



Apéndice

Cambio climático en España: Problemas y soluciones

Antonio Ruiz de Elvira

España está, y lo veremos en estas páginas, metida muy dentro del cambio climático. Estamos, en el mundo, envueltos en un cambio climático de proporciones inimaginables, inimaginables porque nuestra experiencia vital y nuestro conocimiento científico no tienen nada que ver con el mismo. La experiencia vital se reduce a unos años, la memoria histórica, a la conciencia de nuestros abuelos. En esos intervalos el clima cambiaba muy poco, o realmente nada. El clima es la distribución de probabilidad de la evolución en el tiempo y en el espacio de las variables meteorológicas, y en la experiencia vital de nuestros profesores, de nuestros maestros, no se la había visto cambiar. Pero tampoco en el conocimiento científico. Los cambios climáticos más rápidos de los que teníamos noticia en la ciencia habían ocurrido en intervalos de miles de años, salvo impactos de meteoritos de los cuales no queda registro climático. El cambio actual está ocurriendo en un intervalo de unos doscientos años.

El cambio climático es como un cambio de régimen político: es como pasar de una monarquía a una república. Algunas de las leyes dejan de ser las anteriores y es preciso aprender las nuevas. Cambio climático no significa únicamente un aumento de la temperatura, sino mucho más, es esencialmente un cambio en la forma en la que se mueven las masas de aire y en la forma en la que se distribuye la

Antonio Ruiz de Elvira, es presidente del Comité Científico del European Climate Forum, catedrático de Física Aplicada, Universidad de Alcalá.

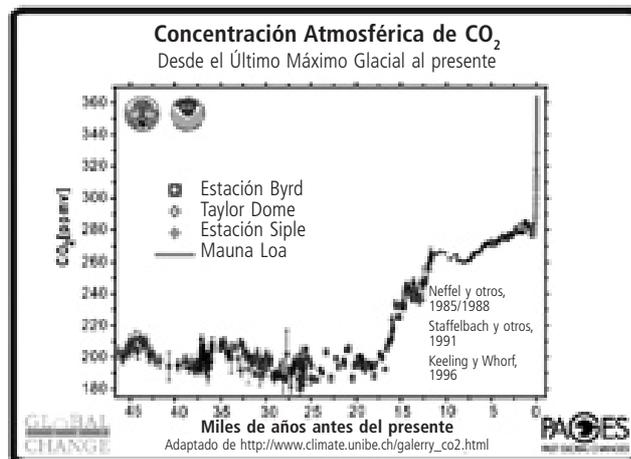


precipitación del vapor de agua, un cambio en algunas de las leyes empíricas de la meteorología.

En cada deglaciación del último millón de años la concentración de CO₂ en la atmósfera aumentó en unas 100 partes por millón (ppm), pero el aumento ocurrió a lo largo de unos 5000 años. Hoy hemos causado ese mismo aumento de 100 ppm, pero ahora en 200 años.

El registro del aumento de concentración de CO₂ en nuestro planeta es de la siguiente forma: donde podemos ver que la subida de 100 ppm de la concentración de CO₂ en los últimos 130 años es unas 38 veces más rápida que la correspondiente a la última deglaciación, en la que

Figura 1. Evolución de la concentración de CO₂ en la atmósfera de la Tierra



la misma subida ocurrió en 5000 años. Si, como es de esperar, porque las medidas de contención no se ponen en marcha, la concentración de CO₂ sube 200, 300 o 400 ppm en el siglo XXI, esa subida será la mayor y más rápida de los últimos 20 millones de años.

Esta es la realidad. La medida. Son los datos. Son incontrovertibles. Tenemos hoy más CO₂ en la atmósfera del que hemos tenido en el último millón de años.

Y, ¿qué pasa en España?

La península ibérica está en una zona de transición meteorológica, y tiene varias características especiales: una parte considerable de su su-

perficie se encuentra a una altura media de 600 m sobre el nivel del mar, y una parte importante de su zona económica está en una franja de unos 50 km entre el mar Mediterráneo y las colinas. La temperatura en España es la que corresponde al país más sureño de Europa (el sur de Sicilia corresponde en latitud a la de Córdoba, y sólo Creta es más sureña que Algeciras), y la precipitación sobre nuestro territorio, al depender del chorro polar, queda en buena medida fuera de la trayectoria de éste, que se disponía, en media, a mediados del siglo XX, al norte de la costa cantábrica.

Cuando existe una diferencia de temperaturas en la superficie de la Tierra en la dirección Sur-Norte, y debido al giro del globo terráqueo, el movimiento del aire se acelera en la dirección Oeste-Este, incrementándose su velocidad según aumenta la altura: es un efecto que mezcla las tres direcciones espaciales, la rotación de la Tierra y las diferencias de temperatura. La aceleración es máxima en el punto de latitud de máximo gradiente de temperaturas, y ahí se genera un poderoso río de aire, el chorro polar.

La temperatura de los trópicos es esencialmente siempre la misma a lo largo del año, e incluso con el efecto del cambio climático no ha de subir más que un par de grados. La razón de esto es que los trópicos son o bien agua, o suelo empapado en agua. Si damos energía al agua líquida ésta se evapora, y captura 2,26 MJ o 0,627 kWh por cada kilogramo de agua evaporada. Calentar los trópicos genera más vapor de agua y no tanto aumento de su temperatura.

Figura 2. Chorro y meandros.

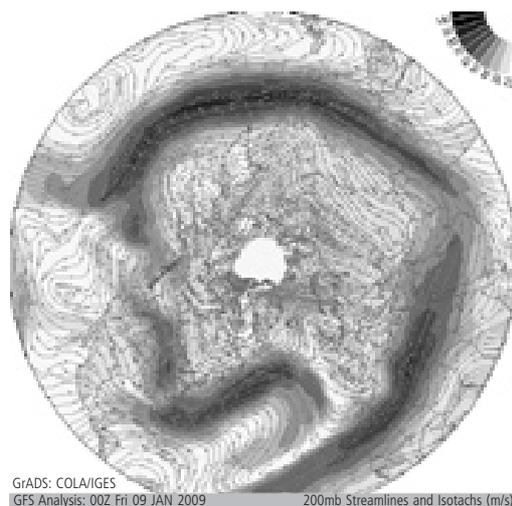
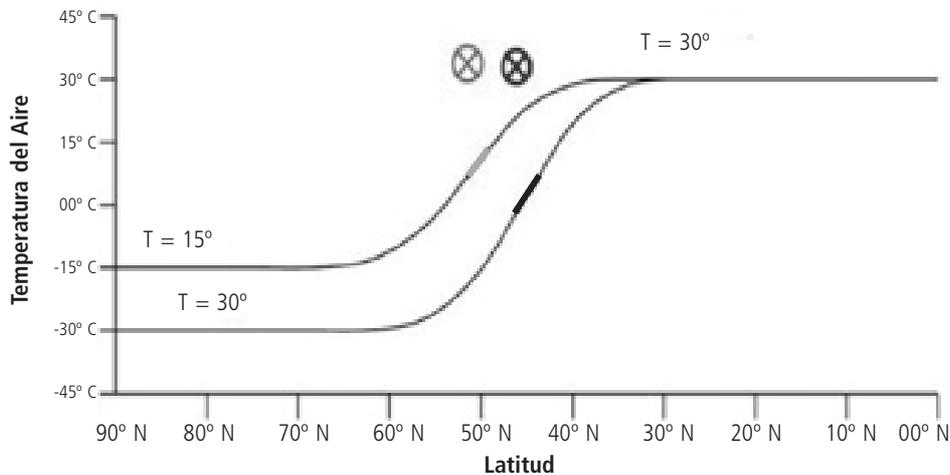


Figura 3. Gradientes meridianos de temperatura



Por el contrario, puesto que los polos están muy fríos, su temperatura puede aumentar mucho (de -30°C a 0°C) antes de que comience la fusión del hielo.

En una situación de cambio climático aumentará mucho la temperatura del polo en relación al aumento de temperatura de los trópicos: 8°C en los polos por unos 2°C en los trópicos. Al ocurrir esto disminuirá (y está disminuyendo) el gradiente de temperaturas, y el punto de máximo gradiente se desplazará (se ha desplazado ya en una pequeña medida) hacia el norte, en media.

El chorro polar, o chorro, como todos los ríos, hace meandros. Si recordamos como se mueve un río veremos que cuando el gradiente, la pendiente del mismo es alta (en las montañas), el río circula casi en línea recta, mientras que en la llanura, cuando no hay casi pendiente, los meandros del río son muy pronunciados.

Esto mismo está ocurriendo con el chorro polar. En los años cincuenta del siglo XX la posición media del chorro estaba alrededor de los 45°N y sus meandros eran suaves. Hoy, al haber subido la temperatura del Polo la posición media se desplazado hacia los 47°C y sus meandros son mucho más pronunciados.

Ahora bien, los meandros del chorro generan variaciones de presión en altura, a unos 11 km sobre la superficie del planeta. Un área de altas presiones en altura corresponde con un área de presiones bajas, con una borrasca en superficie, algo desplazada de la vertical de la zona de alta presión arriba. Los meandros del chorro, cuando el movimiento de éste

es del suroeste al noroeste, generan una inyección de aire relativamente cálida y húmeda bajo su trayectoria: son los tradicionales frentes cálidos de la meteorología. Cuando el meandro implica un movimiento de aire del noroeste al sureste entra aire muy frío y seco sobre España.

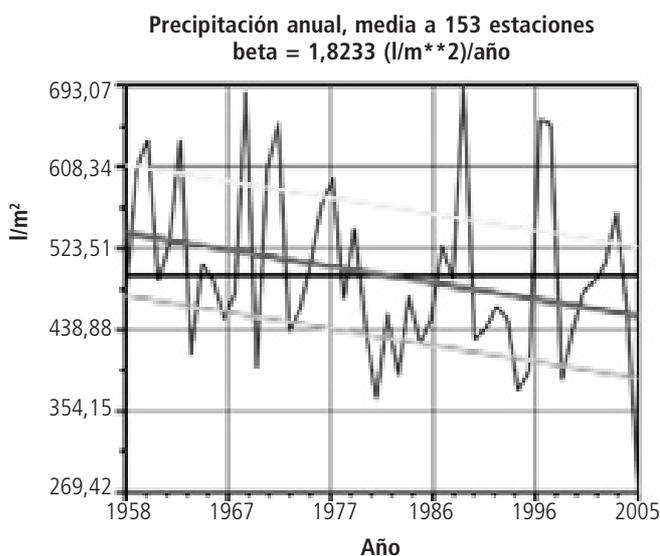
Vemos así que un ligero desplazamiento del chorro afecta algo a los países del norte de Europa, que están de lleno dentro de su trayectoria, pero tiene unas consecuencias, que vamos a ver a continuación, tremendas sobre nuestro país ya que, al encontrarse éste en el borde sur de su trayectoria, un desplazamiento pequeño de aquel afecta de manera determinante a las lluvias que deben mojar nuestro suelo. Ahora bien, acabamos de ver que la posición del chorro y la amplitud de sus meandros dependen de la temperatura del polo. En una situación de cambio climático donde más debe subir la temperatura es en los polos, comenzando por el polo norte.

Es claro que una situación de cambio climático debe tener efectos sobre la cantidad de agua de lluvia sobre España. ¿Es esto así?

Veamos que nos dicen las medidas de los observatorios meteorológicos españoles (agradezco aquí la colaboración de la Aemet).

Lo primero, es que la cantidad total de agua precipitada en España que ha caído desde 1958 hasta 2005 (y mediante datos provisionales, hasta el presente), un intervalo de 48 años, que equivalen al menos a tres de las oscilaciones naturales que experimentan las lluvias en nuestra región y

Figura 4. Precipitación media anual en España



cuyos tiempos característicos son de 14 años con una incertidumbre de 2 años. La tendencia lineal es de $-1.82 \text{ (l/m}^2\text{)/año}$, es decir, una disminución de 88 litros en 48 años, en media a 153 estaciones en toda España.

Teniendo en cuenta que la precipitación media ha sido de unos 494 l/m^2 , 88 litros suponen una disminución de la lluvia global en España de un 18% en 48 años. La desviación estándar de la tendencia es de $\pm 0,92 \text{ (l/m}^2\text{)/año}$. Una prueba de significancia estadística nos indica que la tendencia es significativa al 95%.

Han existido aumentos de las cantidades de lluvia en ciertas estaciones de medida, y como veremos, los modelos matemáticos predicen aumentos a lo largo de los primeros 40 años del siglo XXI en la zona costera mediterránea. Los aumentos de la precipitación anual se han concentrado en las regiones de Valencia y Murcia, incluyendo la Sierra del Segura, y ha habido aumentos en algunos puntos de Castilla y León, y en la cabecera del Ebro.

Es interesante indicar que la distribución de lluvias a lo largo de los meses ha cambiado en estos últimos 48 años, produciéndose una disminución notable en los meses de febrero, marzo y junio (2005 respecto a 1948), con aumentos suaves en los meses de octubre, abril mayo. Es decir, ha cambiado la distribución temporal de las lluvias.

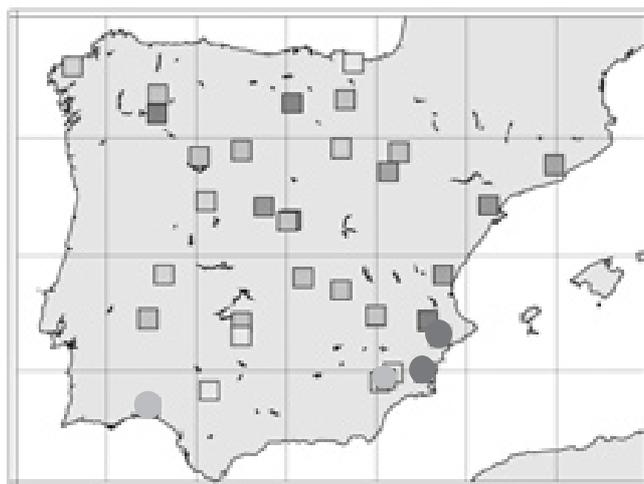
Con respecto a las temperaturas fuera de las ciudades (que son las que nos indican de mejor manera la evolución de la temperatura en España, pues las de las ciudades están contaminadas por lo que se conoce como «efecto de islas térmica», es decir, un aumento concomitante con el aumento del parque de edificios que utilizan calefacción en invierno y aire acondicionado en verano, sistemas que aumentan localmente la temperatura del aire) debemos decir que hay muy pocas estaciones de medida con datos fiables, muchas menos que las que corresponden a las medidas de precipitación. Hemos encontrado 33 de estas estaciones repartidas irregularmente en el territorio español. Pero, aunque pocas, son perfectamente indicativas, pues la temperatura, al revés que la lluvia, es una variable homogénea, que se puede tomar como continua en una región espacial amplia.

En la Figura 5 observamos las tendencias de aumento de temperatura a lo largo de los años entre 1958 y 2005. Existe tendencia de subida de las temperaturas máximas diarias en casi todas las estaciones salvo las de la región murciana, tanto en los máximos anuales como en los mínimos anuales de estas temperaturas máximas diarias. Con respecto a las mínimas diarias, observamos también una subida generalizada salvo en algunos puntos de medida, como la zona de Sanabria en Zamora, y de nuevo la región de Murcia.

Figura 5. Tendencia lineal de evolución de las máximas anuales de las temperaturas máximas diarias en España

**T2 máxima-máximos. Datos estaciones.
Evolución lineal, 1958-2005. Pendiente x 48 años**

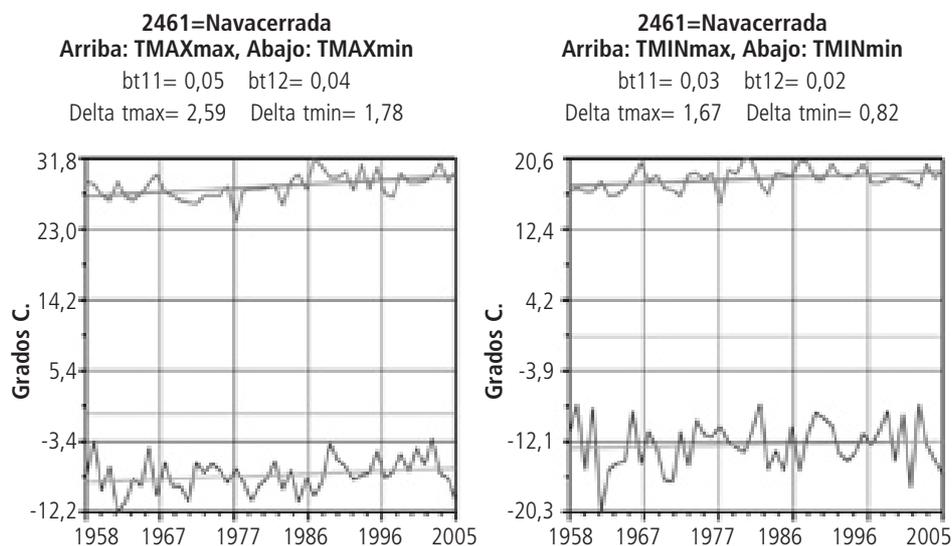
Aumento máximo: 6,73 deg C. Disminución máxima: -1,90 deg C.
Color más intenso: Aumento/Dism fuerte. Menos intenso: Ligero
Cuadrado: Aumento temperatura. Redonda: Reducción temperatura



La subida a lo largo de estos 48 años ha sido de unos 3°C en media en las 33 estaciones, con un máximo de 6.7°C en Sanabria, para las máximas diarias, de unos 1.5°C para las mínimas diarias, marcándose, en la estación de Sanabria las mayores desviaciones, con una subida muy fuerte de la temperatura máxima y una disminución también muy intensa de la temperatura mínima.

En la Figura 6 podemos observar la evolución de estas temperaturas en una estación que puede servir de ejemplo para el resto de los puntos de España: la de Navacerrada, lejos de la isla térmica de Madrid. Vemos en esta figura lo que quiere decir cambio climático: una tendencia clara de aumento de las máximas anuales de las temperaturas máximas y mínimas diarias, así como de las mínimas anuales de las temperaturas máximas diarias, con un aumento más suave de las mínimas anuales de las mínimas diarias. Esos aumentos varían entre los 2.6°C de las máximas de las máximas a los 0.8°C de las mínimas de las mínimas, pero son aumentos en cualquier caso.

Figura 6. Evolución de las temperaturas máxima y mínima anual en Navacerrada.



Es interesante fijarse en que dentro de esa subida constante en tendencia, de las temperaturas, hay episodios de bajada, no de la tendencia, sino de las temperaturas. Así, por ejemplo, en 1977 vemos una disminución de las máximas anuales de las temperaturas máxima y mínima diarias de alrededor de 4°C, mucho mayor que la subida a lo largo de los 48 años. Igualmente hay años de temperaturas más altas. Son estos episodios de temperaturas bajas puntuales los que llevan a una cierta parte de la población a decir que no existe cambio climático.

Es preciso tener bien claro qué significan tendencias y desviaciones en fenómenos como el clima y, por ejemplo, la economía. No es posible negar que la riqueza de la población humana ha crecido desde 1900 hasta ahora. Sin embargo, hemos experimentado crisis económicas de depresión como las de 1930 y la actual que ha empezado en 2008. ¿Pueden estas disminuciones momentáneas de la riqueza invalidar la tendencia de aumento de la misma? Exactamente igual debemos considerar la evolución de las temperaturas del planeta, y de España en particular. La tendencia es clara, aunque también es claro que existen desviaciones puntuales de la misma.

¿Qué nos dicen los modelos?

El modelo REMO, desarrollado en el Max Planck Institut of Meteorology de Hamburgo, en Alemania, es un modelo de alta resolución, con un tamaño de rejilla de 50 x 50 km, que utiliza como condiciones de contorno las producidas por el modelo climático global ECHAM del mismo Instituto, y les añade topografía detallada y física del suelo y de la vegetación. Sus resultados son muy interesantes. En primer lugar, nos indican una subida de las temperaturas máximas y mínimas diarias del mismo orden que el observado en las estaciones de medida: 1,8°C en 40 años en subida máxima, y 1,3°C en media a los 239 puntos de rejilla que cubren la península. Las subidas lineales implican, como es de esperar, episodios puntuales de uno o dos años en los cuales la temperatura bajará substancialmente en toda España, para regocijo de los escépticos del cambio climático.

Con respecto a las precipitaciones, e indicando que los modelos de cálculo son modelos que derivan de condiciones iniciales y que exigen, para su validación, una serie de repeticiones con distintas condiciones iniciales que están en proceso de realización, los modelos nos indican que las predicciones son realistas (por comparación con la evolución medida de los últimos 48 años) con respecto a las predicciones de precipitación anual, en las que se observa una disminución anual máxima de 140 litros en el centro de España en 40 años, lo que supone una reducción de un 25% de la cantidad de agua recogida en la Mancha y en las cabeceras del Tajo y del Guadalquivir, desde el año 2000 al 2040. Por el contrario, el modelo de predicción indica un aumento de la cantidad de lluvia anual en la región mediterránea, concentrada esencialmente en los fenómenos violentos de otoño y, en Murcia, en primavera.

Con respecto a las precipitaciones estacionales el modelo funciona peor y es conocido que sufre un desfase de unos 15 días con respecto a la realidad. De cualquier forma, es lo único que tenemos para estimar ésta en el futuro. Lo que nos dice el modelo es que la lluvia debe disminuir en la zona centro española en la estación de invierno meteorológico, diciembre, enero y febrero, y aumentar en esa estación del año en la zona noroeste y Castilla y León. En las dos estaciones de las lluvias, marzo, abril y mayo; septiembre, octubre y noviembre, el modelo pronostica descensos en todo el centro de España salvo en el bajo Ebro y Murcia, en primavera, y en ese centro-oeste salvo en partes de La Mancha y la zona mediterránea en otoño. Las predicciones de primavera se corresponden muy bien con los datos de las estaciones de

medida, mientras que las de invierno y otoño sólo lo hacen en ciertas regiones de España. Es claro que el modelo debe de ser mejorado en los próximos años, no respecto a su predicción de disminución de lluvia anual, sino a la distribución estacional de las lluvias.

Como resumen, podemos estimar que la temperatura ha subido en España alrededor de 1.4°C de media en los últimos 48 años, y que esperamos una subida similar en los próximos 40 años. Que la precipitación ha llegado a disminuir unos 100 litros en muchos puntos de la península y que esperamos esa disminución en las zonas críticas de las cabeceras de los ríos españoles en los próximos años, con aumentos de lluvia, sobre todo en otoño, en las zonas mediterráneas.

Es claro que datos y modelo matemático no coinciden, sobre todo en lo que se refiere a las precipitaciones, por la que muchas personas podrán, al ver esos datos, tener dudas sobre la realidad del cambio climático. Se podría interpretar que los aumentos de temperatura forman parte de algún ciclo natural. Veamos las razones por las que debemos estar convencidos de que esto no es así y que estamos en el umbral de un cambio climático muy serio y peligroso. Esperemos que, al revés que como se ha actuado con respecto a los avisos de crisis económica, (que de cualquier manera es reversible en escalas de tiempo de unos 5 años) con rechazo e ignorancia, se actúe con respecto a este otro desafío de forma mucho mejor, puesto que la escala de tiempo de esta última crisis, el cambio climático, si este acaba ocurriendo, será de miles de años.

El clima es un sistema complejo no lineal. Tales sistemas funcionan, en la mayoría de los casos, bajo esquemas de realimentaciones positivas: una vez que se produce un efecto, este actúa sobre la causa que lo ha producido, amplificándose. Dos ejemplos pueden dejar esto claro. Una de las causas de la temperatura media global actual de nuestro planeta se debe a la reflexión por el hielo de los polos de una fracción de la energía incidente, a través del albedo muy alto del hielo. El suelo debajo del hielo se mantiene muy frío. Supongamos, sin embargo, que por algún motivo, un metro cuadrado de ese hielo se libera de éste, quedando el suelo al descubierto. El albedo del suelo es muy bajo, y ese metro cuadrado absorbe, en vez de reflejarla, la radiación solar incidente. Aumenta su temperatura y almacena energía. Parte de esa energía la pasa a los 4 metros cuadrados que lo rodean. Estos 4 metros cuadrados se deshuelan, y empiezan a absorber energía en vez de reflejarla. Ahora los 4 metros cuadrados están rodeados de 16 metros cuadrados que se calientan, se liberan de hielo y empiezan a capturar energía. El proceso es no lineal, rápido y explosivo.

El otro ejemplo quizás se pueda entender más fácilmente: una empresa tiene un problema, por ejemplo, una larga enfermedad de su gestor. Baja de precio y es comprada por otra, que se encuentra así en disposición de adquirir otras y otras: Una empresa del sector sube mientras otras desaparecen. Los ejemplos de General Motors y Ford en el primer cuarto del siglo XX son claros acerca del carácter no lineal del sistema complejo económico de la sociedad humana.

Pues bien, todos los cálculos (Hare, este mismo volumen) indican que no debemos pasar de las 450 ppm en la concentración de CO₂ en la atmósfera de nuestro planeta. Una concentración superior nos lleva a una catástrofe climática, hace que el planeta evolucione en la dirección deshielo total, de subida brusca del nivel de mar, y de cambio radical de las circulaciones marina y del aire de la atmósfera. 450 ppm son un hito, una señal clara que nos debe permitir saber hasta dónde podemos llegar y que tenemos que dar la vuelta antes de acercarnos peligrosamente a ese punto.

Impactos/efectos

España ha sufrido desde siempre los efectos de un clima extremo, de grandes calores y grandes fríos, de lluvias torrenciales y largas sequías. El clima español está descrito en las grandes obras literarias españolas, cuando hablan de los problemas agrícolas en nuestro país. ¿Cuáles pueden ser los impactos del cambio climático sobre España? Un trabajo muy bien hecho, coordinado por José Manuel Moreno, los describe con detalle. Como resumen tenemos que decir que un aumento de las temperaturas extremas implica un aumento de la evapotranspiración de las plantas, que por tanto precisan una mayor cantidad de agua que, como hemos visto, se hace escasa, en las zonas donde más se la necesita. Hemos visto que las etapas de lluvias se desplazan de unos meses a otros, con lo que los cultivos adaptados a unas secuencias de temperaturas frías y más cálidas y lluvias concomitantes necesitan ser reemplazados por otros. El problema que tenemos en España es el derivado de cualquier cambio: exige otro cambio asociado a la mentalidad de los que lo sufren y que éste último sea tan rápido o más que el primero.

En los informes citados del MMARM se insiste en los problemas para la ecología, los recursos hídricos, edáficos, forestales, agrarios, las zonas costeras, sector energético, turístico, del seguro y la salud, y sobre los riesgos naturales. Todos ellos derivan de una temperatura media más elevada, altas temperaturas extremas, y menos precipitación y más

concentrada en pequeños intervalos de tiempo. Adicionalmente, un deshielo generalizado de Groenlandia y las zonas costeras que rodean el Océano Ártico produciría daños gigantescos en las costas españolas y a través de ellos en su economía.

¿Son o no son reales esos impactos? Por un lado, en el presente libro se abre una vía a la esperanza, pero por otro lado, no es claro que seamos capaces de detener a tiempo el cambio climático. Las palabras claves son: a tiempo.

Se dice una y otra vez en este libro, que se detecta un cambio de tendencia, un deseo, sobre todo por parte de los EEUU y de su máximo dirigente, el Presidente Obama, de frenar el cambio climático. Que un buen número de los estados individuales de los EEUU están tomando medidas reales contra el cambio climático. Esto es cierto, pero el problema, como también se menciona, sobre todo en el artículo de Bill Hare, es un problema de cambios masivos y rápidos. Si las emisiones de origen humano de CO₂ han sido rápidas en la escala geológica, desde 1800 hasta ahora, la reducción de emisiones desde hoy hasta el año 2050 tiene que ser 10 veces más rápida que las anteriores.

Esto no está ocurriendo, ni hay planes para que ocurra así. Como veremos, en un país avanzado como España, que apuesta con decisión por la energía solar, la instalación de ésta es muy lenta, y al tiempo que se aumenta el parque solar (en él incluyo el eólico, pues, ¿de dónde sale el viento, si no es del calentamiento de las aguas del mar?) se aumenta más el parque de centrales eléctricas de combustibles fósiles, no se reduce el transporte basado en vehículos de esos combustibles y se mantiene el esquema de derroche de energía en los edificios de las ciudades, al no emitir un código técnico de edificación aún más avanzado tecnológicamente que el actual.

En los EEUU se mantienen y se construyen centrales de carbón. En China se instalaba (y se seguirá instalando una vez pase la crisis económica) una central de carbón a la semana. Una vez instalada una de estas centrales, es preciso hacerla funcionar al menos durante 30 años, para recuperar la inversión: millones de toneladas de CO₂ emitidas a la atmósfera.

Aunque se avanza por el camino de la reducción, se avanza tan despacio que no se ven resultados. Es un problema de esquema mental del mismo tipo del que tiene la Sociedad General de Autores (SGAE) en España: esta sociedad no cuenta los CD/DVD realmente vendidos, sino una entelequia que corresponde a los que esa SGAE pensaba que se venderían. De la misma forma, si se supone que en España se deberían instalar 40 GW de potencia eléctrica de aquí a 2030, y se consigue que

de ellos 20 sean solares, las autoridades reguladoras se enfrentan con un revés, sin pensar que los otros 20 GW de energía fósil están lanzando CO₂ a la atmósfera. Menos, es claro, que si fueran 40 GW, pero están emitiendo CO₂. Y no podemos aceptar eso.

El problema del cambio climático no es relativo. A la atmósfera no le interesa que se hubiese podido emitir más o menos. Lo que genera calentamiento y cambio del clima no es el CO₂ (o metano y otros gases) que se deja de emitir, sino el emitido.

Necesitamos cambiar nuestro discurso, por ello repito, no es lo que dejamos de emitir, es lo que emitimos lo que nos tiene que preocupar. No podemos salir al estrado y proclamar orgullosos: «Hemos dejado de emitir X millones de toneladas de CO₂, sin decir que al mismo tiempo hemos emitido Y millones de ellas.

El mensaje tiene que ser muy, muy claro: cualquier crecimiento de la energía disponible desde 2009 en adelante tiene que ser solar. Cualquier incremento en el número de vehículos en las carreteras o en los trenes tiene que ser eléctrico, híbrido, de biocombustible o de hidrógeno. Y adicionalmente, es imprescindible ir substituyendo centrales eléctricas, calefacciones y aires acondicionados, y vehículos ya existentes, por otros que no emitan nada de CO₂.

¿Puede hacerse esto? Es claro que sí. Tenemos toda la tecnología en nuestras manos. Poner en marcha eso es lanzar un desarrollo industrial y económico equivalente a 10 veces el desarrollo experimentado por España cuando éste estaba basado en la construcción de edificios, y es un desarrollo sostenible.

¿Cuáles son los impactos detectados en los estudios citados en el anterior Informe del Ministerio de Medio Ambiente?

Por un lado, está la pérdida de la biodiversidad actual, que será substituida, en su momento, por otra diversidad vital distinta, pues la vida, si se define de alguna manera, es por su capacidad de desarrollar nuevas especies que ocupan nichos ecológicos cada vez renovados.

El problema del cambio climático no es un problema para el planeta ni para la vida que se desarrolla en él. Al revés que un holocausto nuclear, que posiblemente dejaría un planeta muerto, cualquier cambio climático lo único que genera es un cambio de especies vivas. Aquí está el problema, no para el 99.999...% de esas especies, sino para una de ellas en particular, la especie humana. Hemos creado una sociedad compleja y por tanto frágil. El problema del cambio climático no lo es para el planeta, ni siquiera, quizás para la especie *homo sapiens*, sino para la civilización que hemos construido basada en movilidad y ciudades, y una herencia tribal que pesa como una losa en el mundo

moderno. La existencia de fronteras artificiales entre distintos grupos de seres humanos exactamente iguales unos a otros. El mayor impacto del cambio climático sobre España será la disponibilidad de agua, y con ella, de la agricultura. Pero España podría generar energía y comprar, si no hubiese restricciones artificiales al movimiento de bienes, los alimentos que necesitase libremente en el mercado mundial, puesto que dispondría de toda la riqueza necesaria, a través de la energía que obtendría en su territorio.

Hemos visto en España se ha producido una disminución media de unos 90 litros/m² en la lluvia anual a lo largo de los últimos 48 años, y que los modelos matemáticos nos indican una bajada (media) de otros 100 litros en los próximos 40 años. Una disminución de este calibre de la lluvia, combinada con las altas temperaturas previstas implica una disminución real de los recursos hídricos de alrededor del 30% de lo que se disponía en 1950. A esto es preciso añadir que el aumento de población, el cambio de régimen de vida y de forma de cultivo hace que en España se demande mucha más agua de la que se necesitaba entonces. Estamos, y estaremos cada vez más, dentro de un problema de disponibilidad de agua, que generará tensiones interterritoriales muy considerables. La mejor forma de arreglar este problema es limitar la demanda agrícola, mediante racionalización del cultivo y desplazamiento de las fuentes de riqueza en el campo de la captura de energía mediante fotosíntesis a la captura solar térmica y fotovoltaica.

El aumento global de temperaturas ha sido de unos 0.8°C desde 1860 hasta ahora, y si no se detienen las emisiones de gases de efecto invernadero se prevee otro aumento de unos 2-3°C a lo largo del siglo XXI. Esta es una subida media, pero cómo todas las medias, implica que los extremos son bastante superiores. Así sabemos que el aumento de temperatura en las regiones árticas ha sido de unos 4-5°C dependiendo del punto de esa región, y esperamos que si no se detienen las emisiones el aumento sea de unos 8 a 10°C en el presente siglo. Esto implica la desaparición completa y rápida de la cobertura de hielo de Groenlandia, por fusión y deslizamiento hacia el mar. Algo similar debe ocurrir también con los hielos de la plataforma de la Antártida Occidental.

Es difícil estimar hoy el ritmo de desaparición del hielo en esa dos zonas, pero lo que sí sabemos es que si desaparece el hielo de Groenlandia eso supone una subida media del nivel del mar de 6 metros, y otros 5 metros si se funde aquella parte de la Antártida. La ciudad de Sevilla se encuentra a 3 metros sobre el nivel del mar.

Valencia, a cero metros. Una subida de la magnitud indicada destrozaría la economía española y una parte substancial del patrimonio de sus habitantes, basado en apartamentos en la costa. Es preciso tener en cuenta que subidas de 20 cm tienen efectos de erosión costera muy notables, puesto que esos 20 cm son de media, pero sobre ellos se superponen mareas y oleaje. Las playas se han desarrollado con barreras adecuadas a unas alturas medias, y esas barreras, naturales o artificiales, desaparecen cuando se producen subidas incluso pequeñas del nivel medio del mar.

El tercer impacto del cambio climático está en las amenazas renovadas para la salud humana en forma de epidemias. Los vectores de transmisión de enfermedades están adaptados a determinadas condiciones climáticas de temperatura y humedad. Al cambiar estas condiciones los vectores, esencialmente mosquitos, invaden zonas antes imposibles para ellos. Así, en países tropicales se ha detectado la aparición de mosquitos transmisores del paludismo y el dengue en alturas de hasta 300 metros, donde no se habían detectado antes. Las epidemias pueden ser un problema añadido a los demás que causa el cambio climático.

Los impactos en las masas forestales derivan de sus adaptaciones a las nuevas temperaturas y a la distribución de la precipitación. Se prevee un cambio de especies en cada nicho ecológico. Pero los árboles son especies vivas muy adaptables, de manera que bajo las condiciones adecuadas de cultivo los bosques españoles no sólo no deberían sufrir, sino que, teniendo en cuenta que durante los veinte años de su etapa de crecimiento son absorbentes netos de CO₂, deberían aumentar si se reconociese de forma explícita su inmejorable papel como tampón para frenar momentáneamente el aumento de CO₂ en la atmósfera durante los años que necesitamos para cambiar la estructura productiva de energía. Y además son muy baratos de plantar y exigen una mano de obra considerable, lo que supone la creación de puestos de trabajo permanentes.

Existen adicionalmente impactos sobre el suelo, sobre los riesgos de incendios turísticos y de seguros, pero todos ellos pueden ser asumidos sin demasiado esfuerzo cambiando ligeramente las expectativas y las inversiones, puesto que, al menos hasta este año de 2009, se suponía que España tenía recursos financieros para superar cambios en las estructuras de servicios.

El mayor riesgo para nuestro país no deriva de los efectos del cambio climático aquí mismo. Las crisis climáticas históricas no han supuesto colapsos sociales de manera directa, sino vía migraciones masivas. Un calentamiento muy ligero, de un par de décimas de grado en el siglo III

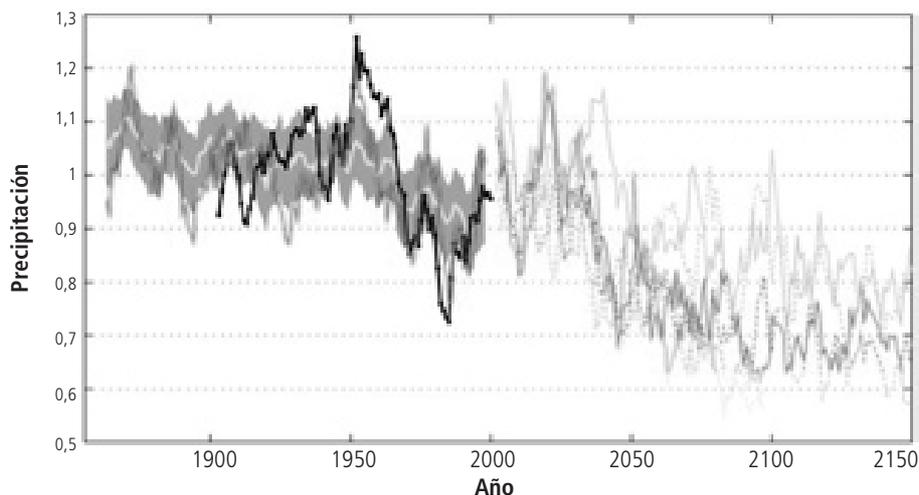
de la era común supuso el abandono de cultivos en el norte de África, la mejora de condiciones en el norte de Europa y las migraciones masivas de tribus de esas regiones hacia el sur, cambiando radicalmente la estructura productiva del Imperio Romano y resultando la desaparición de la parte occidental de éste. De la misma manera, una subida de temperaturas en el norte de Europa generó las expediciones de «vikings» por parte de las poblaciones escandinavas que empezaron a soportar una presión demográfica excesiva propiciada por la mayor disponibilidad local de alimentos.

El fracaso de la civilización maya se debió al mismo desplazamiento de la corriente del Golfo hacia el norte que calentó las regiones polares, pero que generó también un desplazamiento de las lluvias sobre Yucatán de manera que en esa región del mundo, con una economía basada en la irrigación, se generaron tensiones vitales que se resolvieron mediante guerras que destruyeron la base de esa civilización.

El problema básico del cambio climático sobre España no se debe sólo a los impactos sobre la península ibérica. Somos (o éramos hasta el 2009) un país rico, que podía implementar toda clase de soluciones a las distintas emergencias derivadas del cambio climático.

El problema básico son 200 millones (crecientes) de personas en el Golfo de Guinea. Los impactos allí de falta de agua (Figura 7) y de

Figura 7. Evolución de la precipitación en el Sahel, datos y resultados de modelos



epidemias emergentes son más intensos que en nuestra región. Una deforestación masiva propiciada por la necesidad de tierras de cultivo y pasto, y por una disminución de las lluvias, más un incremento de población llevan y llevarán cada vez más a las personas de esa región a buscar una emigración masiva hacia el norte, es decir, hacia Europa.

Resumiendo, pues, los impactos sobre España serán: una disminución efectiva de la disponibilidad de agua, una demanda creciente de energía para enfriamiento de edificios, un aumento de riesgos de tipo inundaciones e incendios, una desertización creciente del suelo, y un deterioro progresivo de las infraestructuras y edificios costeros, a lo que hay que añadir el riesgo claro de una inmigración masiva desde el centro de África, que no es mala en si misma, pero para la cual España, y además en una situación de estrés, no tiene una capacidad clara de asimilación.

¿Qué soluciones se pueden proponer para España?

Casi todas ellas son similares a las expuestas en el presente libro. Para buscar las soluciones debemos fijarnos en los problemas. Las soluciones derivan de los dos tipos de problemas a que nos enfrentamos: un problema global (el deshielo de los polos, los cambios de la circulación del aire y los impactos sobre África), y una serie de problemas locales (estrés hídrico, costas y desertización).

Necesitamos reducir radical y rápidamente las emisiones de gases de efecto invernadero, y necesitamos adaptar al país a una situación de tensiones generalizadas.

Reducir las emisiones significa cambiar una serie considerable de esquemas sociales. Adaptarse a un mundo más seco y más caliente significa cambiar una serie de esquemas económicos. Esos cambios no significan ni empobrecimiento generalizado ni empeoramiento de las condiciones de vida; antes bien, y espero demostrarlo, significan todo lo contrario: un enriquecimiento de la sociedad en su conjunto y de cada ciudadano en particular, y una mejora de la calidad de vida de cada uno de nosotros.

Reducir emisiones requiere cambiar los siguientes esquemas: transporte basado en energía fósil, generación eléctrica basada en energía fósil, calefacción y enfriamiento en los edificios, movilidad en las ciudades y entre ciudades y continentes, transporte de personas y bienes.

La facilidad de transporte supuso una mejora inmensa en la calidad de vida de las personas, no sólo desde el punto de vista físico,

sino esencialmente desde el punto de vista de que cada persona podía conocer cómo se vive en otros lugares, cuáles son las ideas y culturas, de forma que los conceptos de tribus separadas y el aislamiento humano han ido desapareciendo de forma progresiva. Solemos guerrear, al menos de manera cruenta, contra los que no son de nuestra tribu. Si conseguimos considerarnos a todos como de la misma «familia» al poder conocernos bien unos a otros, es de esperar que desaparezcan las guerras de destrucción masiva. En este sentido es inmensamente necesario mejorar aún más la movilidad de las personas.

Movilidad de mercancías. Es claro que naranjas no se crían en Noruega, ni focas en Valencia. En un mundo sin fronteras artificiales (pensemos en el lujo de una Europa sin aduanas, en que éstas no son necesarias tampoco para el resto del mundo, ni generan beneficio alguno) es imprescindible mover una cierta cantidad de bienes de unos lados a otros, aunque en ciertos casos esos movimientos son exagerados e innecesarios. Las mercancías deberían moverse mediante trenes eléctricos, en vez de mediante camiones individuales, con grandes emisiones de CO₂.

En climas fríos es preciso calentar los edificios, y en ambientes cálidos se ha hecho casi obligatorio refrigerarlos. Ahora bien, calefacción y refrigeración exigen, cuando se hacen bien, muy poco consumo de energía, y adicionalmente esa energía puede, perfectamente, provenir del sol.

El desarrollo de la electricidad, y sus derivados, la electrónica y las telecomunicaciones han supuesto un cambio binario, de 0 a 1 en la calidad de vida de los seres humanos. ¿Cómo generamos la electricidad?

Empecemos por este último problema. El 90%, o aún más, de la electricidad se genera aún hoy, en 2009, con técnicas del siglo XIX, es decir, como si siguiésemos utilizando locomotoras de vapor. Se trata, en la mayoría de las centrales eléctricas, de calentar agua para mover turbinas, o de dejar caer ese agua desde una cierta altura sobre los álabes de una turbina, en una tecnología más antigua que los molinos de agua de hace unos 10.000 años. Parecería que entrado el siglo XXI fuésemos capaces de hacer mejor las cosas, pero no es así, en esa mayoría de centrales eléctricas.

En 2008 hay 94.966 GW de potencia eléctrica instalada en España. De estas centrales, el 17,5% de la potencia funciona como aquellos molinos de agua; el 16,5% de la potencia eléctrica instalada funciona como los antiguos molinos de viento; un 8,1% de potencia nuclear; un 42% de la potencia instalada funciona como locomotoras de vapor quemando combustibles fósiles y emitiendo CO₂ neto a la atmósfera.

Estas cifras pueden parecer razonables, pero si miramos no la potencia sino la energía, los datos son distintos.

En España se produjeron en 2008, 294.58 TWh, de los cuales 156.59 TWh, o el 53%, fueron procedentes de combustibles fósiles, lo que supone unas emisiones de CO₂ de 87 Mt (87 millones de toneladas). Las emisiones se han reducido, desde 2002, de 93 Mt a 87 Mt en 2008; una reducción de 6 Mt en 6 años. Esto, que es una buena noticia, debe verse desde el punto de vista de que se siguen emitiendo, en las centrales eléctricas españolas, 87 Mt de CO₂ al año.

Supongamos que sustituimos toda la producción eléctrica generada mediante fuel y carbón (que emiten en media 0.90 Mt de CO₂ por terawatio hora (Mt/TWh)) por centrales de gas natural, que emiten 0.35 Mt/TWh. Tendríamos un ahorro (si no aumenta la cantidad total de energía generada mediante combustibles fósiles) de 33 Mt de CO₂, pero seguiríamos emitiendo 54 Mt de este gas. Si nuestra contribución a la llegada a las 450 ppm de concentración de CO₂ en la atmósfera hubiese hecho que esta concentración se hubiera alcanzado en 2040, con la reducción debida a la sustitución de fuel y de carbón por gas natural esa concentración se alcanzaría en 2058: La vida de un adolescente, nada en relación con los problemas del mundo.

No podemos hacer cálculos sobre reducciones relativas. Tenemos que eliminar las emisiones de CO₂.

Adicionalmente, aparece una razón importante a la hora de hacer éste tipo de cálculos: substituir una central de carbón por una central de gas de tipo ciclo combinado exige una inversión considerable. Menos que para la energía fotovoltaica o para la nuclear, pero considerable. Debemos hacernos la pregunta de si es razonable, desde el punto de vista de la inversión de la riqueza de un país, invertir en algo que lo único que va a hacer es retrasar la llegada al punto crítico del problema unos 18 años. ¡Tanto dinero para 18 años!

Parece considerablemente más razonable invertir, lo que haya que invertir, en algo que no siga manteniendo a lo largo del tiempo las emisiones de CO₂. Si queremos eliminar éstas, y debemos hacerlo, no tiene sentido invertir, por ejemplo, una cierta cantidad en centrales de ciclo combinado y otra cantidad en energía solar térmica, fotovoltaica y eólica, sencillamente para descubrir al cabo de 20 años que lo que hemos invertido en centrales de gas no nos ha servido para detener el cambio climático. Habríamos tirado parte de la riqueza nacional, o mundial, a un pozo sin fondo.

Si lo que queremos es, realmente detener el cambio climático, tenemos que invertir en generadores de electricidad que, por aparentemente

caros que sean, y complicados en sus instalaciones y manejo, al menos supongan una inversión de éxito. (Más adelante daré algunas consideraciones sobre los conceptos de caro y barato, y de generación y mantenimiento de la riqueza, que tienen que ver con estos problemas).

España recibe, a lo largo del año, una media de 800 W/m^2 de radiación solar. De estos vatios las plantas de nuestra región aprovechan alrededor de un 4% (con agua y suministro de fertilizantes, lo que reduce su valor como mecanismo de captura neta de energía sin emisión de CO_2 , puesto que para la fabricación de esos fertilizantes se emplea una cantidad muy considerable de energía). Las centrales fotovoltaicas pueden capturar hoy, ya, sin problemas, el 30% de esa energía, aunque lo más estándar es que capturen un 20%, es decir, unos 160 W/m^2 . Si consideramos 6 horas diarias de funcionamiento, o 2.000 horas anuales, obtenemos $320 \text{ kWh anuales/m}^2$. Esto se traduce en 320 GWh/km^2 . Puesto que la generación eléctrica en España ha sido en 2008 de 294.583 GWh , una simple división indica que 920 km^2 de cobertura de placas fotovoltaicas produciría toda la energía eléctrica generada en España en un año. España tiene 500.000 km^2 : 1.000 km^2 suponen un 0,2% de su superficie; 900 km^2 equivalen a un cuadrado de $30 \times 30 \text{ km}$. La ciudad de Madrid tiene una superficie de 600 km^2 . La energía solar no es problema.

Pensar en reemplazar toda la generación de energía eléctrica por energía fotovoltaica es poner todos los huevos en la misma cesta. No es tampoco necesario. Las energías eólica, solar térmica, de las mareas, de las olas, geotérmica y de biocombustibles, aunque de mucho menor rendimiento, sobran también para las necesidades españolas. Hagamos de nuevo un cálculo sencillo. Con una producción de 16 w/m^2 (la de las plantas sin fertilizantes) 10.000 km^2 sobrarían para absorber los 294.583 GWh que ha generado España en 2008. Puesto que una vez capturada esa energía por las plantas habría que quemar éstas (en un proceso extremadamente ineficiente) para generar electricidad mediante turbinas, y sólo podríamos aprovechar más o menos un tercio de esa energía capturada. Eso se traduciría en 30.000 km^2 de plantas para generar energía. De nuevo una cantidad despreciable, un 6% de la superficie de España.

No hay ningún problema para generar toda la energía eléctrica que necesitamos en España mediante la energía del sol que recibimos en nuestro suelo.

Es claro que hay que almacenarla, pero para ello hay ya un procedimiento que no ofrece problema alguno: bombear agua hacia arriba de los embalses de los que está llena la geografía nacional. Hay otros

procedimientos también perfectamente disponibles, como volantes de inercia, muy baratos. Y queda el desarrollo, a lo largo de 10 años, de la hidrólisis del agua para almacenar energía como hidrógeno molecular. Otra forma de almacenar energía, que enlaza con los problemas de movilidad, es guardarla por la noche en las baterías de millones de coches y camiones eléctricos o híbridos.

Se habla bastante estos días de principios de 2009 de la energía nuclear como herramienta para controlar el cambio climático. Aparte de que seguimos, tras 60 años, sin saber cómo tratar y qué hacer con los residuos radiactivos, quiero ofrecer aquí un pequeño cálculo. El domingo 18 de enero de 2009 se publicó una noticia en un semanal económico con las siguientes cifras: «El banco de negocios Goldman-Sachs cifra en 760.000 millones de euros la inversión para 300 centrales nucleares en todo el planeta», (supongo yo que de 2 GW de potencia). 300 centrales de 2 GW son 600 GW: Las necesidades de 10 veces España, unos 440 millones de personas a nivel del consumo europeo, 1.000 millones a niveles racionales de consumo. Eso quiere decir una inversión gigantesca, para proporcionar energía a un séptimo de la población del planeta durante unos 30/40 años y eso agotando las fuentes de uranio. Y al mismo tiempo, puesto que esa inversión no se dedica a energía solar, manteniendo las emisiones del resto de los 6.000 millones de personas del planeta.

España dispone ya de 20 GW de molinos de viento. 600 GW es 30 veces la potencia instalada en España. En el Atlas marroquí se pueden instalar, sin problemas 200 de esos gigawatios. En las Patagonias chilena y argentina, otros 200 GW, y el resto repartidos por todo el mundo, o si se precisa, en plataformas marinas a los 40° de latitud sur, en lo que se conoce como los *roaring forties*, una zona del mundo en la cual no dejan de soplar vientos muy fuertes 365 días del año. Sin residuos, repartidas por el mundo, con un coste de unos 76.000 millones de euros. ¿Cuál es la ventaja de la energía nuclear?

Movilidad

El transporte supone alrededor del 35% de las emisiones de CO₂ a la atmósfera en España (dejando aparte otros gases). De esto, la parte principal es el transporte por carretera, en el cual se dividen casi por igual las emisiones los vehículos de pasajeros y los camiones de mercancías.

Supongamos que nuestro objetivo es dejar de emitir CO₂ a la atmósfera. Existen una serie de soluciones posibles para ello. Puesto que

no queremos meter, de nuevo, todos los huevos en la misma cesta, podemos proponer un cierto abanico de soluciones:

- Reducción de viajes en coche.
- Reducción de recorridos individuales.
- Utilización de coches eléctricos/híbridos.
- Utilización de biocombustibles.
- Utilización del tren para transporte de mercancías.
- Utilización de hidrógeno.

Salvo la última posibilidad, que tiene que esperar algunos años, el resto de las opciones son perfectamente posibles en este mismo año de 2009. La reducción de viajes en coche y de recorridos individuales es perfectamente posible utilizando hoy la tecnología informática de comunicaciones y reestructurando los sectores de servicios y productivo. Un estudio de racionalización de viajes cuya causa está relacionada con el trabajo tiene, forzosamente, que producir, ya, un ahorro en el número de kilómetros de desplazamiento cuya cifra exacta exige investigaciones adicionales, pero que puedo estimar, sin mucho miedo a equivocarme entre el 30% y el 50% de todos los viajes por carretera. La reducción de recorridos individuales es perfectamente posible, tanto en transporte público como mediante la utilización de vehículos particulares con tres o más ocupantes coordinados mediante esquemas telemáticos. Es perfectamente conocido que la utilización de autobuses no supone ningún ahorro de emisiones frente a la utilización de coches pequeños ocupados por tres o más viajeros.

El uso del transporte público no termina de cuajar con la amplitud que sería necesaria. La razón es clara, y no deriva de la técnica, sino de una psicología social derivada de costumbres antiguas. Salvo casos particulares, el transporte público, sobre todo en España, está pensado para las capas de menor poder adquisitivo de la sociedad. Es incómodo, rígido, ruidoso, sucio en muchos casos, y se mueve a los usuarios como rebaños (sin llegar a las imágenes del metro de Tokio). El resultado es un rechazo social a su utilización salvo por fuerza mayor (carencia de automóvil propio, carestía de los combustibles o problemas de aparcamientos).

Lo que propongo aquí para mejorar la utilización del transporte público colectivo es un cambio, no técnico, sino psicológico: si queremos que este tipo de transporte contribuya a la desaparición de emisiones debemos hacerlo tan atractivo que una cierta mayoría de usuarios lo asuma, no por razón de causa mayor, sino por preferencia: por comodidad, limpieza, falta de congestión, rapidez de servicio, falta de ruido, etc.

De cualquier manera, la utilización de vehículos de motor, sean éstos privados o transporte público colectivo, exige cambiar los vectores energéticos que los muevan. La primera solución es clara y evidente. Los vehículos tienen que ser híbridos-eléctricos o funcionar, hasta que esté disponible el hidrógeno, con biocombustibles. Los vehículos híbridos deberían cargarse, mientras estén parados, en cargadores eléctricos disponibles en garajes o en las aceras de las calles. Al ser híbridos una parte de la carga se recupera en las frenadas. Son, por lo tanto, muy adecuados para el uso en ciudad y en las áreas metropolitanas. La electricidad para los mismos debe salir de fuentes solares. Al hacerse así se consiguen dos objetivos simultáneamente: mover personas sin emitir CO₂ y almacenar la energía irregular de las fuentes solares como los molinos de viento y las celdas fotovoltaicas.

Para transportes de largas distancias y sin muchas frenadas los coches eléctricos no acaban siendo prácticos, entre otras cosas porque es dudoso que se puedan encontrar cargadores que puedan cargar una batería en un minuto. Para ellos es muy interesante la utilización de biocombustibles, y esencialmente etanol, mucho más que el diésel. La idea es que para extraer el diésel se precisan plantas grasas, que exigen su cultivo en llanuras regadas y suministro de fertilizantes, que tienen graves problemas de utilización de energía en su fabricación y que dejan residuos tóxicos. La posibilidad que existe hoy son los llamados biocombustibles de segunda o tercera generación, es decir, herbáceas que se autofertilizan, que crecen en las laderas secas de las colinas, y que no precisan grandes cantidades de agua. Estas tres condiciones son las más adecuadas para España en una situación de cambio climático.

Una de las mejores políticas que se pueden adoptar para conseguir la eliminación de las emisiones de CO₂ derivadas del transporte es la vuelta a la utilización del tren como medio de traslado de mercancías a largas distancias, cuando aquellas son fácilmente automatizables. Por ejemplo, en una ciudad como Madrid con cuatro millones de habitantes, se sabe que todos los días se precisan un millón de kilogramos de pan, lo que significa medio millón de kilogramos o 500 toneladas de harina diarias, el equivalente a unos 20 contenedores. Puesto que la harina suele venir siempre del mismo sitio y descargar siempre en el mismo muelle, parece lo más racional automatizar su transporte mediante un esquema de ferrocarril controlado por telemática. De la misma forma un sinnúmero de otros productos que son extremadamente adecuados para su transporte en cantidades diarias/semanales fijas y que pueden controlarse sin intervención humana directa.

Puesto que la fuerza motriz de los trenes modernos es la electricidad, el uso ampliado de trenes de mercancías es una de las propuestas más racionales para conseguir eliminar los combustibles fósiles en el transporte.

Ciudades

Las ciudades, o más bien, las redes de ciudades, son las mayores causantes de la demanda exagerada de energía en todo el mundo, pero también en España. Cualquier persona que viva o haya vivido en Madrid, Zaragoza o Barcelona se habrá dado cuenta de una serie de problemas. El primero es el tren diario de camiones que transportan constantemente mercancías entre esa red de tres (o más) ciudades. ¿Es necesario ese transporte constante (que, además, como hemos dicho, puede hacerse mejor por ferrocarril)? Un diseño racional de un esquema de redes de ciudades probablemente podría reducir las necesidades de transporte de mercancías a la mitad.

Además del problema de las redes de ciudades, tenemos el problema de cada ciudad individual. Las ciudades se han desarrollado desde hace miles de años, manteniendo unas funciones que eran interesantes cuando se empezaron a construir, pero que hoy han dejado de tener mucha importancia, aunque se mantienen por inercia cultural.

La primera idea de ciudad era la de graneros centralizados y amurallados para mantener la energía en forma de alimento libre de ataques naturales (germinación y putrefacción) y animales (de animales de cuatro y dos patas). La ciudad se concibió amurallada y jerárquica. Hoy día ninguno de esos dos conceptos tiene ya sentido, pero aún se mantienen. Una ciudad amurallada, o con paredes, o definitivamente, con límites, es inútil frente a ataques que pueden venir y vienen por el aire. Un sistema jerárquico no funciona hoy en una era de comunicaciones instantáneas.

Pero las ciudades siguen encerradas entre paredes. El mejor ejemplo es Madrid, rodeada por una serie de círculos concéntricos de autovías que sólo permiten la entrada a la ciudad a través de 7 puertas, y algunas poternas minúsculas. Puesto que al mismo tiempo se mantiene el esquema jerárquico de marea diaria de entrada y salida de la ciudad, para que los trabajadores se desplacen a centros de trabajo, el sistema es inmensamente dilapidante de una energía escasa y contaminante.

Una solución posible y racional es abrir las ciudades al mundo, dejando de lado la idea tradicional de 6/7 entradas y habilitando cientos

de ellas. La segunda solución es rediseñar las redes locales de ciudades para distribuir los recursos y centros de trabajo esencialmente por igual entre muchas de ellas. Es claro que la redistribución no es un problema resuelto y que exige una investigación a fondo.

Algo que es muy sencillo de realizar en las ciudades es rehacer sus edificios antiguos y construir los nuevos con criterios de energía. La necesidades de calefacción en España se deben, esencialmente, a un muy deficiente aislamiento de los edificios construidos a partir de 1950. Muros y ventanas se diseñaron sin pensar en el consumo energético, de manera las pérdidas son considerables. Pero no sólo los edificios antiguos sufren estos problemas. En el nuevo código técnico de la edificación no se exige un sistema de aislamiento con garantía de duración, es decir, estructuralmente estable, sino que se permite un sistema de aislamiento por inyección de plásticos que degeneran y se desprenden de las paredes en plazos de alrededor de 5 años, destruyendo las soluciones originales de aislamiento.

En los edificios ya construidos es difícil instalar sistemas de frío solar que, sin embargo, son posibles en edificios de nueva construcción, de manera que un nuevo código técnico de edificación que tuviese en cuenta el ahorro en el consumo de energía debería hacer obligatoria su instalación. La idea es sencilla: en vez de refrigerar por aire, con un rendimiento muy bajo, se puede refrigerar enfriando los techos de las habitaciones. Para refrigerar cualquier sistema es necesario retirar energía de algún fluido que circula, bien por las rejillas de ventilación de los intercambiadores internos al edificio, bien por los techos del mismo. Para retirar energía es necesario traspasarla a otro sistema que se calienta. En el esquema tradicional lo que se calienta es el aire de la calle, de manera que en verano se calientan aún más las ciudades. En los sistemas de frío solar la energía se absorbe en un cambio de fase de sales de litio, que se funden al recibir ese calor. Para conseguir el cambio de fase inverso se precisa energía, que se toma de celdas solares térmicas instaladas en los tejados de los edificios. El sistema tiene un rendimiento excelente y su precio es muy razonable en comparación con el ahorro de energía eléctrica que supone.

Resumiendo, tenemos en nuestras manos toda la tecnología necesaria para producir, en muy poco tiempo, los ahorros de gasto energético imprescindibles para pasar a una economía libre de combustibles fósiles.

¿Podemos permitirnos, económicamente, estos cambios a instalaciones nuevas, en todos los campos? Veamos esto en la sección siguiente.

Economía

Los modelos económicos al uso, en un 99.99999... % de los casos (sólo conozco uno distinto, que analizaré en detalle más adelante) se basan en una serie de hipótesis muy alejadas de la realidad. En primer lugar, son modelos que se aíslan del origen de la riqueza. La única riqueza de que disponemos en nuestro planeta es la energía que podemos capturar y almacenar. Esta riqueza ha ido cambiando a lo largo de las distintas revoluciones energéticas de nuestra sociedad. Al principio sólo disponíamos de la que podíamos capturar mediante la caza y la recolección. Puesto que la conversión de los vegetales en carne es un proceso muy ineficiente, podemos estimar que en aquella etapa sólo podíamos capturar unos 1.6 vatios por metro cuadrado de terreno fértil. Esto se traducía en unos dos millones de individuos de la especie humana sobre el planeta.

El desarrollo de la capacidad de controlar la captura de energía mediante la fotosíntesis en parcelas dedicadas sólo a ello con plantas altamente eficientes (que necesitaban agua y fertilizantes intensivos), la revolución agrícola, permitió a los seres humanos disponer de unos 16 vatios por metro cuadrado de forma estable a lo largo del año. Esto permitió el crecimiento de la población hacia unos 400 millones de personas hasta la puesta en cultivo de ambas Américas y Australia, cuando la población humana del planeta subió hasta los 700 millones. Sólo cuando empezamos a utilizar la energía fotosintética almacenada en el subsuelo en forma de carbón, petróleo y gas natural pudimos pasar a 6.000, camino de 7.000, millones de personas. Esto lo hemos hecho empleando energía unas 20 veces más rápido que la velocidad de su generación mediante fotosíntesis. Es decir, consumiendo los ahorros en vez de generando capital.

Cualquier modelo económico debería considerar de manera explícita esta única fuente de riqueza que es la energía. A su vez, tendría que considerar los sumideros de riqueza, que no son otros más que la generación constante de entropía en el planeta.

Sin embargo, los modelos al uso son cíclicos: parten de unos bienes esencialmente constantes y se plantean el repartirlos de forma «óptima», con el problema añadido de no definir bien cuál es criterio de optimización.

Se supone que la riqueza no crece y sólo se reparte entre las personas. Esto es evidentemente falso como hipótesis de partida.

El segundo problema de los modelos económicos al uso, que deriva del primero, es que son modelos en equilibrio, no evolutivos o

estáticos. Ahora bien, incluso si consideramos sociedades semiaisladas, las situaciones económicas cambian constantemente, y no digamos en sociedades abiertas. No existe el equilibrio económico, como no existe el equilibrio en un recinto lleno de gas si aceptamos que intercambia energía con el exterior. El equilibrio global de un sistema aislado sólo se alcanza en su conjunto, pues en cada parte del sistema tanto la energía como su medida promedio, la temperatura, fluctúan constantemente.

El tercer problema es que, como modelos estáticos que son, no son capaces de tener en cuenta que las inversiones de hoy tienen que generar beneficios a lo largo de mucho tiempo. Los modelos actuales incorporan el tiempo mediante una única constante que se adivina y que se denomina tasa de descuento, que no incluye ni realimentaciones ni innovaciones en las estructuras productiva y social.

Pues bien, todos estos modelos, y la cultura en que se basan y que a su vez recrean constantemente, indican que es difícil económicamente cambiar de paradigma energético. Se insiste una y otra vez en que «es caro substituir las centrales de carbón, de gas, en España». Que «es caro cambiar de combustible a los coches», etc.

Ahora bien: ¿Qué quiere decir «caro» o «barato»? Es claro que en un sistema cíclico y estático, cualquier inversión hoy en A implica inmediatamente la no inversión en B. Si no consideramos en el modelo que aumentar la disponibilidad de energía es la única forma de aumentar la riqueza y que para considerar si una inversión es rentable o no necesitamos extender el tiempo de rentabilidad a muchos años, es claro que no podemos más que seguir en el mismo ciclo de consumo cíclico que nos lleva a llenar la atmósfera de CO₂.

En cualquier modelo económico evolutivo debería aparecer claramente que aumentar la energía disponible genera riqueza en el modelo, que la inversión se recupera en un plazo de unos 7/10 años, lo cual es muy poco tiempo, que genera trabajo neto, y que podemos parar las emisiones de CO₂ a la atmósfera. Es claro, también, que cambiar de paradigma energético implicaría reconvertir a una buena parte de una población parásita (por ejemplo, en España, la multiplicación por 17 de la administración del Estado) de un trabajo de servicios a empleos productivos y competitivos. Aquí aparece una parte de la resistencia al cambio, y podemos entender lo que se esconde tras la frase «Es caro...». Si lo traducimos al castellano, lo que quiere decir es que hay que volver a estudiar, hay que reciclar los conocimientos y hay que ponerse a trabajar de verdad. Pero eso no es malo, y es lo único que puede generar de nuevo riqueza para el país.

Existe un modelo económico, el modelo MADIAM, propuesto por Hasselmann y otros (Weber, 2004), que enfoca estos aspectos, si bien aún de manera simplificada. El modelo es evolutivo, e incluye tres ecuaciones dinámicas acopladas:

$$\begin{aligned} dk/dt &= i_k - \lambda_k k \\ dy/dt &= \mu_b(i_b/l) - (\lambda_{h1} - \lambda_{h2})y \\ dw/dt &= \lambda_w(w^0 - w) \end{aligned}$$

donde las variables son: k , capital físico, y , productividad, w , salarios, i , inversiones, λ , depreciación, μ la relación entre la efectividad en las inversiones en capital físico y capital humano.

Con este modelo es fácil probar que invertir en cambiar de paradigma energético no retrasa el incremento de riqueza, y manteniendo ésta, rebaja la concentración de CO_2 en la atmósfera. Es un modelo muy sencillo, pero abre el camino a otros modelos mucho más sofisticados.

Avanzar por el camino del esfuerzo para detener de raíz el cambio climático es avanzar por un camino de inversiones productivas de riqueza (energía), de generación de puestos de trabajo, y de desarrollo tecnológico. La cantidad de energía que podemos capturar es muchas veces, en factores de 100 o mayores, toda la energía de que podemos disponer tanto desde fuentes de carbono fósil como desde fuentes nucleares, y además es una riqueza que por su propia naturaleza no puede ser concentrada, sino que forzosamente debe de ser extendida a grandes superficies, y por tanto a un número muy elevado de propietarios.

Desde el punto de vista de la economía podemos, perfectamente, detener de raíz el cambio climático y, al hacerlo así, entrar de nuevo en una etapa de economía productiva, en vez de la actual de una economía parasitaria. Ambas cosas son imprescindibles para mantener el desarrollo social y la supervivencia de la humanidad.

Tenemos muy poco tiempo para detener la mayor amenaza para el sistema socioeconómico actual. Éste tiene problemas, pero son despreciables frente a los problemas de los sistemas socioeconómicos anteriores, en los que reinaba la miseria y las guerras eran endémicas. La sociedad carece del sentido de la urgencia, y los políticos, esencialmente termostatos sociales, consecuentemente también.

Tenemos las soluciones, las cuales son económicamente factibles y no sólo eso: su aplicación debe generar una nueva revolución energética similar a la del carbón. Lo único que dificulta la puesta en marcha de soluciones es la inercia social. No podemos esperar nada de los políticos, que prefieren vender «botellón», pan para hoy y hambre para mañana.

Sólo la reacción social, difícil pero posible, puede hacernos salir del pozo en que nos encontramos.

Bibliografía

- MORENO, J. M. (2005) (coord.), *Evaluación Preliminar de los efectos en España causados por el cambio climático*. MMA/UCLM.
- WEBER, M. (2004), *A multi-actor dynamic integrated assesment model*. Max Planck Institut for Meteorology, Hamburg.