: Australia, Canadá, Kazajistán y Suráfrica se estima que el aprovisionamiento en combustible nuclear está garantizado durante unos 250 años al nivel presente de consumo.»

Y en la misma reunión, como se observa de su excelente artículo «Política energética»: el gran ausente, el catedrático de Economía de la Universidad Complutense, José T. Raga puso también un broche de oro ante mil simplismos:

«Pensar hoy que la solución al problema energético está en manos de la energía eólica o de la solar, no pasa de ser una afirmación gratuita, además de suicida. Ni tecnológicamente, ni menos aún económicamente, existe el mínimo espacio para pensar en tal solución.»

Por lo que respecta a la cuestión de los biocombustibles, de la que también se ocupó Loyola de Palacio, fue magníficamente sintetizada por Jaime Lamo de Espinosa en su aportación «Producir para los biocombustibles», publicada en *Vida Rural* el 1 de octubre de 2007. En ella, en primer lugar, sintetiza un trabajo de Vidal Maté, publicado en *El País* el 24 de septiembre de 2007, donde se supone que la producción española de biocombustibles apunta a la necesidad de disponer de:

«Una superficie de 1,5 millones de hectáreas en el horizonte de 2010, dedicadas a la producción de cebada, trigo, maíz, girasol, colza y remolacha. A ello habrá que añadir cereales de importación, si la demanda se acelerara. Y para lograr tal extensión de la superficie –que incluso podría superarse– precisa acuerdos interprofesionales para incentivar las siembras, tecnología, y también de ayudas directas mayores para los agricultores, así como bonificaciones en la fiscalidad que grava a este tipo de combustibles.»

En segundo término, también el 24 de septiembre de 2007, Michel Alberganti, en *Le Monde*, plantea la alternativa, para biocombustibles, del maíz transgénico, que trata de llevar adelante en Estados Unidos, la empresa AgroVida.

SOBRE EL PROBLEMA ENERGÉTICO Y MEDIOAMBIENTAL

Lamo de Espinosa, con esta base opina sobre la posibilidad de que nuestros agricultores se planteen la alternativa de la generación de biocombustibles. Pero inmediatamente añade que:

«Su futuro dependerá en buena parte del número de agricultores que España mantenga a medio plazo y de que tales cultivos tengan las ayudas precisas para que su rentabilidad quede asegurada... La legitimidad de tales ayudas en estos supuestos es indiscutible si pensamos que ayudan a mejorar nuestra atmósfera por una doble vía. Por ello la Comisión debería ser generosa... El camino ya está abierto. Sólo faltan para su consolidación, las ayudas a los agricultores y las mejoras fiscales al combustible. No debería ser difícil que una concertación entre los grandes países agrarios del sur de la Unión Europea lograra allanar este camino.»

Por su parte hace una aportación fundamental Gabriel Calzada, presidente del Instituto «Juan de Mariana», en *Época* de 28 de diciembre de 2007 a 3 de enero de 2008, bajo el título de «“Burbuja” de renovables» para explicar por qué es preciso matizar mucho la alternativa de las energías renovables, que tantos entusiasmos parecen despertar. Y es que debe tenerse en cuenta que estas energías:

«Producen una enorme redistribución de rentas (de millones de familias hacia aquellos privilegiados que obtienen la licencia para instalar molinos eólicos o paneles fotovoltaicos), y generan un espejismo... (porque) la ciudadanía tiende a creer que los campos eólicos producen una generación neta de puestos de trabajo, cuando la realidad es que se han destruido esos puestos en otros sectores (producto de esos recursos desviados políticamente hacia la producción eólica). Por otro lado la intervención política en los precios distorsiona también la mezcla de producción energética, hace que determinadas formas de producción como la energía eólica estén sobrevaloradas en los mercados de valores y colocan al sistema energético en una situación de extrema vulnerabilidad a la hora de garantizar el suministro cuando se dan picos de demanda.»

Por cierto que en ese mismo número de *Época*, un buen artículo de Begoña Marín, «Fórmulas energéticas para cumplir el Protocolo de Kioto.

SOBRE EL PROBLEMA ENERGÉTICO Y MEDIOAMBIENTAL

¿Son gigantes, Sancho? No, son reactores nucleares», pone un buen final para estas páginas:

«Las llamadas energías renovables se mantienen gracias a los 4.000 millones de euros que salen de las arcas públicas al año. Con las nucleares, el coste sería de 36 euros el MWh.»

Y con estas energías alternativas, ese coste es mucho más alto. Como prueba la placa solar que se instala en La Moncloa, ese coste es de 380 euros/MWh:

«Es decir –concluye irónicamente– por cada conejo que se cocinó para la cena navideña con energía fotovoltaica podrían prepararse diez con la nuclear.»

España no tiene otra salida, si desea que disminuya su contribución al envío de CO₂ a la atmósfera para cumplir las condiciones de Kioto y, al propio tiempo, si intenta disminuir el saldo negativo de su balanza comercial, a más de abaratar el coste de la energía para los usuarios, que aceptar la opción nuclear, dado que se han agotado ya las posibilidades de la hidroelectricidad entre nosotros. A precios del año 2003, en euros, a tipos reales de interés del 0,5%, y 40 años de vida por planta nuclear y de gas natural, en el trabajo de R. Tarjanne y K. Luostarinen, de la Universidad Tecnológica de Lappeenranta, titulado *Generation Costs Without investment subsidy and the return of electricity tax (wood and wind)*, operando todas las centrales 8.000 horas año, salvo las eólicas, que se considera operan 2.200 horas/año, y con una compra de derechos de emisión de 20 euros por tonelada de CO₂, se publicó el siguiente panorama de costes en euros por MWh, cuadro 1.

Cuadro 1.– Coste en euros/MWh.

Tipo de energía	Costes del capital	Costes del combustible	Otros costes	Derechos de emisión	TOTAL DEL COSTE
Turba	10,2	17,9	6,5	14,6	54,2
Eólica	40,1	–	10,0	–	50,1
Madera	13,0	23,1	8,2	–	44,3
Carbón	7,6	13,1	7,4	16,2	44,3
Gas natural	5,3	23,4	3,5	7,0	39,2
Nuclear	13,8	2,7	7,2	–	23,7

SOBRE EL PROBLEMA ENERGÉTICO Y MEDIOAMBIENTAL

Con todas las diferencias espaciales –de Finlandia a España– y temporales –han cambiado los precios y los tipos de interés–, ese cuadro tiene evidente vigencia, tanto por lo que respecta al coste de generación de electricidad como al del mantenimiento del medio ambiente. En el estudio finés a que se ha hecho referencia, se considera que si se dobla el precio del combustible, el coste de generación de la electricidad de origen nuclear se incrementa en alrededor de un 9%; en el caso del carbón, lo hace en un 31% y en el del gas, en un 66%, cifras prácticamente iguales a las del informe de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) de 1992 en el *Electricity Supply in the OECD* o, si se prefiere, el estudio *Projected costs of generating electricity*, OCDE/Agencia Internacional de la Energía y la Agencia Nuclear de Energía en el 2005, ratifica todo esto.

JUAN VELARDE FUENTES

*Catedrático emérito de Estructura Económica de la UCM
Consejero del Tribunal de Cuentas*

COMPOSICIÓN DEL GRUPO DE TRABAJO

Presidente: D. GUILLERMO VELARDE PINACHO

*Catedrático emérito de Física Nuclear.
General de división del Ejército del Aire.
Académico de la European Academy of Sciences.
Presidente del Instituto de Fusión Nuclear de la UPM.*

Secretaria general: D.^a NATIVIDAD CARPINTERO SANTAMARÍA

*Profesora titular de la UPM.
Académica correspondiente de la European Academy of Sciences.*

Secretario: D. LUIS ORAA SÁNCHEZ-CANO

*Teniente coronel del Ejército de Tierra.
Secretaría General Técnica, CESEDEN, EMAD.*

D.^a CAROLINA AHNERT IGLESIAS

*Catedrática de Ingeniería Nuclear de la Escuela Técnica Superior
de Ingenieros Navales de la UPM.
Directora del Departamento de Ingeniería Nuclear de la UPM.*

D. RAFAEL CARO MANSO

*Ex consejero del Consejo de Seguridad Nuclear.
Asesor del Centro de Investigaciones Energéticas Medioambientales
y Tecnológicas.*

D. JOSÉ LUIS DÍAZ FERNÁNDEZ

*Catedrático emérito de Mecánica Racional y Mecánica de Fluidos
de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de la UPM.
Ex presidente de ENPETROL, CAMPSA, CLH y REPSOL Petróleo.
Presidente de la Asociación Española para la Economía Energética.*

D. MARIANO MARTÍN ROSADO

*Abogado del Estado en la Agencia Estatal de Meteorología
y en el Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino.*

D. EMILIO MÍNGUEZ TORRES

*Catedrático de Tecnología Nuclear de la Escuela Técnica Superior
de Ingenieros Industriales. Vicerrector de la UPM.*

D. JOSÉ MANUEL PERLADO MARTÍN
*Catedrático de Física Nuclear de la Escuela Técnica Superior
de Ingenieros Industriales de la UPM.*
Director del Instituto de Fusión Nuclear de la UPM.

D. JOSÉ IGNACIO ROBLES SAEZ
Teniente coronel de Estado Mayor. EMACON
Sección de Recursos (DIVLOG).

D. JUAN JOSÉ SANZ DONAIRE
Catedrático de Geografía Física de la UCM.
Vocal de la Real Sociedad Geográfica.

D. ENRIQUE SORIA LASCORZ
Director de la División de Energías Renovables
del Centro de Investigaciones Energéticas Medioambientales
y Tecnológicas.

D. JUAN VELARDE FUERTES
Catedrático emérito de Estructura Económica de la UCM.
Académico de número de la Real Academia de Ciencias Morales
y Políticas. Consejero del Tribunal de Cuentas.

Las ideas contenidas en este trabajo son de responsabilidad de sus autores, sin que refleje, necesariamente el pensamiento del CESEDEN, que patrocina su publicación.

DOCUMENTOS DE SEGURIDAD Y DEFENSA

1. Visión española del África Subsahariana: Seguridad y Defensa.
2. Futuro de Kosovo. Implicaciones para España.
3. Actuación de las Fuerzas Armadas en la consolidación de la paz.
4. El futuro de la OTAN después de Riga.
5. La cooperación militar española con Guinea Ecuatorial.
6. El control de los flujos migratorios hacia España: situación actual y propuestas de actuación.
7. Posible evolución de Afganistán. Papel de la OTAN.
8. Modelo español de Seguridad y Defensa.
9. Posibles escenarios de los *battlegroups* de la Unión Europea.
10. Evolución geopolítica del norte de África: implicaciones para España.
11. La aportación de las Fuerzas Armadas a la Economía Nacional.
12. Reflexiones sobre la evaluación del conflicto de Irlanda del Norte.
13. Fuerzas Armadas y medio ambiente
14. La configuración de las Fuerzas Armadas como entidad única en el nuevo entorno de Seguridad y Defensa.
15. Seguridad y Defensa en Iberoamérica: posibilidades actuales para la cooperación.
16. España y el conflicto del Líbano.
17. La aproximación estratégica a la Europa del Este.
18. La crisis energética y su repercusión en la economía. Seguridad y Defensa Nacional.
19. Seguridad y estabilidad en la cuenca mediterránea.
20. La intervención de las Fuerzas Armadas en el apoyo a catástrofe.
21. Medidas de confianza en el campo de la seguridad en el área euromediterránea.

- 22.** Las Fuerzas Armadas y la legislación tributaria.
- 23.** Dimensión ético-moral de los cuadros de mando de los Ejércitos.
- 24.** Iniciativa norteamericana de misiles y su repercusión en la Seguridad Internacional.
- 25.** Hacia una Estrategia de Seguridad Nacional para España.

