Presidencia de la Generalitat Valenciana

Simposio Internacional sobre el Cambio Climático, desde la Ciencia a la Sociedad

GENERALITAT VALENCIANA

EDITA: © PRESIDENCIA DE LA GENERALITAT
FUNDACIÓN PREMIOS REY JAIME I

ISBN: 84-482-4250-5
DEPÓSITO LEGAL: V-5246-2005

IMPRIME: GRÁFICAS RONDA, S.L.

Simposio Internacional sobre el Cambio Climático, desde la Ciencia a la Sociedad

Índice

PRÓLOGO DE D. RAFAEL RIPOLL 5

PRÓLOGO DE D. SANTIAGO GRISOLÍA 7

IMPACTS OF EUROPE'S CHANGING CLIMATE. *Thomas Voigt* 9

LOS CAMBIOS CLIMÁTICOS ABRUPTOS, UNA INCÓGNITA MÁS DEL FUTURO DE NUESTRO PLANETA. *Joan O. Grimalt* 21

EL MODELO ENERGÉTICO Y EL FUTURO DE LOS HIDROCARBUROS. *Mariano Marzo* .. 29

LA POLÍTICA ENERGÉTICA DE LA UE Y LOS RETOS EN LA PROMOCIÓN DE COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS EN EL SECTOR DEL TRANSPORTE. *Cristóbal Burgos Alonso* ... 41

ESPAÑA ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO. LECCIONES SOBRE EL MEDIO AMBIENTE. *Antonio Ruiz de Elvira* 51

EL CERO Y EL INFINITO: LOS COSTES ECONÓMICOS DE KIOTO Y LAS RETICENCIAS DE EE.UU. *Ramón Tamames* 67

ALGUNOS ASPECTOS DE LA INFLUENCIA DIRECTA DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LA SALUD HUMANA. *Julio Díaz Jiménez* 71

INFLUENCIA SOBRE LOS ECOSISTEMAS TERRESTRES: RIESGO DE DESERTIFICACIÓN. *José Luis Rubio* 83

CAMBIO CLIMÁTICO Y PROCESOS DE RETROALIMENTACIÓN EN LA CUENCA MEDITERRÁNEA. *Millán M. Millán* 95

EL PROTOCOLO DE KIOTO Y SUS CONSECUENCIAS PARA ESPAÑA. *José Mª Baldasano* 107

ESPAÑA ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO: UN DESAFÍO COMPARTIDO POR TODOS. *Arturo Gonzalo Aizpiri* 117

EL ESFUERZO EN INNOVACIÓN DE LA INDUSTRIA CERÁMICA DE LA COMUNIDAD VALENCIANA PARA REDUCIR LAS EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO. *C. Escardino* 121

CONCLUSIONES. JOSÉ Mª BALDASANO 135

Prólogo Libro Conclusiones Seminario sobre Cambio Climático

Todos somos conscientes de las repercusiones que la actividad humana tiene sobre el entorno. Los estudios revelan, cuanto menos, cambios importantes en la climatología y en el paisaje. La constatación de un incremento progresivo de las temperaturas, o la amenaza de la sequía y la progresiva desertificación de la cuenca mediterránea, nos obligan a reflexionar, a prestar especial atención a nuestras fórmulas de crecimiento y desarrollo y a poner todos los medios a nuestro alcance para frenar los efectos negativos, en muchos casos irreversibles, de nuestras actuaciones.

Los poderes públicos, cada uno en el ámbito de sus competencias, tenemos la responsabilidad de garantizar un crecimiento próspero pero especialmente cuidadoso con el medio ambiente.

En este momento el cumplimiento del Protocolo de Kyoto y los compromisos adquiridos en el marco de la Unión Europea constituyen un reto ambicioso que requiere un esfuerzo adicional por parte de todos.

El desarrollo tecnológico, el progreso de nuestras empresas, la mejora de los transportes o de las infraestructuras, el crecimiento de nuestras ciudades, no pueden entenderse sino desde un respeto absoluto a nuestro entorno.

En este sentido, la política medioambiental se inserta de forma transversal en todas y cada una de las actuaciones que la Generalitat lleva a cabo en ejecución de sus competencias. Prueba de ello son las numerosas iniciativas que desde la Administración Autonómica y desde algunos municipios de la Comunidad se han impulsado en los últimos años; no en vano la Comunidad Valenciana es la región líder en España en obtención de los fondos europeos LIFE-Medio Ambiente, y ello pone de manifiesto la voluntad de mejora y el nivel de compromiso que hemos adquirido en materia de política ambiental.

Entendemos que son fundamentales las medidas preventivas y a ellas dedicamos un esfuerzo especial.

Pero los cambios y las condiciones que el medio natural nos impone son también una realidad a la que necesariamente debemos adaptarnos. La búsqueda de energías alternativas o la óptima gestión de los recursos de que disponemos, con atención a los principios de ahorro y de solidaridad interterritorial, son también objetivos de primer orden que deben presidir todas nuestras actuaciones.

En esta línea, y considerando que las soluciones deben tener un alcance global, es también esencial nuestro apoyo a quienes no disponen de medios suficientes para invertir en actuaciones ambientales. Con el fin de alcanzar los objetivos derivados de los compromisos internacionales, es una responsabilidad del primer mundo prestar las ayudas oportunas a los países en vías de desarrollo. Los diversos instrumentos de cooperación que pone a disposición de los Estados y de las regiones la Unión Europea, abren muchas posibilidades en este sentido.

Ahora bien, somos conscientes de que nuestro trabajo es en vano si no disponemos del apoyo y del compromiso de la sociedad en su conjunto. De ahí la importancia de nuestro apoyo a la investigación, a la educación ambiental y a la información, pero también la necesidad de implicación por parte de todos y cada uno de los ciudadanos valencianos.

Tomamos nota de las sugerencias que los expertos de reconocido prestigio que participan en esta obra, han plasmado en estas páginas. A todos ellos agradezco su colaboración y sus aportaciones, pero especialmente al Profesor D. Santiago Grisolía y al Profesor D. José Mª Baldasano, por el empeño, la dedicación y el tiempo empleado en la extraordinaria organización del Simposio y en la publicación de esta compilación; una muestra más de su habitual contribución al desarrollo de la sociedad valenciana.

Quiero, además, trasladar desde aquí una afectuosa felicitación al Profesor Joan O. Grimalt por el Premio Rey Jaime I de Medio Ambiente 2005, que merecidamente le ha sido otorgado por su encomiable labor científica y por sus valiosas aportaciones.

Desde la Generalitat seguiremos apoyando cualquier iniciativa que, como la que hoy hace posible la publicación de este libro, pueda contribuir a conocer los problemas que nos preocupan y a dar soluciones a los mismos.

Es nuestra responsabilidad seguir trabajando por un desarrollo sostenible y equilibrado de la Comunidad Valenciana que garantice el bienestar de sus ciudadanos de hoy y de las generaciones del futuro.

D. Rafael Ripoll

Prólogo

El Alto Consejo Consultivo en Investigación y Desarrollo de la Presidencia de la Generalitat Valenciana es una institución única en España. La Generalitat Valenciana realizó una apuesta difícil al constituir, con los ganadores de los Premios Rey Jaime I que así lo desean, un comité consultivo del gobierno autonómico. Una de las características de dicho Consejo, muy al estilo más democrático, es que en él se incluyen como consultantes todos los cargos de la administración autonómica con capacidad de decisión en temas de I+D+i en cualquier ámbito. Dos veces al año, las Comisiones de trabajo formadas por las cinco modalidades del Premio, se reúnen en Valencia con los miembros del gobierno más relacionados con las áreas que les competen.

Consecuencia de esas reuniones, de intenso trabajo intelectual, fue el Seminario sobre Cambio Climático celebrado en Valencia los días 10 y 11 de febrero de 2005, fruto del cual surgió la idea de recoger en este libro artículos en que los ponentes de dicho Seminario desarrollan los inquietantes resultados de sus investigaciones.

Es para mí una enorme satisfacción la forma en que la Comisión de Medio Ambiente, primero con la Consellería homónima, y ahora con la Consellería de Territorio y Vivienda, ha encontrado el modo de colaborar con la sociedad valenciana en su conjunto y apoyar el desarrollo de nuestra comunidad.

Quisiera detenerme un momento en el proceso de realización de este seminario y libro, para que comprendan la inquietud de algunos de nuestros representantes políticos, y la generosidad de los científicos involucrados.

El Sr. Rafael Ripoll, Secretario del Alto Consejo Consultivo, mostró en una de dichas reuniones su inquietud ante los problemas que el Cambio Climático podía constituir para la Comunidad Valenciana y sugirió a la Comisión la realización de algunas conferencias sobre el tema. Los miembros de la Comisión, acogieron con el entusiasmo que en ellos es habitual la iniciativa y decidieron que el Director científico del curso fuera el Dr. José Mª Baldasano. Conocedor del proyecto, el Conseller Blasco, quien fuera primer Secretario del Alto Consejo y uno de los consultantes que más ha apoyado el uso por parte de la administración de este prestigioso conjunto de investigadores, se sumó a la realización del Seminario, que apoyó decididamente.

La coordinación de un Seminario internacional siempre supone un trabajo importante, especialmente porque la Presidencia de la Generalitat decidió que dicho Seminario, ya que por fechas se celebraba una semana antes de la entrada en vigor del Protocolo de Kioto, sirviera para informar a la población de lo que dicho acuerdo supondría para la sociedad.

De nuevo, la ciencia sirvió a los ciudadanos por encima de ideologías y fronteras: el Dr. José Mª Baldasano desde cualquier punto del planeta, coordinó la selección de participantes y temas, y consiguió que todo se ejecutara a tiempo y con eficacia; el Dr. Rubio, como miembro del Alto Consejo en Valencia y primer Presidente de la Comisión de Medio Ambiente, colaboró activamente en la difusión del evento en nuestra Comunidad; el Dr. García Novo, actual Presidente de la Comisión, tanto desde Sevilla como desde los diversos y exóticos lugares a los que le llevaron sus estudios de la biología de las dunas, apoyó las gestiones y sirvió de aliento a nuestra exigua, aunque voluntariosa, Secretaría Técnica; el Dr. Tamames, Presidente de la Comisión de Economía del Alto Consejo, se brindó a ofrecernos la visión económica. Mención especial merece la respuesta de la Dirección General para la Prevención de la Contaminación y el Cambio Climático, del Ministerio de Medio Ambiente, que desde la invitación inicial ha colaborado en la información a los ciudadanos de los riesgos que para la Humanidad supone este cambio en el clima. E insisto, para la Humanidad, como alguna catástrofe previa lo fue para los dinosaurios: es a nosotros a quienes debe preocupar la desertificación de nuestros suelos y la contaminación de nuestra atmósfera. Ojalá la colaboración entre las distintas instituciones políticas siga el ejemplo y logremos trabajar juntos por mantener nuestro entorno y dejarles a nuestros hijos un mundo mejor.

Quiero resaltar el interés que los medios de comunicación mostraron por el Seminario: recoge, no me cabe duda, la preocupación de nuestra sociedad por las repercusiones del fenómeno del Cambio Climático. En las páginas siguientes se muestran algunos de los datos que los científicos han barajado y las conclusiones que de ellos han extraído.

Nuestro agradecimiento a todos los ponentes, y a la Comisión de Medio Ambiente, cuyo entusiasmo contagioso y generosidad son un constante estímulo para todos.

Profesor D. Santiago Grisolía

Impacts of Europe's Changing Climate

DR. THOMAS VOIGT

European Topic Centre on Air and Climate Change; UBA Berlin

Introduction

Earth's history has been characterised by many changes in climate conditions. But the extent and the rate of current climate change most likely exceeds all natural variation in the last thousand years and possibly further back in history. There is strong evidence that most of the observed recent warming is attributable to human activities, in particular to emissions of greenhouse gases (GHGs) from burning fossil fuels and land-use changes. Due to ongoing emissions of GHGs, the observed rise in global temperature is expected to continue and increase during the twenty-first century. Climate change already has considerable impacts on the environment, human health and society which are expected to become more severe in future.

As a response to climate change, the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) has been established. It aims to reduce greenhouse gas emissions and mitigate the effects. Also established are the Kyoto Protocol emission targets for 2008–2012. In addition, EU and national indicative policy targets have been set for future substantial reductions of GHG emissions and for a tolerable projected rise in temperature. To reach such targets, further strategies and policies are needed to achieve more sustainable development in relevant sectors of society (energy, transport, industry, households, agriculture). In addition, strategies will increasingly be required for adapting to the impacts of climate change.

In the presentation past trends in Europe's climate, its current state and possible future changes as well as the impacts of climate change on the European environment and society will be shown . It is aimed at the interested public and decision-makers, especially those who wish to understand which natural systems and societal sectors are most vulnerable to climate change and its impacts.

Trends in and projections for 22 climate change state and impact indicators are described. The indicators cover eight categories: the atmosphere; the cryosphere (snow, ice and glaciers); the marine environment; terrestrial ecosystems and biodiversity; water; agriculture; the economy; and human health. The summarised key findings for the 22 indicators in the added Table show, for almost all indicators, that a clear trend of climate change exists and impacts are already being observed.

The assessment of climate change and its impacts is still subject to uncertainties and information gaps. The 22 indicators presented here illustrate only a small range of the potential consequences of climate change. Other areas are also sensitive to climate change, for instance forestry, water availability, or tourism. Some indicators for these areas have already been developed but have not been included yet, due to insufficient data availability for Europe or uncertainty in identifying climate change as the cause of changes in these indicators. For some of these areas, information is already available and indicators can be presented in the near future. For others, better knowledge and understanding is needed about the exposure and sensitivity of these systems with respect to climate change.

There is new and stronger evidence that most of the warming observed over the last 50 years is attributable to human activities. Even if society substantially reduces its emissions of greenhouse gases over the coming decades, the climate system would continue to change in the present direction over the coming centuries.

Key findings

1. Atmosphere and climate

Atmospheric indicators show that the concentration of carbon dioxide (CO_2) in the lower atmosphere has increased from its pre-industrial concentration of 280 ppm (parts per million) to its 2003 concentration of 375 ppm. This is the highest level in the last 500000 years. At the same time, the climate in most parts of the world, including Europe, is warming. The global average temperature has increased by about 0.7 °C and the European average temperature by 0.95 °C in the last hundred years. It is estimated that temperatures will further increase by 1.4–5.8 °C globally and 2.0–6.3 °C in Europe by the year 2100. Precipitation patterns show a more varied picture. Recently, central and northern Europe have received more rain than in the past. In contrast, southern and south eastern Europe have become drier. These changes are projected to continue in the future. In addition, extreme weather events, such as droughts, heat waves and floods, have increased while cold extremes (frost days) have decreased.

2. Glaciers, snow and ice

One of the most identifiable visual impacts of climate change in Europe can be observed in the cryosphere through the retreat of glaciers, snow cover and Arctic sea ice. Eight out of nine glaciated regions show a significant retreat; the only advancing glaciers are in Norway. From 1850 to 1980, glaciers in the European Alps lost approximately one third of their area and one half of their mass, a trend that is continuing. Even the advances of Norwegian glaciers can be attributed to climate change by increasing winter snowfall. The extent and duration of snow cover across Europe has decreased since 1960. In the Arctic regions of Europe, sea ice has been in decline.

3. Marine systems

The impacts of climate change on the marine environment are covered here by assessing the rise in sea level, the sea surface temperature and changes in the marine growing season and species composition. All of these indicators show clear trends. The marine system is mainly affected by an increase in sea surface temperature, especially in isolated basins like the Baltic Sea and the North Sea. This has resulted in an increase in phytoplankton biomass, a northward movement of indigenous zooplankton species by up to 1000 km within the past few decades, and an increasing presence and number of warm-temperate species in the North Sea. It is estimated that the current rise in sea level of 0.8–3.0 mm/year will continue and intensify by 2.2 to 4.4 times the present values.

4. Terrestrial ecosystems and biodiversity

Terrestrial ecosystems are mainly affected with regard to plant phenology and distribution of plant and animal species. Climate change increased the length of the growing season by 10 days between 1962 and 1995. Northward movement of plant species (induced by a warmer climate) has probably increased species diversity in north western Europe, but biodiversity has declined in various other parts of Europe. The survival of different bird species wintering in Europe has increased over the past few decades and is likely to increase further because of the projected rise in winter temperature. The terrestrial carbon uptake of the vegetation has had a positive balance in Europe during the last 20 years. This has led to a removal of some of the atmospheric CO_2 concentration and thus partly mitigated climate change. However, this carbon sequestration will most likely be reduced in future.

5. Water

Annual river discharge is an indicator for both fresh water availability in a river basin and low and high flow events. Annual river discharge has changed over the last decades across Europe. In some regions it has increased, in others, decreased. A part of these changes is attributable to observed changes in precipitation. Annual discharge is expected to decline strongly in southern and south eastern Europe, but to increase in northern and north eastern Europe. Therefore, water availability will change over Europe in the coming decades.

6. Agriculture

Climate change affects agriculture in many ways. Increasing atmospheric CO_2 and rising temperatures may allow earlier sowing dates, enhance crop growth and increase potential crop yield. On the other hand, rising temperatures increase the crops' water demand. In combination with changing precipitation patterns, rising temperatures are expected to lead to increasing crop yields in areas with sufficient water supply, to decreasing yields in areas with hot and dry conditions, and to a northward shift of agriculture.

7. Economy

Extreme weather events cause damage to industry, infrastructure and private households. In Europe, a large number of all catastrophic events since 1980 are attributable to

weather and climate extremes: floods, storms and droughts/heat waves. Economic losses resulting from weather and climate related events have increased significantly during the past 20 years. This is due to wealth increase and more frequent events. Climate change projections show an increasing likelihood of extreme weather events. Thus, a further increase in damage is very likely.

8. Human health

The impact of climate change on human health is evaluated with respect to heatwave-related health problems, tick-borne diseases and flooding. An increase in these impacts has been observed in recent decades and they are projected to escalate further due to projected rises in temperature.

Adaptation

Even if society substantially reduces its emissions of greenhouse gases over the coming decades, the climate system is projected to continue to change over the coming centuries. Therefore, society has to prepare for and adapt to the consequences of some inevitable climate change, in addition to mitigation measures. To prevent or limit severe damage to the environment, society and economies, adaptation strategies for affected systems are required at European, national, regional and local level.

Summary of trends and projections of indicators included in the presentation

Indicators	Key messages
Atmosphere and climate	
Greenhouse gas concentrations	• Due to human activities, the concentration of carbon dioxide (CO_2), the main greenhouse gas, has increased by 34 % compared with pre-industrial levels, with an accelerated rise since 1950. Other greenhouse gas concentrations have also risen as a result of human activities. • The total rise in all greenhouse gases since the pre-industrial era amounts to 170 ppm CO_2- equivalent, with contributions of 61 % from CO_2, 19 % from methane, 13 % from CFCs and HCFCs, and 6 % from nitrous oxide. • If no climate-driven policy measures are implemented, a further increase to 650–1215 ppm CO_2 equivalent is projected to occur by 2100. • To achieve the EU long-term objective of limiting global temperature rise to 2 °C, global emissions of greenhouse gases need to be reduced substantially from 1990 levels.

Global and European air temperature	• The global average temperature has increased by 0.7 ± 0.2 °C over the past 100 years. The 1990s were the warmest decade in the observational record; 1998 was the warmest year, followed by 2002 and 2003. • Europe has warmed more than the global average, with a 0.95 °C increase since 1900. Temperatures in winter have increased more than in summer. The warming has been greatest in northwest Russia and the Iberian Peninsula. • The rate of global warming has increased to 0.17 ± 0.05 °C per decade, a value probably exceeding any 100-year rate of warming during the past 1 000 years. The indicative target of no more than 0.1–0.2 °C per decade has already been exceeded or will be exceeded within the next few decades. • From 1990 to 2100, the global average temperature is projected to increase by 1.4–5.8 °C and 2.0–6.3 °C for Europe (without policy measures). The 'sustainable' EU target of limiting global temperature increase to no more than 2.0 °C above pre-industrial levels is likely to be exceeded around 2050.
European precipitation	•Annual precipitation trends in Europe for the period 1900–2000 show a contrasting picture between northern Europe (10–40 % wetter) and southern Europe (up to 20 % drier). Changes have been greatest in winter in most parts of Europe. • Projections for Europe show a 1–2 % increase per decade in annual precipitation in northern Europe and an up to 1 % per decade decrease in southern Europe (in summer, decreases of 5 % per decade may occur). The reduction in southern Europe is expected to have severe effects, e.g. more frequent droughts, with considerable impacts on agriculture and water resources.
Temperature and precipitation extremes	• In the past 100 years the number of cold and frost days has decreased in most parts of Europe, whereas the number of days with temperatures above 25 °C (summer days) and of heat waves has increased. • The frequency of very wet days significantly decreased in recent decades in many places in southern Europe, but increased in mid and northern Europe.

	• Cold winters are projected to disappear almost entirely by 2080 and hot summers are projected to become much more frequent. • It is likely that, by 2080, droughts as well as intense precipitation events will become more frequent.
Glaciers, snow and ice	
Glaciers	• Glaciers in eight out of the nine glacier European regions are in retreat, which is consistent with the global trend. • From 1850 to 1980, glaciers in the European Alps lost approximately one third of their area and one half of their mass. Since 1980, another 20–30 % of the remaining ice has been lost. The hot dry summer of 2003 led to a loss of 10 % of the remaining glacier mass in the Alps. • Current glacier retreat in the Alps is reaching levels exceeding those of the past 5 000 years. • It is very likely that the glacier retreat will continue. By 2050, about 75 % of the glaciers in the Swiss Alps are likely to have disappeared.
Snow	• The northern hemisphere's annual snow cover extent has decreased by about 10 % since 1966. • The snow cover period in the northern hemisphere land areas between 45 °N and 75 °N shortened by an average rate of 8.8 days per decade between 1971 and 1994. • Northern hemisphere snow cover extent is projected to decrease further during the twenty-first century.
Arctic sea ice	• The total area of Arctic sea ice has shrunk by more than 7 % from 1978 to 2003. • Ice thickness decreased by about 40 % on average from the period 1958–1976 to the period 1993–1997, with large regional variability. • The duration of the summer melt season over a large proportion of the perennial Arctic sea ice increased by 5.3 days (8 %) per decade from 1979 to 1996. • Projections show a predominantly ice free Arctic Ocean in summer by 2100.

Marine Systems	
Rise in sea level	• Sea levels around Europe increased by between 0.8 mm/year (Brest and Newlyn) and 3.0 mm/year (Narvik) in the past century. • The projected rate of sea level rise between 1990 and 2100 is 2.2 to 4.4 times higher than the rate in the twentieth century, and sea level is projected to continue to rise for centuries.
Sea surface temperature	• Since the late nineteenth century, the global average sea surface temperature has increased by 0.6 ± 0.1 °C, consistent with the increase in global air temperature. • Global ocean heat content has increased significantly since the late 1950s. More than half of the increase in heat content has occurred in the upper 300 metres of the ocean. • No European sea shows a significant cooling; the Baltic and North Seas and the western Mediterranean show a slight warming of about 0.5 °C over the past 15 years. • It is very likely that the oceans will warm less than the land; by 2100, global sea surface temperature is projected to increase by 1.1–4.6 °C from 1990 levels.
Marine growing season	• Increasing phytoplankton biomass and an extension of the seasonal growth period have been observed in the North Sea and the North Atlantic over the past decades. • In the 1990s, the seasonal development of decapods larvae (zooplankton) occurred much earlier (by 4–5 weeks), compared with the long-term mean.
Marine species composition	• Over the past 30 years there has been a northward shift of zooplankton species by up to 1 000 km and a major reorganisation of plankton ecosystems. • The presence and number of warm-temperate species have been increasing in the North Sea over the past decades
Terrestrial ecosystems and biodiversity	
Plant species composition	• Climate change over the past three decades has resulted in decreases in populations of plant species in southern and northern Europe.

	• Plant species diversity has increased in north western Europe due to a northward movement of southern thermophilic species, whereas the effect on cold tolerant species is still limited. • Projections predict a further northward movement of many plant species. By 2050 species distribution is projected to become substantially affected in many parts of Europe. • Globally a large number of species might become extinct under future climate change. Due to non-climate related factors, such as the fragmentation of habitats, extinction rates are likely to increase. These factors will limit the migration and adaptation capabilities needed by species to respond to climate change.
Plant species distribution in mountain regions	• Endemic mountain plant species are threatened by the upward migration of more competitive sub-alpine shrubs and tree species, to some extent because of climate change. • In the Alps, upward migration has led to an increase in plant species richness in 21 out of 30 summits, whereas it has decreased or remained stable in the other summits. • Projected changes in European annual average temperature are outside the tolerance range of many mountain species. These species are projected to be replaced by more competitive shrub and tree species, leading to considerable loss of endemic species in mountain regions.
Terrestrial carbon uptake	• In the period 1990–1998 the European terrestrial biosphere was a net sink for carbon and therefore partly offset increasing anthropogenic CO_2 emissions. • Carbon uptake in Europe can be increased by replanting forests and other land management measures. The additional potential storage capacity for the EU in forestry and agriculture is estimated to be relatively small, compared with the agreed targets in the Kyoto Protocol. • The projected increase in average temperature is likely to reduce the potential amount of carbon that can be sequestrated in the European terrestrial biosphere in the future.

Plant phenology and growing season	• The average annual growing season in Europe lengthened by about 10 days between 1962 and 1995, and is projected to increase further in the future. • Greenness (a measure of plant productivity) of vegetation increased by 12 %, an indicator of enhanced plant growth. • The positive effects of temperature increase on vegetation growth (i.e. a longer growing season) are projected to be counteracted by an increased risk of water shortage partly especially Southern Europe which would adversely affect vegetation.
Bird survival	• The survival rate of different bird species wintering in Europe has increased over the past few decades. • The survival rate of most bird species is likely to improve further because of the projected rise in winter temperature. • Nevertheless, it is not yet possible to determine what impact this increasing survival will have on bird populations
Water	
Annual river discharge	• Annual river discharge has changed over the past few decades across Europe. In some regions, including eastern Europe, it has increased, while it has decreased in others, including southern Europe. Some of these changes can be attributed to observed changes in precipitation. • The combined effect of projected changes in precipitation and temperature will in most cases amplify the changes in annual river discharge. • Annual discharge is projected to decline strongly in southern and southeastern Europe, but to increase in almost all parts of northern and northeastern Europe, with consequences for water availability.
Agriculture	
Crop yield	• The yields per hectare of all cash crops have continuously increased in Europe in the past 40 years due to technological progress, while climate change has had a minor influence.

	• Agriculture in most parts of Europe, particularly in mid and northern Europe, is expected to potentially benefit from increasing CO_2 concentrations and rising temperatures. • The cultivated area could be expanded northwards. • In some parts of southern Europe, agriculture will be threatened by climate change due to increased water stress. • During the heat wave in 2003, many southern European countries suffered drops in yield of up to 30 %, while some northern European countries profited from higher temperatures and lower rainfall. • Bad harvests could become more common due to an increase in the frequency of extreme weather events (droughts, floods, storms, hail) and pests and diseases.
Economy	
Economic losses	• In Europe, 64 % of all catastrophic events since 1980 are directly attributable to weather and climate extremes: floods, storms and droughts/heat waves. 79 % of economic losses caused by catastrophic events result from these weather and climate related events. • Economic losses resulting from weather and climate related events have increased significantly during the past 20 years, from an annual average of less than USD 5 billion to about USD 11 billion. This is due to wealth increase and more frequent events. Four out of the five years with the largest economic losses in this period have occurred since 1997. • The average number of annual disastrous weather and climate related events in Europe nearly doubled over the 1990s compared with the previous decade, while non-climatic events such as earthquakes remained stable. • Climate change projections show an increasing likelihood of extreme weather events. Thus, an escalation in damage caused is likely.
Human health	
Heatwaves	• More than 20 000 excess deaths attributable to heat, particularly among the aged population, occurred in western and southern Europe during the summer of 2003.

	• Heatwaves are projected to become more frequent and more intense during the twenty-first century and hence the number of excess deaths due to heat is projected to increase in the future. On the other hand, fewer cold spells will likely reduce the number of excess deaths in winter.
Flooding	• Between 1975 and 2001, 238 flood events were recorded in Europe. Over this period the annual number of flood events clearly increased. • The number of people affected by floods rose significantly, with adverse physical and psychological human health consequences. • Fatal casualties caused per flood event decreased significantly, likely due to improved warning and rescue measures. • Climate change is likely to increase the frequency of extreme flood events in Europe, in particular the frequency of flash floods, which have the highest risk of fatality.
Tick-borne diseases	• Tick-borne encephalitis cases increased in the Baltic region and central Europe between 1980 and 1995, and have remained high. Ticks can transmit a variety of diseases, such as tick-borne encephalitis (TBE) and Lyme disease (in Europe called Lyme borreliosis). • It is not clear how many of the 85 000 cases of Lyme borreliosis reported annually in Europe are due to the temperature increase over the past decades.

Impacts of Europe's changing climate

An indicator-based assessment
EEA ReportNo 2/2004
European Environmental Agency
http://reports.eea.eu.int/climate_report_2_2004/en

Los Cambios Climáticos Abruptos, una Incógnita más del Futuro de Nuestro Planeta

DR. JOAN O. GRIMALT

Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Barcelona
Premio Rey Jaime I en Medio Ambiente 2005

El hombre y la energía

La humanidad, a lo largo de su evolución, ha conseguido desarrollar usos energéticos que no están disponibles para ningún otro organismo en la naturaleza. Hace unos 700000 años algunos de nuestros antepasados aprendieron a hacer fuego. Ello supuso un cambio radical en la manera de utilizar la energía porque el fuego permitió gastar mucha energía en muy poco tiempo y en un espacio pequeño.

Posteriormente, se inventó la agricultura. Un campo sembrado tiene las funciones de una enorme antena de recogida de energía solar para ser aprovechada con una funcionalidad concreta (por ejemplo obtener un alimento específico). El invento de la agricultura, hace unos 10000 años, permitió que una parte muy importante de los humanos dejase de ser nómada. Se empezaron a construir pueblos y ciudades, es decir los fundamentos de nuestra civilización. Ello supuso una mejora clara de las condiciones de vida y la vida media de los humanos sedentarios aumentó desde cerca de 25 a 40 años. Este avance también supuso una transformación profunda del medio ambiente de muchos lugares. A nivel de Europa se cortaron la mayoría de bosques para sembrar y para disponer de pastos.

Posteriormente los humanos aprendieron a obtener una ventaja todavía mejor, la producción de trabajo a partir del calor con la ayuda de máquinas. Este es el caso, por ejemplo, de un vapor de una fábrica textil antigua o de cualquier equipo eléctrico que ahora se puede utilizar en casa. La electricidad que hoy tenemos disponible en el enchufe antes se ha fabricado mediante diversos métodos que en la gran mayoría de los casos provienen de la utilización de la combustión. Los medios de transporte, coches, aviones, tre-

nes, barcos, etc., también obtienen trabajo (desplazamiento) a partir de la quema de combustibles diversos.

Este uso energético, que para muchos de nosotros puede parecer obvio, no es accesible a ninguna otra especie viva. Para conseguirlo, es preciso sortear un principio de la termodinámica, el segundo, que dice que la entropía siempre tiende a aumentar en cualquier proceso. Las máquinas que hemos inventado los humanos permiten "engañar" a este principio mediante el gasto de un exceso de energía. En las centrales térmicas clásicas sólo un tercio de la energía generada a partir de la combustión es transformada en electricidad. El resto del calor producido se tiene que eliminar en los circuitos de refrigeración o se pierde por la chimenea. Se puede aprovechar una parte del calor acumulado en los circuitos de refrigeración para calentar uno o varios edificios circundantes pero no como trabajo. En todos los procesos en que se saca trabajo a partir del calor se tiene que pagar el peaje de disipar al medio ambiente una gran parte de la energía producida, que no se aprovecha.

La utilización de esta nueva modalidad energética dio paso a la revolución industrial del siglo XIX. Las máquinas permitieron un gran progreso. Liberaron a muchos humanos del trabajo manual, que pudieron hacer labores mucho más intelectuales. Como consecuencia, en este último período de 150 años se han puesto en pie las bases del desarrollo científico (química, física, biología), se ha producido un gran desarrollo tecnológico (motor de vapor, motor de explosión, energía nuclear, conquista del espacio, etc.) y se han mejorado enormemente las condiciones sanitarias de la población (vacunas, antibióticos, etc.). Todo ello ha dado lugar a un aumento muy importante de la esperanza de vida, hasta 75-80 años, y a un crecimiento demográfico espectacular. Antes de este período en la Tierra había cerca de unos 500 millones de personas. Ahora ya somos más de 6300 millones y estamos aumentando a un ritmo de 70 millones por año.

Entre estos 6300 millones no todo el mundo gasta energía por igual porque no todos tenemos el mismo grado de desarrollo económico. Ahora bien, el hombre tecnológico, nosotros, gasta, per cápita, más de doscientas veces más energía que el hombre primitivo.

Este consumo tan elevado pronto puso de manifiesto que con la madera de los bosques no había suficiente y se empezó a extraer, en primer lugar, el carbón del subsuelo, después el petróleo y recientemente el gas natural. Hoy por hoy, el 85% de la energía que gasta nuestra civilización se obtiene a partir de estos recursos energéticos fósiles. Dichos recursos provienen de la actividad de las plantas y las algas del pasado, que dejaron unas grandes acumulaciones de materia orgánica en los sedimentos. Al gastarlos utilizamos un recurso no renovable.

Los cambios de CO_2 en la atmósfera

Este gran consumo de recursos fósiles ha dado lugar a un aumento importante de CO_2 en la atmósfera. Toda combustión acaba produciendo CO_2 en el mejor de los casos (en el peor, contaminación de diverso tipo). En los últimos 150 años la concentración de este gas ha subido unas 90 partes por millón debido a la acción humana. Este incremento es equivalente al ocurrido de forma natural cada vez que nuestro planeta ha pasado de época glacial a época interglacial. No sólo eso, sino que la concentración actual de CO_2 (375 partes por millón) es más alta que la observada en todas las épocas interglaciales (280 partes por millón) y glaciales (190 partes por millón) del Cuaternario (figura 1). El planeta se encuentra en la actualidad en unas condiciones totalmente imprevistas según la evolución natural. No existe equivalente de concentraciones tan altas de CO_2 en la atmósfera en el pasado reciente.

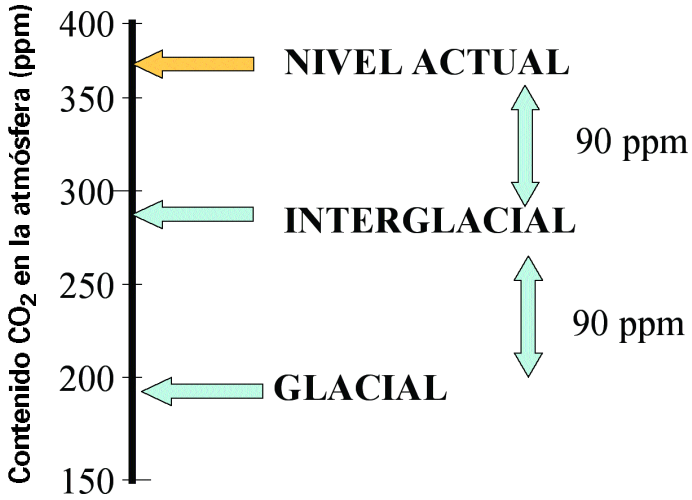


Figura 1. Contenido de CO_2 en la atmósfera en la actualidad y contenido medio en las épocas glaciales e interglaciales del Cuaternario.

El CO_2 es un gas de efecto invernadero. Esto quiere decir que es transparente a la radiación solar que entra en la Tierra pero que absorbe la radiación que la Tierra reemite hacia fuera (que tiene una frecuencia diferente). Por ello, el CO_2 genera un efecto de "manta térmica" en la atmósfera. A mayor concentración de este gas, mayor temperatura. Hay otros gases de efecto invernadero, como por ejemplo el metano, óxidos de nitrógeno y los freones. Desde un punto de vista de escala de tiempo, el incremento de la concentración de todos ellos en la atmósfera también corresponde al período que comprende desde de la revolución industrial hasta la actualidad.

El cambio climático

Hoy ya no hay duda de que la temperatura de la atmósfera del planeta está subiendo como consecuencia de la actividad humana. Los datos de los científicos muestran, con una probabilidad del 95%, que la temperatura media de los años actuales es superior a la observada en los últimos 1000 años (Mann y otros, 1998). Como consecuencia de este aumento (hoy por hoy del orden de 0.6º C), hay un deshielo generalizado que se puede identificar fundamentalmente en las montañas pero que también se observa en los polos norte y sur. Debido a este deshielo el nivel del mar está subiendo. Por ejemplo, las medidas hechas en la costa este de los Estados Unidos muestran un incremento de 25-30 cm en el siglo XX (Kearney y otros, 2002).

A pesar de ello sólo nos encontramos en el inicio del proceso. El Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, un grupo de estudio que reúne los trabajos de unos 2000 investigadores de todo el mundo) predice para finales de siglo niveles de CO_2 entre 500 y 950 partes por millón. Estos incrementos darán lugar a subidas de temperatura medias entre 1.4 y 5.8ºC respecto a 1990 y aumentos del nivel del mar de entre 9 y 88 cm.

Es difícil hacerse cargo de lo que significan cambios semejantes. Si se llega a los niveles más altos de CO_2 predichos, en la Península Ibérica podrán suponer la desaparición de buena parte de la nieve esquiable de las montañas. También se producirá la desaparición de

buena parte de la manga del Mar Menor y de los deltas del Ebro, Llobregat y Guadalquivir (es decir gran parte de los parque del Delta del Ebro y de Doñana). Además, buena parte de las playas estarán en peligro ya que una subida de casi un metro de nivel del mar representaría la desaparición una parte significativa de ellas.

Estas predicciones, a pesar de su tono apocalíptico, en realidad no reflejan ningún problema importante para la naturaleza considerada en su conjunto. Los deltas son zonas que de forma natural se han ido formando y desapareciendo, lo mismo que las playas. Un avance del nivel del mar sólo quiere decir que desaparecerán las playas actuales y que se formarán otras más atrás. ¿Es ello satisfactorio? El problema son los hoteles. Si las playas retroceden los hoteles se encontrarán desplazados, algunos de ellos con algún problema de exceso de agua. El problema del cambio climático no es importante para la naturaleza sino para la humanidad.

De modo similar, que haya más o menos nieve en las montañas no es un problema fundamental. En la historia reciente de nuestro planeta ya hubo épocas (por ejemplo hace unos 110000 años) que en las montañas no había tanta nieve como ahora. Después, cuando el clima se enfrió, aumentó el volumen de nieve acumulada y los ecosistemas se modificaron para adaptarse a las nuevas condiciones. Ahora, si hay cambios en la cantidad de nieve que hay en las montañas, las estaciones de esquí serán las primeras perjudicadas. Nuevamente el factor humano.

Para muchas personas oír hablar de este tema da la impresión de tópico ecologista. Nada más lejos de la realidad. Cualquier experto sabe que los ecosistemas terrestres y marinos siempre han estado bajo la acción de un clima cambiante y que se pueden adaptar perfectamente. El problema es para la humanidad. Nuestro desarrollo actual depende fuertemente de unas condiciones climáticas estables y las estamos alterando. En este sentido, al haber aumentado el número de individuos de nuestra especie de forma tan espectacular, ahora ocupamos muchos lugares en donde nuestros antepasados no vivían. Sitios en los que antaño no se construían casas porque había riesgos ambientales, como por ejemplo inundaciones o avalanchas, ahora se encuentran ocupados. Ello da lugar a que cualquier alteración del "status quo" meteorológico, como un temporal o cualquier otro fenómeno, tenga o no que ver con el cambio climático inducido por los humanos, se pueda convertir en un fenómeno catastrófico. El desastre de la ciudad de Nueva Orleáns nos ha proporcionado un ejemplo reciente y muy dramático de ello, que ilustra que incluso en el país más avanzado y más poderoso se encuentran poblaciones que se pueden ver afectadas por estos problemas.

Los cambios abruptos

La predicción del IPPC se ha elaborado a partir de la extrapolación de la situación climática actual, suponiendo que los procesos climáticos esenciales no cambiarán a pesar del gran aumento de CO_2 en la atmósfera y que simplemente tendremos una transición suave hacia la situación de mayor temperatura atmosférica debido al efecto invernadero. Esta suposición no se basa en ningún principio científico, simplemente es la hipótesis más razonable ante la falta de datos sobre la posibilidad de alteraciones del sistema climático actual.

A pesar de ello, los científicos que tratan estos temas saben que existe el riesgo de alteraciones de aspectos básicos del funcionamiento climático como por ejemplo el mecanismo de la circulación termohalina. La introducción creciente de agua dulce en el mar del Norte y el Océano Ártico puede dar lugar a una dilución fuerte del agua transportada por la Corriente del Golfo y, por tanto, a una fuerte pérdida de la densidad del agua que se encuentra en las

latitudes altas del Atlántico Norte. Si ello ocurriese, la desestabilización del clima en que vivimos ahora sería monumental y posiblemente el hemisferio norte iría a un episodio glacial que podría durar unos cuantos miles de años.

Estos efectos han ocurrido regularmente en el pasado reciente del planeta y se conocen como cambios abruptos. Al hablar de ellos tenemos que definir en primer lugar qué se entiende por el término "abrupto". Dicho concepto hay que ponerlo en el contexto de los procesos que determinan el cambio climático natural, es decir los ciclos orbitales de Milankovitch, es decir la excentricidad, la oblicuidad y la precesión, lo que comporta periodos de 100000, 40000 y 23000 años (Berger, 1988). Se entiende por cambio abrupto aquél que ocurre en intervalos menores a estos ciclos, usualmente en intervalos de 1000 a 5000 años.

Dichos cambios fueron algo muy frecuente en el último período glacial, entre los últimos 20000 y 70000 años. Existieron unos seis episodios de fuertes fríos y duración del orden de 5000 años en los que se produjo una fusión muy importante de hielos provenientes de icebergs en toda una franja entre 40 y 55° N del Océano Atlántico. Estos intervalos se conocen por el nombre de su descubridor, Heinrich (Heinrich, 1988; Grousset y otros, 1993). Durante ellos (figura 2) las aguas del Atlántico alcanzaron las temperaturas más bajas características de la época glacial.

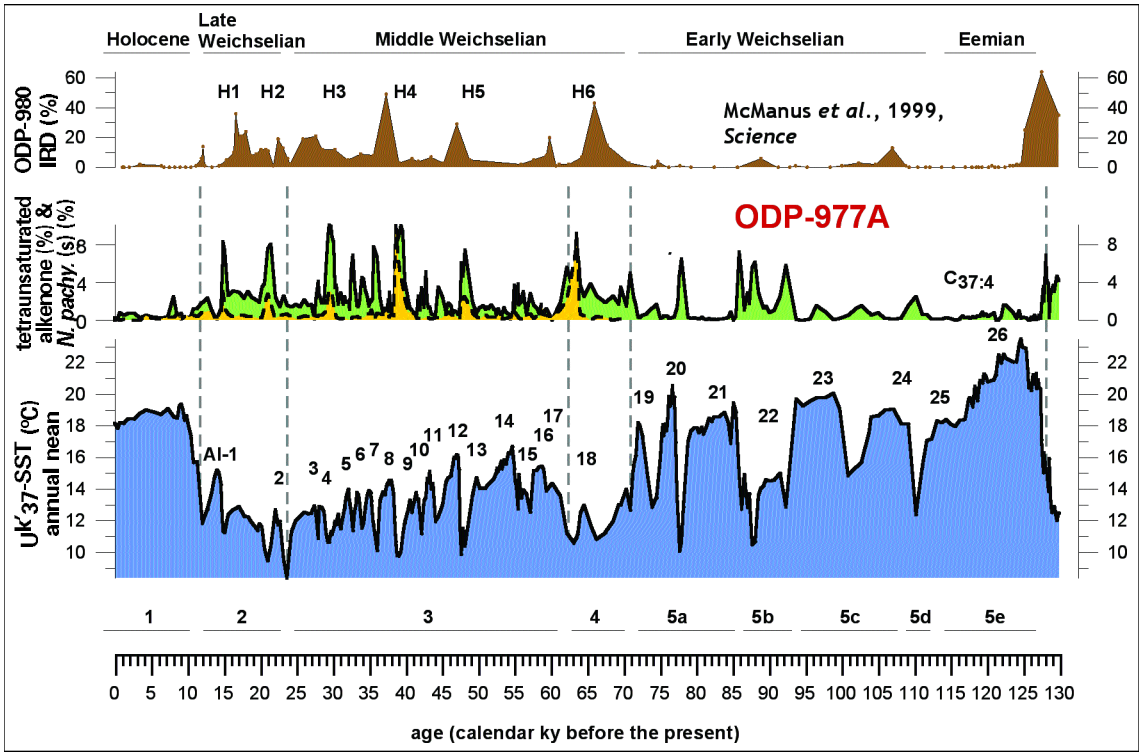


Figura 2. Registro de temperaturas a partir de la distribución de alquenonas de 37 átomos de carbono (parte inferior) en el testigo ODP-977 del Mar de Alborán. En el se pueden observar los episodios abruptos de Heinrich y Dansgaard-Oesgcher. Dichos episodios corresponden con sucesos de descarga de aportes detríticos ocurridos en el Atlántico Norte (parte superior; testigo ODP-980). El registro de en medio muestra los incrementos de cetonas tetrainsaturadas durante los episodios abruptos antes mencionados, lo cual también pone de manifiesto la presencia de episodios fríos.

Otro tipo de fenómenos abruptos que también se produjeron en la época glacial tuvieron una duración más corta (en el orden de 1000-2000 años) y no fueron acompañados de procesos masivos de fusión de hielo. Este segundo tipo se conocen como episodios Dansgaard-Oeschger, también debido al nombre de sus descubridores (Dansgaard y otros, 1993). A pesar de su duración menor, las caídas de temperatura que los caracterizan son a menudo de la misma intensidad que los episodios de Heinrich. De hecho, existe una correspondencia profunda entre ambos, existiendo varios episodios cortos entre cada Heinrich (Bond y otros, 1997) (figura 2).

La última época glacial estuvo por tanto puntuada por numerosos episodios climáticos abruptos que dieron lugar a oscilaciones de temperatura del agua de mar de hasta 6ºC en intervalos de 1000 años (Cacho y otros, 1999). En la zona continental éstos se tradujeron en enormes cambios de vegetación, pasando de un dominio de bosques en las épocas cálidas a un dominio de estepa en las épocas frías (Sanchez-Goñi y otros, 2002). Los cambios fueron, de hecho, globales en todo el Hemisferio norte, por lo menos.

Durante la época glacial, la circulación termohalina no funcionaba o tenía una intensidad muy disminuida y limitada a un circuito de baja latitud. Clásicamente se ha considerado que en ausencia del mecanismo estabilizador de dicha corriente la generación de oscilaciones climáticas abruptas era relativamente sencilla.

Sin embargo, estudios recientes han mostrado que estos episodios de enfriamiento abrupto también se produjeron en la época interglacial, cuando la corriente del Golfo funcionaba de modo vigoroso (Martrat y otros, 2004). Hubo menos transiciones abruptas pero las que se produjeron fueron más intensas que las de la época glacial, observándose cambios de hasta 10ºC en intervalos de 1000 años. Las transiciones abruptas de la época interglacial comprendieron intervalos del order de 1000-2000 años y son especialmente significativas para el clima actual ya que el Holoceno es, a todos los efectos, como un episodio interglacial más en los que se produjeron dichos cambios (figura 2). Su identificación muestra que dentro de la evolución natural del clima dichos cambios abruptos también son esperables en el período climático en el que vivimos ahora.

Ante estos resultados es evidente que la introducción de agua dulce en las aguas oceánicas cercanas a Groenlandia y el Polo Norte es un fenómeno que puede ayudar a desestabilizar el funcionamiento de la corriente del Golfo ya que impediría la formación del agua marina de densidad suficientemente alta como para formar Agua Atlántica Profunda. Es decir, que el fenómeno de fusión de hielo mencionado anteriormente es un efecto que tiende a hacer más factible la interrupción de la circulación termohalina y, en consecuencia, la aparición de cambios climáticos abruptos.

Puede parecer paradójico pero es posible que debido al efecto invernadero del aumento del CO_2 se viviese un episodio de glaciación en el hemisferio norte en un plazo breve de tiempo. Por otro lado, esta información contrasta con el hecho constatado de que el aumento de los gases de efecto invernadero está dando lugar a un calentamiento del planeta, tal como ya se puede constatar hoy en día y predice el IPCC.

El lector puede pensar que si como consecuencia de una misma causa los científicos pueden predecir que tanto podemos ir a una situación de fuerte calentamiento como a una glaciación, el nivel de conocimiento de como funciona el clima no es muy alto. A quien piense esto no le falta razón. Es necesario recordar lo dicho antes, los niveles de CO_2 en la atmós-

fera del planeta no tienen ninguna situación equivalente en el Cuaternario (figura 1). Nuestro planeta Tierra se encuentra en una situación ambiental desconocida, está inmerso en un experimento climático-atmosférico que nadie puede predecir como evolucionará.

Bibliografía

A. Berger. Milankovitch theory and climate. *Reviews of Geophysics* **26**, 624-657 (1988).

- André Berger es quizá el investigador que más ha contribuido relacionar las teorías de Milankovitch (1920) con las informaciones paleoclimáticas disponibles a partir de 1960 (fundamentalmente datos isotópicos de ^{13}C y ^{18}O) mostrando que los ciclos astronómicos predichos por este último realmente constituían elementos fundamentales para determinar la evolución del clima en la Tierra.

G. Bond, W. Showers, M. Cheseby, R. Lotti, P. Almasi, P. deMenocal, P. Priore, H. Cullen, I. Hajdas y G. Bonani. A pervasive millenial-scale cycle in North Atlantic Holocene and glacial climates. *Science* **278**, 1257-1266 (1997).

- Primer estudio que documenta que los cambios abruptos observados en Groenlandia también tuvieron efectos importantes en el Atlántico Norte.

I. Cacho, J.O.Grimalt, C. Pelejero, M. Canals, F.J. Sierro, J.A. Flores and N. Shackleton. Dansgaard-Oeschger y Heinrich event imprints in Alboran Sea paleotemperatures. *Paleoceanography* **14,** 698-705 (1999)

- En este trabajo se describe, por primera vez, la magnitud de las oscilaciones de la temperatura del agua de mar debida a los cambios abruptos de las épocas glaciales. Además muestra que dichos cambios, aunque inicialmente se habían medido en Groenlandia ocurrían de forma casi sincrónica en el Mar Mediterráneo (Alboran).

W. Dansgaard, S.J. Johnsen, H.B. Clausen, D. Dahl-Jensen, N.S. Gundestrup, C.U. Hammer, C.S. Hvidberg, J.P. Steffensen, A.E. Sveinbörnsdottir, J. Jouzel y Bond G. Evidence for general instability of past climate from a 250-kyr ice-core record. *Nature* **364**, 218-220 (1993).

- Primer estudio que documenta que hubo cambios climáticos abruptos en las últimas épocas glaciales, observados en los hielos de Groenlandia.

F. Grousset, L. Labeyrie, J. Sinko, G. Bond, J. Duprat, M. Cremer y S. Huon (1993) Patterns of ice rafted detritus in the Glacial North Atlantic (40-55°N). *Paleoceanography* **8**, 175-192 (1993).

- Este estudio constituye un ejemplo magnífico de la importancia de los fenómenos de fusión masiva de icebergs en el Atlántico Norte durante la última época glacial.

H. Heinrich. Origin and consequences of cyclic ice rafting in the Northeast Atlantic Ocean during the past 130,000 years. *Quaternary Research* **29**, 142-152 (1988).

- Primer trabajo que documenta los episodios de fusión masiva de icebergs en el Atlántico norte como consecuencia de los cambios abruptos de las épocas glaciales.

M.S. Kearney, A.S. Rogers, J.R.G. Townshend, E. Rizzo, D. Stutzer, J.C. Stevenson y K. Sundborg. Landsat Imagery Shows Decline of Coastal Marshes in Chesapeake and Delaware Bays. EOS **83,** 173 (2002)

- Ejemplo muy claro de como la subida del agua de mar durante el siglo XX (unos 30 cm) ha dado lugar a la desaparición de una parte muy importante de ecosistemas costeros, en concreto los manglares que había en las bahías de Chesapeake and Delaware, en la costa Atlántica de los Estados Unidos.

M.E. Mann, R.S. Bradley y Malcolm K. Hughes. Global-scale temperature patterns and climate forcing over the past six centuries. *Nature* **392,** 779-787 (1998)

- Se demuestra por primera vez que la temperatura de la troposfera del planeta en los años 1990 es la más caliente de las observadas dentro de los últimos 1000 años. El valor del artículo radica en que puede afirmar este dato con validez estadística y establecer que tiene un 95% de probabilidad de acierto.

B. Martrat, J.O. Grimalt, C. Lopez-Martinez, I. Cacho, F.J. Sierro, J.A. Flores, R. Zahn, M. Canals, J.H. Curtis and D.A. Hodell. Abrupt temperature changes in the western Mediterranean over the past 250,000 years. *Science* **306,** 1762-1765 (2004)

- En este trabajo se muestra que los cambios abruptos han ocurrido tanto en épocas glaciales como interglaciales (la que vivimos ahora). Los segundos aunque han sido menos numerosos han sido por regla general más intensos. También muestra que los efectos de calentamiento ocurren de forma más rápida que los de enfriamiento.

M.F. Sanchez-Goñi, I. Cacho, J.-L. Turon, J. Guiot, F.J. Sierro, J.-P. Peypouquet, J.O. Grimalt and N.J. Schackleton. Synchroneity between marine and terrestrial responses to millennial scale climatic variability during the last glacial period in the Mediterranean region. *Climate Dynamics* **19,** 95-105 (2002)

- Primer estudio que muestra que los cambios abruptos de las épocas glaciales dieron lugar a alteraciones climáticas sustanciales en las zonas continentales, que ocurrieron de forma simultánea a las observadas en el mar. A nivel de la Península Ibérica se describe que dichas alteraciones dieron lugar a cambios de la vegetación predominante, que ocurrieron en intervalos de tiempo decenas de años.

El Modelo Energético y el Futuro de los Hidrocarburos

PROF. DR. MARIANO MARZO

Catedrático de Estratigrafía y Profesor de Recursos Energéticos
Dpto. Estratigrafía, Paleontología y Geociencias Marinas
Universidad de Barcelona

Introducción

La reciente entrada en vigor del Protocolo de Kioto constituye sin duda un paso adelante en la lucha contra el cambio climático. Sin embargo, si enmarcamos este logro dentro de la perspectiva más amplia de adonde nos conduce la actual rutina energética la conclusión es más preocupante: Kioto no es más que un pequeño paso adelante en una cinta transportadora que se mueve, a mucha mayor velocidad, alejándonos de la meta deseada.

Porque, hoy en día, si no contabilizamos la biomasa tradicional, algo más del 87% de la energía primaria consumida en el mundo procede de combustibles fósiles. Las modernas energías renovables todavía suministran menos del 2% del total. Es obvio que durante un largo periodo de tiempo no podremos apañarnos sin petróleo, gas y carbón.

Pocos dudan hoy en día del potencial de crecimiento de las energías renovables y de los biocombustibles en los países industrializados. Sin embargo, las previsiones de diversos organismos oficiales coinciden en que hacia el 2030 los combustibles fósiles todavía representarán cerca del 80% de la energía primaria que el mundo consumirá. Si no se concreta una rápida y espectacular revolución tecnológica, la conclusión es clara: aunque en el futuro el porcentaje de consumo de los combustibles fósiles decrecerá en favor de las energías renovables, la cantidad total de carbón, petróleo y gas utilizada se incrementará en términos absolutos respecto a los niveles actuales.

En este contexto, se pretende exponer la previsible evolución futura del mercado global de los hidrocarburos y su impacto sobre la emisión de dióxido de carbono.

El escenario de referencia de la AIE: hipótesis de partida

Existen diversas fuentes de información a propósito de la previsión a medio plazo del crecimiento de la demanda y consumo mundial de energía primaria. Entre estas destacan los informes publicados por la Agencia Internacional de la Energía ("*World Energy Outlook, 2004*") y por el Departamento de Energía del Gobierno de los Estados Unidos ("*International Energy Outlook*, *2004*"). El primero extiende sus previsiones hasta el año 2030 y el segundo hasta el 2025. En este trabajo, por razones de espacio y simplicidad, comentaremos exclusivamente las conclusiones contenidas en el escenario de referencia de la Agencia Internacional de la Energía (AIE).

Las proyecciones de la AIE se basan en un conjunto de hipótesis sobre políticas gubernamentales, condiciones macroeconómicas, crecimiento demográfico, precios de los combustibles fósiles y desarrollo tecnológico. Tales proyecciones deben tomarse como una aproximación que solo resulta valida si los gobiernos no toman rumbos diferentes, para bien o para mal, al marcado por los compromisos internacionales adquiridos en estos momentos. En este sentido, por ejemplo, se asume que las políticas energéticas adoptadas en la Conferencia de Kioto de Diciembre de 1997 seguirán vigentes y que no se adoptarán nuevas políticas para reducir los gases producidos por el efecto invernadero.

El crecimiento económico es probablemente el factor que más incide en la demanda energética. La AIE asume que durante el periodo de tiempo considerado (2002-2030) el Producto Interior Bruto mundial crecerá a un promedio del 3,2% anual, lo que constituye una cifra relativamente modesta en comparación con lo acontecido en las últimas décadas. Por lo que respecta al crecimiento demográfico, la AIE considera un aumento de la población mundial que va de los cerca de 6.200 millones de habitantes en el 2002 a algo más de 8.000 millones en el 2030. Hipotéticamente, el precio promedio del barril de petróleo importado (expresado en dólares del 2000) se situaría en torno a los 22 dólares en el 2006, manteniéndose en torno a este valor hasta el 2010, para luego incrementarse gradualmente hasta alcanzar los 29 dólares en el 2030. El precio del gas natural evolucionaría en paralelo al del petróleo, mientras que el del carbón se mantendría prácticamente sin cambios hasta el 2010, para después iniciar un suave ascenso hasta el 2030.

Los cambios tecnológicos y de política de los gobiernos, constituyen, junto a las hipótesis formuladas sobre las condiciones macroeconómicas y los precios de los combustibles fósiles, los principales elementos de incertidumbre en el escenario de referencia de la AIE. Ambos factores, el tecnológico y el político, afectarán tanto a la demanda de servicios energéticos como a la tasa de inversión en infraestructuras de suministro. Obviamente, estas incertidumbres se acentúan a medida que nos alejamos del presente, acercándonos al horizonte del 2030.

Por lo que respecta al desarrollo tecnológico, la AIE piensa que durante el periodo considerado se producirán avances tecnológicos, pero que éstos serán increméntales más que revolucionarios. Durante las próximas tres décadas algunas tecnologías hoy existentes se comercializarán a gran escala y se asistirá a una evolución gradual hacia el empleo de tecnologías menos contaminantes, particularmente de aquellas basadas en la utilización de energías renovables para la generación energética. Pudiera ser que de aquí al 2030 se produjeran avances espectaculares en algunos campos, como en la comercialización del hidrógeno o la puesta a punto de la tecnología de fusión para usos civiles, pero predecir el momento en que

esto ocurriría y su magnitud es imposible. Sin duda, los gobiernos pueden jugar un papel clave en el desarrollo de dichas tecnologías, propiciando e impulsando los programas de investigación y desarrollo en materia energética.

La demanda global de petróleo, gas natural y carbón en el periodo 2002-2030

La AIE pronostica en su informe que durante el periodo 2002-2030 la demanda global de energía primaria se incrementará en un 60%, creciendo anualmente a un ritmo del 1,7%, hasta alcanzar la cifra de 16.500 millones de toneladas equivalentes de petróleo (tep). De estas cifras, conviene resaltar que la tasa de crecimiento citada es inferior al 2% anual de las tres últimas décadas y que el incremento previsto totalizará cerca de 6.142 millones de tep, lo que equivale a dos tercios de la demanda actual.

Más del 60% del aumento de la demanda mundial de energía primaría provendrá de los países en desarrollo. Los países de la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE) totalizarán el 26% y las economías en transición el 8%. La porción de la demanda mundial correspondiente a la OCDE disminuirá desde el 52% actual al 43% del 2030, mientras que la de los países en desarrollo se incrementará del 37% al 48%. El porcentaje correspondiente a las economías en transición decrecerá ligeramente del 10% al 9%.

Dentro de este panorama, los hidrocarburos (petróleo, gas y carbón) totalizarán cerca del 85% del incremento previsto hasta el 2030 en la demanda mundial de energía primaria. Sin embargo, su porcentaje sobre el total sólo aumentará ligeramente, de un 80% en el 2002 hasta un 82% en el 2030.

El petróleo seguirá siendo el hidrocarburo más utilizado, a pesar de que su porcentaje sobre el total de la demanda descenderá ligeramente del 36% al 35%. Se prevé que su demanda crezca anualmente un 1,6%, de los 77 millones de barriles diarios (Mb/d) del 2002, a 90 Mb/d en el 2010 y 121 Mb/d en el 2030.

Del incremento de 44 Mb/d previstos entre el 2002 y el 2030, las regiones en desarrollo contabilizarán casi dos tercios. El incremento de la demanda de petróleo de los países asiáticos totalizarán 18 Mb/d, con China absorbiendo ella sola casi la mitad de esta cifra. El consumo de petróleo en América del Norte también crecerá con fuerza, de 22,6 Mb/d en el 2002 hasta cerca de 31 Mb/d en el 2030. La demanda en otros países de la OCDE se incrementará sólo modestamente. América del Norte seguirá siendo, de lejos, el mayor mercado para el petróleo.

Dos terceras partes del incremento de la demanda mundial de petróleo provendrán del sector del transporte ya que no se prevé que ningún otro combustible alternativo pueda, de aquí al 2030, desafiar seriamente el uso de los derivados del petróleo. Se estima que en el 2030, el transporte absorberá el 54 % del consumo total de petróleo, frente al 47 % actual y el 33% en 1971. Está fuente de energía primaria permanecerá como un combustible marginal en la generación energética ya que el declive en su utilización en los países de la OCDE será superior al pequeño aumento que experimentará en los países en desarrollo. Previsiblemente, los sectores industrial, residencial y comercial tan solo incrementarán ligeramente su consumo de petróleo. La mayor parte de este tendrá lugar en los países en vías de desarrollo, en los que el gas natural todavía no será un serio competidor en los procesos industriales ni para el calentamiento del agua y de los hogares.

La demanda de gas crecerá más rápidamente que la de cualquier otro combustible, con la excepción de las fuentes energéticas renovables no hidráulicas. Con un crecimiento anual del 2,3%, en el 2030 el consumo de gas será un 90% superior al actual y poco después del 2010 habrá sustituido al carbón como segunda fuente de energía primaria mundial. Su porcentaje sobre el total de la energía primaria consumida en el mundo pasará de un 21% en el 2002 a un 25% en el 2030.

Este ascenso en la demanda de gas tendrá lugar en todas las regiones. En términos de volumen, el crecimiento será encabezado por América del Norte, seguida por los países europeos de la OCDE. En términos de tasas de crecimiento, las mayores serán las de China y Sur de Asia, donde el actual consumo de gas es muy bajo.

En las próximas tres décadas las nuevas plantas de generación energética, especialmente las de ciclo combinado, representarán cerca del 60% del incremento en la demanda de gas. Esta forma de generación resulta más eficiente e implica menos costes de capital que las basadas en tecnologías nucleares o del carbón. Además, el gas presenta la ventaja sobre el carbón y el petróleo de un impacto ambiental más benigno por su menor contenido en carbono. Un porcentaje pequeño, pero creciente, de la demanda de gas provendrá de las plantas de transformación gas-líquidos y de las células de combustible para la producción de hidrógeno.

La demanda de carbón aumentará a un ritmo de un 1,5% anual, pero su porcentaje sobre el total de la energía primaria consumida en el mundo descenderá un poco, de un 23% en el 2002 a un 22% en el 2030.

China e India, que disponen de grandes recursos a bajo precio, totalizarán casi las tres cuartas partes del alza de la demanda de carbón en los países en desarrollo y dos tercios del incremento a escala mundial. Para el 2030, China e India contabilizarán el 45% de la demanda global, frente al 35% del 2002. En estos dos países, el consumo de carbón seguirá ocupando el primer lugar entre todas las fuentes de energía primaria, aunque su porcentaje relativo disminuirá ligeramente. En las economías en transición y en los países en desarrollo, los sectores industrial, residencial y comercial quemarán más carbón, pero la mayor parte del aumento de la demanda será para la generación energética.

Recursos y reservas de petróleo

En párrafos precedentes hemos comentado el comportamiento de la demanda de petróleo previsto por la AIE en el horizonte del 2030. A la vista de dichas cifras, la pregunta es inmediata: ¿disponemos de suficientes recursos y reservas para hacer frente a tal demanda?

Las estimaciones sobre los recursos finales de petróleo almacenados en el subsuelo del planeta difieren considerablemente entre sí, según que los cálculos incluyan o no los petróleos no convencionales (petróleos pesados o muy viscosos, arenas asfálticas y pizarras bituminosas), el petróleo que se encuentra en el subsuelo de áreas marinas profundas o en zonas árticas, los denominados condensados (hidrocarburos gaseosos en el subsuelo pero que a boca de pozo pueden recuperarse en forma líquida) y de que se integren o no los efectos del previsible progreso tecnológico a los costes técnicos aceptables para que la extracción sea rentable.

Para simplificar la cuestión, puede afirmarse que las opiniones de los expertos varían entre dos polos extremos: la de los “pesimistas” y la de los “optimistas”. Los primeros consideran que la posibilidad de ampliar el volumen de reservas mediante una mejor y más inten-

sa explotación de los campos ya descubiertos es prácticamente despreciable y que los recursos globales por descubrir totalizan una cifra inferior a una cuarta parte de las reservas mundiales inventariadas. Los segundos toman como ciertos los cálculos del Servicio Geológico de los Estados Unidos que invocan el progreso tecnológico para incrementar notablemente el volumen de las reservas recuperables de los campos ya descubiertos y, también, para encontrar y desarrollar nuevos recursos que hoy en día resultan inaccesibles.

Aunque no existe unanimidad en la industria del petróleo, la AIE se decanta por la posición optimista, afirmando que los recursos y reservas de petróleo son suficientes para cubrir la demanda prevista para el 2030. Sin embargo, estos no se encuentran uniformemente distribuidos, de forma que una sola región, Oriente Medio, posee más del 60% de las reservas probadas de crudo que quedan en el planeta y cerca del 40% de los recursos que aún quedan por descubrir. Además, la AIE destaca que a pesar de que los recursos y reservas de petróleo son amplios, estos tienen un límite. La elaboración de modelos que tienen en cuenta diferentes tasas de extracción según la progresión del consumo, llevan a la conclusión de que la extracción de petróleo iniciará un lento pero inexorable declive entre el 2020 y el 2050. Eso suponiendo que en las próximas dos décadas se lleva a cabo un esfuerzo inversor sin precedentes para concretar nuevos descubrimientos y reemplazar los volúmenes de crudo extraídos. Sin duda, un factor crítico de cara a cubrir la futura demanda es la urgente e inapelable necesidad de invertir grandes sumas en investigación y desarrollo tecnológico para mejorar los porcentajes de éxito y rebajar los costes en exploración y perforación, así como para operar en ambientes extremos, tales como el Ártico y los grandes fondos marinos.

La extracción de petróleo

La AIE estima que la extracción de petróleo convencional aumentará de algo más de 75 millones de barriles diarios (Mb/d) en el 2002 a cerca de 111Mb/d en el 2030. Durante este periodo dicha extracción seguirá concentrada en un pequeño número de países. Los miembros de la Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP), particularmente los de Oriente Medio, verán aumentar sus porcentajes de extracción, a medida que esta declinará en regiones ya maduras

Las previsiones son que la extracción en los países que no son miembros de la OPEP alcance su cenit en el 2010, tras situarse un poco por debajo de los 48 Mb/d y que a partir de ese momento se iniciará un lento declive. A medio plazo, fuera de la OPEP, los únicos países que experimentaran un auge significativo en la extracción de crudo son Rusia, Kazajstán, Azerbaiyán, Brasil y Angola. En el caso de Rusia, las previsiones son pasar de 7 a 8,6 millones de barriles diarios (Mb/d) en el periodo 2001-2010, para continuar en ascenso hasta el 2030. Sin embargo, esto no será posible sin enormes inversiones en el desarrollo de los campos y en la construcción de oleoductos. Aumentar la extracción en la región del Caspio requerirá construir nuevos oleoductos para la exportación, lo que demanda acuerdos de financiación y de tránsito que todavía están por concretar. Suponiendo que tales líneas de exportación se construyan, la extracción combinada de Kazajstán y Azerbaiyán podría pasar de 1,1 Mb/d en el 2001 a más de 3,5 Mb/d en el 2010. Aumentar la extracción de crudo de los importantes campos marinos de Brasil y Angola implica el despliegue de tecnologías avanzadas para operar en aguas profundas y la existencia de un régimen estable de regulaciones e impuestos en ambos países.

Un reducido número de países de la OPEP que poseen vastas reservas y recursos deberán cubrir el déficit que existirá entre la extracción externa a la OPEP y la demanda global. La lista incluye Arabia Saudita, Irán, Irak, Kuwait, la Unión de Emiratos Árabes, Nigeria y Venezuela. Estos países deberán incrementar su extracción de 28 Mb/d en el 2002 a 33 Mb/d en el 2010, para alcanzar los 65 Mb/d en el 2030.

En gran medida, el desarrollo por parte de los países de la OPEP de la nueva capacidad de extracción requerida por el incremento de la demanda dependerá de que dichos países encuentren el capital necesario. A priori, esto no parece una tarea difícil, sobre todo si se comparan los actuales precios del barril de crudo con el hecho de que el coste total de desarrollar nuevos suministros en Oriente Medio es el más bajo del mundo, situándose en torno a los 4 dólares por barril. Sin embargo, a nadie se le escapa que las políticas de precios y de extracción de la OPEP son cuestiones muy inciertas, que los riesgos políticos para invertir en Oriente Medio son altos y que, además, no esta claro que todos los países decidan abrirse a tiempo a la inversión financiera y tecnológica procedente del exterior.

Para el 2030, se espera que los petróleos no convencionales contribuyan con cerca del 8% al suministro mundial de petróleo. Esto representa un volumen de extracción de 10,1 millones de barriles diarios (Mb/d), lo que significa un fuerte incremento respecto a los 1.6 Mb/d del 2002.

La mayor parte de estos recursos no-convencionales provendrán de las arenas asfálticas de Canadá y de los crudos pesados de Venezuela. Se estima que ambas regiones contienen 580.000 millones de barriles de reservas recuperables, es decir, más que la totalidad de las reservas de crudo convencional de Oriente Medio.

La proximidad de Canadá y Venezuela al mercado de los EE.UU. puede facilitar que estas fuentes energéticas lleguen a ser competitivas respecto a otras de menor coste de extracción pero provenientes de regiones más alejadas geográficamente. Por tanto, a medida que la extracción en los países de la OCDE entre en declive, la explotación de los recursos no convencionales constituye una oportunidad para reducir su dependencia de Oriente Medio, muy particularmente en el caso de los EE.UU.

El comercio mundial de petróleo

En el periodo 2002-2030, la ampliación de la brecha entre extracción indígena y demanda acarreará un considerable aumento del comercio internacional del petróleo. El comercio neto interregional evolucionará al alza, de los 32 millones de barriles por día (Mb/d) del 2002, a los 65 Mb/d del 2030. Todos los países y regiones que hoy en día son importadores netos, serán más dependientes al final del periodo considerado, tanto en términos absolutos como porcentuales.

En el caso de Asia, este incremento será particularmente dramático, especialmente en China, un importador neto desde 1993 y que en el 2030 necesitará importar cerca del 74% de su demanda, es decir, unos 10 Mb/d, lo que equivale a un volumen similar a las actuales importaciones de los EE.UU.

La dependencia de las importaciones de los países europeos de la OCDE crecerá del 54% al 86%, mientras que la de los países del Pacífico encuadrados en la OCDE, llegará al 95%. El aumento de la extracción en Méjico y de petróleos no convencionales en Canadá, ayudaran

a moderar el aumento de las importaciones en América del Norte, cuya dependencia del exterior pasará de un 36% al 55%. En conjunto, en el 2030, los países de la OCDE importarán el 85% de sus necesidades de petróleo, lo que contrasta con la cifra del 63% en el 2002.

Oriente Medio será la región que experimentará un mayor auge en el volumen de las exportaciones, pasando de 19 millones de barriles diarios (Mb/d) en el 2000 a 46 Mb/d en el 2030. El destino final del grueso de tales exportaciones será Asia, con China, seguida de la India, emergiendo como grandes mercados. Las exportaciones provenientes de África, América Latina y de los países con economías en transición (Rusia en especial), también crecerán, pero menos espectacularmente.

Sin duda, la comentada expansión del comercio del petróleo aumentará el riesgo de interrupciones del suministro, no solo por la crónica inestabilidad geopolítica de las regiones exportadoras, sino porque para alcanzar los mercados el crudo debe atravesar algunos "cuellos de ampolla" especialmente peligrosos. Actualmente, los estrechos de Ormuz, en el Golfo Pérsico, y de Malaca, en Asia, canalizan 26 Mb/d y las previsiones apuntan a que en el 2030 este tráfico habrá aumentado más de un 100%. Cualquier interrupción del flujo de crudo en estos puntos tendría, por tanto, un severo impacto sobre los mercados del petróleo.

Recursos y reservas de gas natural

La AIE prevé que el consumo de gas natural casi se duplicará entre el 2002 y el 2030. Para dicho organismo los recursos de gas natural son más que suficientes para cubrir la demanda prevista durante el citado periodo. El Servicio Geológico de los EE.UU. (USGS) estima que el promedio de los recursos de gas que permanecen por explotar, incluyendo las reservas probadas, el crecimiento de las reservas y los recursos por descubrir, totalizarían unos 386 billones de metros cúbicos. Según el USGS, la extracción mundial de gas acumulada hasta la fecha representaría menos del 12% de los recursos finales.

Las reservas probadas de gas se han duplicado en los últimos veinte años, equiparándose a las de petróleo, en gran medida porque las de gas natural se han utilizado a un menor ritmo. Cerca de la mitad de las reservas mundiales se concentran en dos países, Rusia e Irán. El mayor crecimiento en la tasa de adición de nuevas reservas ha tenido lugar en la antigua URSS, Oriente Medio y las regiones asiáticas del Pacífico. Gran parte de las reservas actuales de gas se encontraron mientras se perforaba en busca de petróleo. Por ello, parece muy probable que en el futuro se realicen importantes descubrimientos.

Un punto importante es que casi un tercio de las reservas mundiales de gas natural se encuentran "encalladas". Es decir, sus costes de extracción y transporte a los mercados son demasiado altos para que resulte rentable su explotación. Este gas "encallado" se localiza en regiones muy alejadas de los mercados, albergado en el subsuelo de regiones marinas bajo una considerable lámina de agua, en lugares inaccesibles como el Ártico, o en campos muy pequeños, económicamente marginales.

Los recursos contabilizados en los párrafos precedentes no tienen en cuenta los hidratos de gas que constituyen la mayor acumulación de metano que existe en el planeta. Su cantidad podría doblar las reservas conocidas de petróleo, carbón y gas natural juntas. Sin embargo, hoy por hoy, su acceso es extraordinariamente complicado y no se ha diseñado un método suficientemente eficaz para obtener de ellos la energía deseada.

La extracción de gas natural

Las previsiones sobre las tendencias regionales en la extracción de gas natural reflejan en gran medida la mayor o menor proximidad de las reservas a los mercados. En términos absolutos, la extracción experimentará un mayor crecimiento en las economías en transición y en Oriente Medio, regiones que destinaran la mayor parte de su aumento de la extracción a la exportación hacia Europa y América del Norte. La extracción también aumentará rápidamente en África y América Latina.

La Agencia Internacional de la Energía cifra en 7,3 billones de metros cúbicos la nueva capacidad de extracción que será necesario poner a punto para cubrir la demanda global prevista para el periodo 2002-2030. Sin duda esto no podrá materializarse sin enormes esfuerzos inversores en instalaciones de extracción e infraestructuras de transporte. Además, en términos generales, a medida que las reservas localizadas cerca de los mercados vayan disminuyendo y las cadenas de aprovisionamiento tengan que alargarse, cabe esperar un incremento del porcentaje correspondiente al transporte en el monto total de los costes de suministro.

En las próximas tres décadas y muy especialmente en América del Norte, el suministro convencional de gas natural que acabamos de analizar podría complementarse con el de gas no convencional. Este incluye: el metano asociado a yacimientos de carbón ("coal-bed methane" o CBM) y el gas extraíble de formaciones arcillosas ("gas shales") o de areniscas de baja permeabilidad ("tight sands").

El comercio mundial de gas natural

Para el 2030, el desajuste geográfico entre las regiones que contienen los recursos y las que concentran la demanda condicionará que los mercados del gas que hayan experimentado un mayor crecimiento sean mucho más dependientes de las importaciones En términos absolutos, el mayor incremento de estas tendrá lugar en los países europeos de la OCDE.

La dependencia de estos países aumentará de un 36% en el 2002, a un 65% en el 2030. Oriente Medio se convertirá en un nuevo gran suministrador de gas al viejo continente, mientras que América Latina (Trinidad y Tobago, junto a Venezuela) verán incrementar notablemente sus exportaciones. Rusia, otros estados de la antigua URSS y los países del norte de África, seguirán ocupando los primeros lugares en el ranking de exportaciones a Europa.

Los países de la OCDE de América del Norte (Estados Unidos, Canadá y Méjico) que en la actualidad son, en mayor o menor grado, autosuficientes, verán como en el 2010 necesitarán importar cerca de un 4% de sus necesidades, porcentaje que se incrementará hasta el 18% en el 2030. Todas estas importaciones tendrán lugar como gas natural licuado (GNL) proveniente de América Latina, Oriente Medio y Asia.

China e India se convertirán, a corto plazo, en países importadores de gas natural. Este provendrá en su mayor parte de Oriente Medio y otros países asiáticos, aunque, a más largo plazo, Rusia también exportará gas a China y Corea.

Durante el periodo de tiempo considerado (2002-2030), los gaseoductos seguirán constituyendo las principales vías de transporte de gas en América del Norte, Europa y América Latina. En la actualidad existen pocas conexiones físicas de los principales mercados de América del Norte, Europa y las regiones asiáticas del Pacífico con América Latina. Sin embargo, se espera que dichas conexiones se incrementen notablemente, mediante una rápida expansión del comercio de GNL y la construcción de nuevos gaseoductos submarinos y de

larga distancia. Las proyecciones son que en el 2030, más del 50% del comercio interregional de gas natural se realice mediante el transporte marítimo de GNL, lo que significa un aumento del 30% respecto a los volúmenes actuales.

Reservas, extracción y comercio de carbón

Las proyecciones de la Agencia Internacional de la Energía son que la demanda de carbón crezca más lentamente que la de petróleo y gas natural, aunque, sin duda, la industria del carbón no tiene un futuro tan negro como muchos piensan.

Las reservas mundiales de carbón son enormes y, comparadas con las de petróleo y gas natural, presentan una distribución geográfica variada. Las reservas económicamente recuperables de carbón se sitúan en torno al billón de toneladas, lo que al ritmo actual de extracción aseguraría el suministro durante algo más de 200 años. Llama la atención el hecho de que cuatro grandes países como los Estados Unidos, Rusia, China e India, ocupan los puestos del uno al cuatro, respectivamente, en el ranking mundial de reservas, totalizando el 61,5 % de las mismas. Además, merece la pena resaltar que, a diferencia del petróleo y gas, casi la mitad de las reservas globales están localizadas en países de la OCDE.

En el futuro, es probable que la extracción de carbón se incremente en China, los Estados Unidos, India, Australia, África del Sur, Indonesia, Canadá, Colombia y Venezuela, experimentando, por el contrario, un descenso en los países europeos de la OCDE. Probablemente, Australia, Indonesia y China se ocuparan del abastecimiento de los mercados de la zona asiática del Pacífico, mientras que África del Sur, los Estados Unidos, Colombia y Venezuela harán lo propio con los mercados europeos y atlánticos. La localización geográfica de África del Sur le permitirá abastecer a Europa, Asia y a ambas Américas.

Las previsiones apuntadas implican la necesidad de mantener una inversión constante en materia de infraestructuras, tanto de extracción como de transporte. Esto resulta especialmente cierto para el caso de China y la India, donde el carbón está llamado a ser la locomotora de su futuro desarrollo económico.

Las emisiones de dióxido de carbono

Las proyecciones de aumento de la demanda mundial de hidrocarburos planteadas en el escenario de referencia de la Agencia internacional de la Energía implicarían un aumento del 1,7% anual de las emisiones globales de dióxido de carbono a la atmósfera. Estas alcanzarían los 38.000 millones de toneladas en el 2030. Es decir, 15.000 millones más respecto a los niveles del 2002, lo que significa un aumento del 62%.

Durante el periodo 2002-2030, la estructura geográfica de las nuevas emisiones cambiará drásticamente. Históricamente, los países de la OCDE han sido los principales emisores de gases de efecto invernadero a la atmósfera, de forma que en el 2002 totalizaron un 54% del total de las emisiones mundiales. En dicha fecha, los países en desarrollo contribuyeron con un 36% y las economías en transición con el 10% restante. Por el contrario, en el 2030, los países en desarrollo totalizarán el 49% del total de las emisiones globales, lo que equivale a más de dos tercios del incremento previsto, mientras que los países de la OCDE y las economías en transición aportaran el 42% y el 9%, respectivamente. Entre el 2002 y el 2030, sólo las emisiones de China aumentarán en 3.837 millones de toneladas, lo que significa más de un cuarto del incremento global.

Entre el 2002 y el 2030, la generación energética aportará casi la mitad de las emisiones globales de CO_2 (7.300 millones de toneladas). El transporte, con 3.800 millones, contribuirá con cerca de una cuarta parte y el resto se lo repartirán los sectores residencial, comercial e industrial.

El abrupto incremento de las emisiones de dióxido de carbono tiene especial relevancia sobre los compromisos adoptados por muchos países desarrollados en el marco del Protocolo de Kioto. En particular, merece la pena destacar que en el 2010, el incremento de las emisiones de CO_2 previsto para los países europeos de la OCDE será un 9% superior a los objetivos fijados en el citado protocolo. Si se contabilizan todos los países de la OCDE comprometidos con el acuerdo, este porcentaje crece al 30%, lo que significa exceder los objetivos en 12.500 millones de toneladas. Este exceso deberá ser objeto de intercambio comercial con otros países cuyas emisiones no alcancen las cifras acordadas en el Protocolo. Por ejemplo, con las economías en transición que se sitúan un 25% por debajo de sus objetivos.

Conclusiones

Las proyecciones del escenario de referencia de la Agencia Internacional de la Energía para el periodo 2002-2030 dejan entrever unas tendencias de futuro para los hidrocarburos y las emisiones de $C0_2$ que podríamos resumir en los siguientes puntos básicos:

1) La demanda mundial de energía primaria se incrementará de forma inexorable de aquí al 2030. Este incremento será igual a dos tercios de la demanda actual y se centrará, preferentemente, en los países en vías de desarrollo, con Asia y más particularmente China en cabeza.

2) Los combustibles fósiles seguirán siendo la principal fuente de energía primaria, de manera que cubrirán más del 90% del incremento previsto de la demanda.

3) El aumento de la demanda de petróleo pasará de 77 millones de barriles por día en el 2002 a 121 millones en el 2030. Tres cuartas partes de este aumento serán absorbidas por el sector del transporte.

4) Entre todos los combustibles fósiles, la demanda de gas natural será la que experimentará un mayor crecimiento, de forma que en el 2030 se habrá multiplicado por dos. Las nuevas plantas de generación eléctrica, especialmente las de ciclo combinado con turbina de gas, serán las responsables del 60% del citado aumento.

5) El consumo de carbón también crecerá, aunque más lentamente que el de petróleo y gas. China e India, contabilizarán dos tercios del aumento de la demanda. La mayor parte de dicho incremento será destinado a la generación energética, sector en el que el carbón seguirá siendo el combustible más utilizado.

6) Las reservas y recursos mundiales de petróleo, gas, carbón y uranio son suficiente para cubrir el incremento previsto de la demanda, aunque en el caso del petróleo, se necesitará un importante esfuerzo inversor para desarrollar nuevas reservas y se asistirá a un importante cambio en la procedencia de los suministros, que serán mayoritariamente cubiertos desde Oriente Medio y la antigua Unión Soviética. La mayor parte del incremento de la demanda deberá ser garantizado por los países de la OPEP.

7) El comercio internacional de energía primaria, especialmente de los combustibles fósiles, está llamado a experimentar una gran expansión. Todos los países que en la actualidad son importadores netos de petróleo, muy particularmente los de Asia y los pertenecientes a la OCDE y a la Unión Europea, verán incrementar su dependencia de Oriente Medio. Del mismo modo, los mercados del gas que experimenten un mayor crecimiento, como por ejemplo Europa, también serán más dependientes de las importaciones. Los gaseoductos transnacionales se multiplicarán y el comercio de gas natural licuado experimentará un impresionante despegue.

8) Como consecuencia del mayor uso de los combustibles fósiles, las emisiones de gases de efecto invernadero y de $C0_2$ a la atmósfera experimentarán un aumento del 62% respecto a los niveles actuales. Dos tercios de este crecimiento tendrá lugar en los países en desarrollo y los países industrializados que hayan firmado el Protocolo de Kioto afrontarán serias dificultades para cumplir sus compromisos.

Referencias

International Energy Agency (2004): *World Energy Outlook, 2004*. IEA Publications, París, 570 pp.

Energy Information Administration (2004): *International Energy Outlook, 2004*. Publications of the EIA, Office of Integrated Analysis and Forecasting. US Department of Energy, Washington. 248 pp.

La Política Energética de la UE y los retos en la promoción de Combustibles Alternativos en el Sector del Transporte

CRISTÓBAL BURGOS ALONSO

Consejero, DG TREN
Comisión Europea. Bruselas

La política energética de la UE

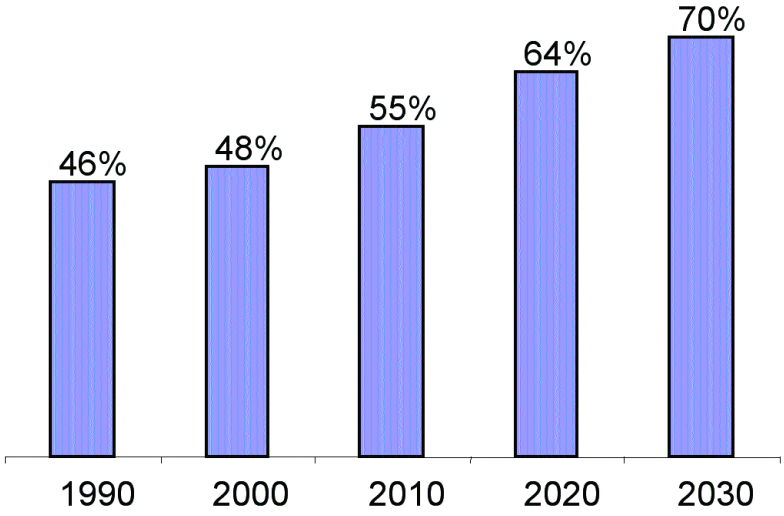
Los sectores de la energía y el transporte son sectores clave de la economía de la UE. Las políticas de la UE en estos sectores son cruciales para conseguir **los objetivos de Lisboa,** una economía europea competitiva generadora de crecimiento y oportunidades de empleo dentro de un contexto de desarrollo sostenible.

La política energética de la UE se basa en la realización de un mercado único y competitivo de la energía que facilite hacer frente de una manera conjunta a los retos de seguridad de suministro energético en sentido amplio y a los problemas medioambientales y especialmente al cambio climático como consecuencia del uso creciente de energía en nuestras sociedades. En esta conferencia voy a tratar exclusivamente de los aspectos de la política energética relacionados con la seguridad de abastecimiento y el cambio climático.

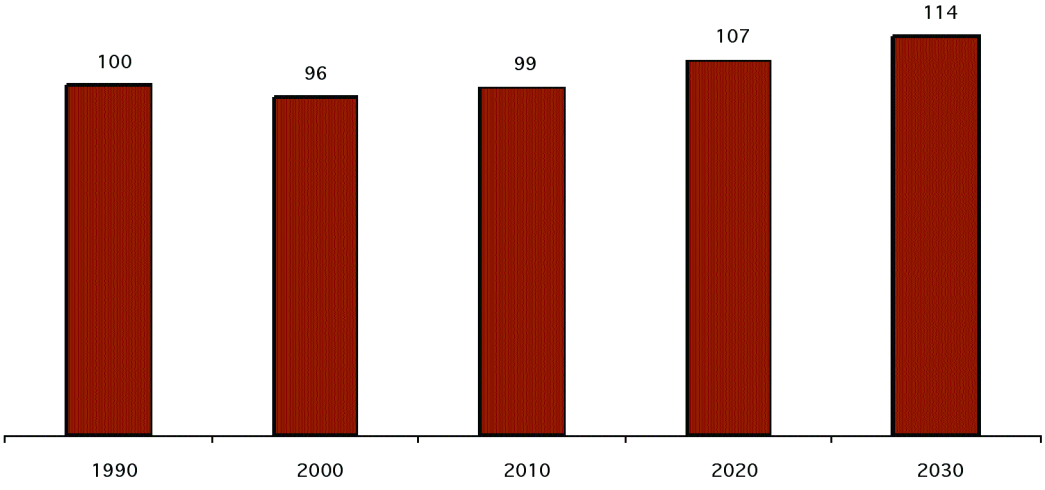
Las recientes proyecciones a largo plazo (2030) de la Comisión Europea muestran que la UE tiene que hacer frente a desafíos importantes tanto en lo que se refiere a la seguridad del aprovisionamiento de combustibles convencionales cuanto al impacto de su uso sobre el cambio climático. Estamos en camino de tener que importar el 70% de nuestras necesidades energéticas de combustibles fósiles de un número de zonas geográficas muy reducido: Medio Oriente en el caso del petróleo y Rusia y Alegría en lo que se refiere al gas natural. No cabe duda que esta concentración geográfica de la oferta tiene sus riesgos particularmente en un contexto de demanda creciente que debido a la paulatina reducción de la producción interna, especialmente a partir del 2010, deberá ser atendida con importaciones crecientes.

Por otra parte con las políticas actuales, el aumento esperado de la demanda a largo plazo ocasionaría un aumento de las emisiones de CO_2 de la UE por encima de los niveles de 1990 lo que pondría en peligro el logro de los compromisos internacionales adquiridos con la ratificación del Protocolo de Kyoto que ha entrado en vigor el día 16 de febrero de 2005. Es cierto que el aumento de las emisiones de CO_2 ocasionado por una mayor demanda se compensa en parte con el crecimiento de los suministros de combustibles no fósiles como las

EU-25: parte del consumo energético cubierto con importaciones



EU25 CO2 emissions (1990 = 100)

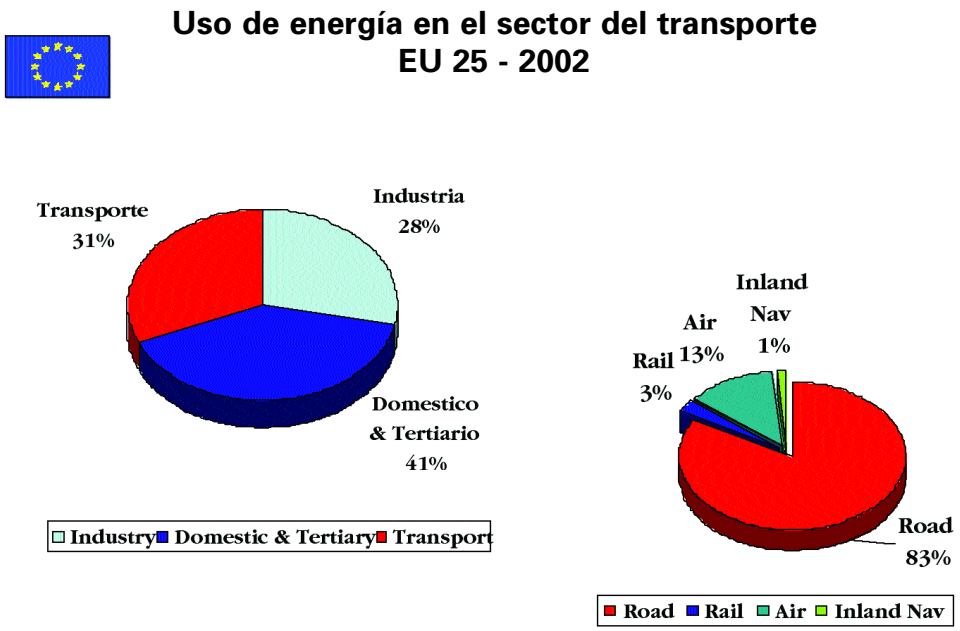


energías renovables y la energía nuclear así como con la reducción del contenido en CO_2 del mix de combustibles fósiles utilizados (mayor gas natural y menos carbón). Pero a partir de 2010 debido entre otras cosas a la reducción de la energía nuclear en algunos Estados miembros las políticas actuales no compensan el crecimiento de la demanda: en 2030 el CO_2 emitido en la UE-25 sería un 14% superior que en 1990.

La conclusión es evidente. Si queremos hacer frente a la creciente dependencia de nuestro suministro y si queremos progresar en la reducción de las emisiones de CO_2 **son necesarias políticas alternativas y adicionales a las medidas existentes.**

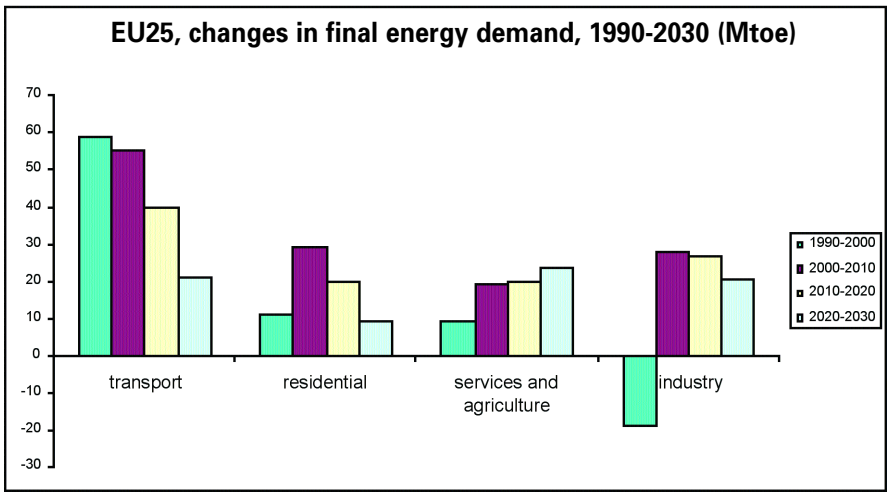
Importancia del sector del transporte para la política energética

Las tendencias en el uso de la energía que he descrito someramente en los párrafos anteriores los encontramos también en el sector del transporte pero de un modo acentuado. La energía consumida en el sector del transporte en la UE-25 representa actualmente el 31% de la demanda final de energía, siendo el sector del trasporte por carretera el más importante consumidor con el 83% de la total utilización de energía en este sector.



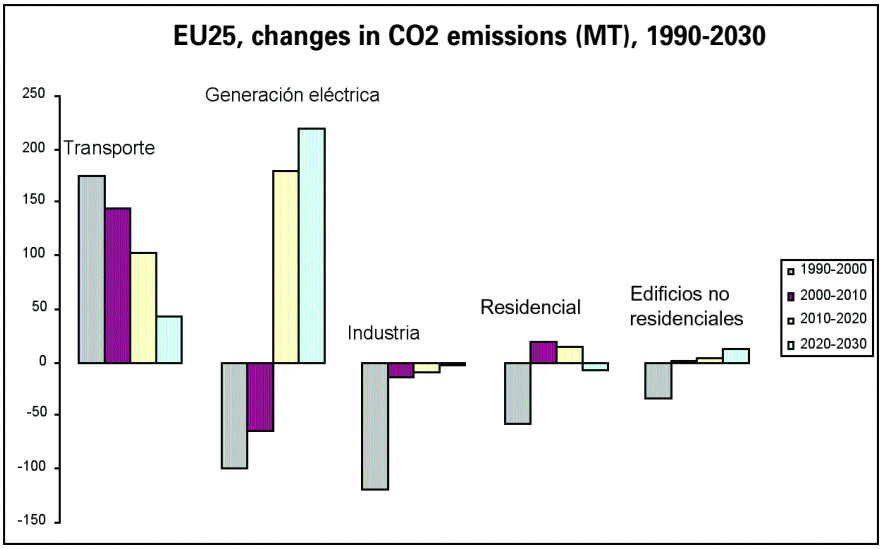
En los próximos 15 años el transporte será el sector con mayor impacto en la demanda de energía. El transporte (con la excepción del ferrocarril) es totalmente dependiente del consumo de petróleo. Y es bien sabido que la dependencia externa de la UE en el petróleo será del 97% en 2030.

El transporte será el sector que más contribuirá al incremento en la demanda de energía hasta el 2020



El uso del petróleo en el transporte aumentó cerca de 80 millones de toneladas en la década de los 90 y crecerá otros 50 millones anuales en la presente década si se continua con las tendencias actuales.

Además las emisiones unitarias de CO_2 (en toneladas de CO_2 por tonelada equivalente de petróleo –tep– consumida) en el sector del transporte son las más altas después del sector de la generación eléctrica con el agravante de que esta intensidad unitaria se reduce muy poco en el periodo investigado. Actualmente el 28% de las emisiones de CO_2 en Europa son debidas al transporte. La consecuencia evidente es que el uso de la energía en el sector del transporte es una de las principales fuente de emisiones de CO_2 durante los próximos 25 años sólo superada por la generación de electridad a partir del año 2010.



Conclusión, la reducción del uso de petróleo en el sector del transporte es crucial a la hora de diseñar una política energética orientada a reducir la dependencia externa y las emisiones de CO_2.

Políticas para reducir el uso del petróleo en el sector del transporte

En teoría hay cuatro maneras de reducir el uso del petróleo en el transporte: reducir la demanda de transporte; utilizar modos de transporte menos intensivos en energía; aumentar la eficiencia energética de los distintos modos de transporte y fomentar el uso de combustibles alternativos al petróleo.

En el contexto actual parece poco probable reducir la demanda total de transporte. La Comisión Europea asume en su Libro Blanco ("La política europea del transporte de cara al 2010: la hora de la verdad" COM (2001) 370 final) de 2001 un crecimiento para la UE-15 del transporte de pasajeros del 2% anual y del 3% anual en el de mercancías en línea con la evolución del pasado. Crecimientos superiores son de esperar para los nuevos Estado miembros. Esto es debido a que existe una fuerte correlación entre los cambios en el volumen de transporte y el crecimiento económico.

En el citado Libro Blanco la Comisión propone como objetivo hacer un uso mayor de los modos de transporte más eficientes desde el punto de vista del consumo energético tales como el ferrocarril, los autobuses en el transporte urbano y el transporte marítimo y fluvial. Durante la década de los 90 estos modos de transporte redujeron su parte del mercado al 3% en el servicio de pasajeros y al 9% en el de mercancías. La Comisión ha presentado ya sus propuestas y las medidas legislativas y financieras necesarias para llevar a cabo esta política en lo referente a los grandes ejes prioritarios de transporte a escala de la Unión. Si mediante las políticas adecuadas tanto a nivel de la UE como en cada uno de los Estados miembros se consigue que en el 2010 estos modos de transporte más eficaces energéticamente mantengan la misma tasa de mercado que en el año 2000 se podría ahorrar cerca de 8 millones de tep anuales.

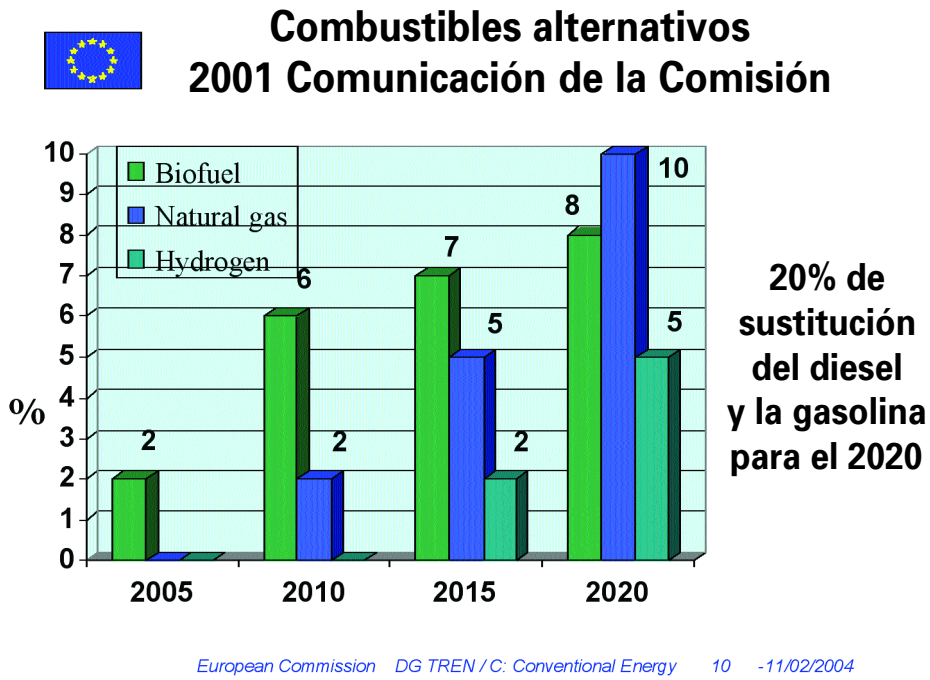
No hay que olvidar que el 40% de las emisiones de CO_2 en el sector del transporte se producen por el uso de los automóviles privados en el ámbito de las ciudades, por lo que en gran parte el éxito de esta política va a depender de que los Estados miembros tomen las medidas adecuadas. La Comisión está preparando una propuesta para el fomento de la utilización de vehículos eficientes en las ciudades.

Para conseguir modos de transporte más eficaces energéticamente la UE ha utilizado un instrumento distinto: los acuerdos voluntarios con los fabricantes de automóviles a nivel europeo, ACEA, JAMA y KAMA. Los constructores de automóviles europeas, japoneses y coreanos han acordado con la UE el reducir las emisiones de CO_2 en los automóviles nuevos a una media de 140 g/km para el año 2008/9. Los resultados han sido mejores de lo esperado y para el año 2010 se va a conseguir que todos los automóviles nuevos que se vendan en la UE tengan unas emisiones de CO_2 de 120 g/km. En principio se espera que la eficacia energética de los automóviles en el 2010 sea un 7% superior al 2000. Esto permitirá un ahorro de 12 millones de tep anuales.

Queda la opción de los combustibles alternativos. La Comisión Europea propuso en su Libro Verde del 2001 ("Hacia una estrategia europea de seguridad del abastecimiento energético" COM (2000) 769 final) un objetivo del 20% de combustibles alternativos alcanzable en el

2020. Estas alternativas tienen que diversificar las fuentes de suministro, reducir las emisiones de CO_2 y tener una masa crítica de mercado de al menos el 5%. Los tres candidatos identificados fueron los biocarburantes, el gas natural y el hidrógeno. Los primeros pueden alcanzar un 6% del mercado en 2010 y 8% en 2020; el segundo puede alcanzar el 2% en el 2010 y el 10% en 2020 mientras que el objetivo para el hidrógeno es el 5% en 2020.

En el 2003 la UE adoptó dos directivas en este ámbito. La Directiva biocarburantes 2003/30 que establece unos objetivos indicativos del 2% al final del 2005 (en el momento de la aprobación de la Directiva el porcentaje de biodiesel y bioetanol en la UE era del 0.3%) y de 5.75% en el año 2010. Además mediante la Directiva 2003/96 se autorizaba a los Estados miembros a reducir o eliminar totalmente los impuestos especiales sobre estos productos para estimular su producción y uso. Los Estados miembros están obligados a presentar un informe a la Comisión durante el año 2005 detallando sus planes para cumplimentar los objetivos. La Comisión enviará durante el 2006 un informe al Parlamento Europeo analizando la aplicación de la directiva y proponiendo medidas adicionales si necesario.



Los biocarburantes presentan dos importantes rasgos. En primer lugar las mezclas se utilizan en los motores actuales de los automóviles sin modificación alguna. En segundo lugar, pueden distribuirse en las mismas gasolineras que sirven combustibles convencionales, evitándose así la inversión en nuevas infraestructuras. Además por proceder de las plantas y los árboles los biocarburantes son renovables y contribuyen al objetivo europeo de alcanzar el 12% de fuentes renovables de la balanza energética para el 2010. En general los biocarburantes actuales producen a lo largo de su ciclo de vida dos tercios menos de gases de efecto invernadero que los combustibles tradicionales.

Las tierras agrícolas improductivas podrían producir hasta el 5% de las necesidades de carburante y los bosques, pastizales y residuos podrían aportar mucho más. En agricultura y

silvicultura, una fuerte demanda de biocarburantes sería un acicate para la innovación en nuevos productos energéticos y pautas de explotación del suelo, reintroduciendo en la cadena productiva las tierras improductivas o retiradas de la agricultura.

La eficacia de esta política si puesta en marcha por los Estados miembros de un modo correcto es importante. El objetivo del 5.75% de biocarburantes para el 2010 supone un ahorro de 19 millones de tep anuales.

Mas allá del 2010 el informe preparado por un grupo de expertos a instancias de la Comisión llegó a la conclusión que el gas natural tiene el potencial para alcanzar una tasa de mercado por encima del 5% en el año 2020 y capaz de competir económicamente con los productos petrolíferos si las políticas adecuadas de apoyo se ponen en práctica.

En septiembre del 2002 la Comisión organizó un grupo de expertos que publicó un informe sobre la utilización del hidrógeno que es una alternativa limpia y segura para la producción de energía. Y en enero del 2004 se lanzó la plataforma tecnológica europea del hidrógeno para desarrollar una estrategia europea en el campo del hidrógeno y las células de combustible. Evidentemente la utilización del hidrógeno en el transporte es sólo uno de los posibles usos de este producto que podría revolucionar el sector energético cuando la tecnología esté madura.

Por último hay que mencionar que los distintos programas marco de investigación y desarrollo de la UE han financiado tanto proyectos de investigación como de demostración en el campo del transporte y de los combustibles limpios. Baste mencionar los programas CUTE (Clean Urban Transport for Europe) que ha puesto en marcha una flota de 27 autobuses alimentados con hidrógeno en 9 ciudades europeas y CIVITAS (Cleaner and better trasnport in cities) que demuestra la viabilidad de trasportes públicos en base a combustibles alternativos. Así como dos proyectos integrados "Biafuel-cities partnership" y "Hydrogen for transport Partnership".

Mirando al futuro: los principales desafíos

A la vista de la exposición anterior los desafíos futuros son numerosos y relativos tanto a aspectos tecnológicos como de cambio de comportamiento de los consumidores u organización de las ciudades y distribución de las actividades económicas en el territorio.

En lo que se refiere a la reducción de la demanda de transporte está claro que desligar el crecimiento económico del crecimiento del volumen de transporte no va a ser fácil y las soluciones no están a la vista.

Se pueden hacer progresos por el contrario con la puesta en práctica de políticas de reequilibrio de los modos de transporte tales como la dinamización del transporte por ferrocarril y el transporte público. En el ámbito de la UE se han definido los objetivos y hay ya una política en marcha que debe ser aplicada por los Estados miembros para dar los resultados deseados. Aquí hay ejemplos de buenas prácticas que pueden y deben ser reproducidas en otros ámbitos geográficos.

En lo que se refiere a la mejora de la eficiencia energética hay tres caminos de actuación para las políticas futuras. Conseguir ulteriores medidas más allá de las prácticas voluntarias con ACEA. Promover la eficiencia energética de los otros modos de transporte así como una mejor práctica de conducción de los conductores.

Recientemente la Comisión ha lanzado una nueva iniciativa (CARS 21) con el objeto de mejorar la competitividad de la industria europea del automóvil entre cuyos objetivos figura la de hacer propuestas concretas sobre la sostenibilidad futura del sector. También habrá que hacer frente al incremento de emisiones en el sector del transporte aéreo hasta la fecha exento de las políticas concernientes a la mitigación del cambio climático. Hay diversas propuestas en estudio y fase de consulta entre ellas la inclusión de las emisiones de este sector en la directiva europea de permisos de emisión.

En cuanto a los combustibles alternativos hay que conseguir desarrollar tecnologías comerciales capaces de producir combustibles líquidos de la biomasa (BTL). Los programas marcos europeos de investigación y desarrollo financian proyectos que proponen la utilización de enzimas y procesos de gasificación.

Como hemos visto anteriormente los biocarburantes tienen la gran ventaja que pueden mezclarse con mezclas de hasta el 5% con la gasolina y diesel de origen fósil en vehículos sin cambiar los motores ni las redes de distribución ya existentes.

Por el contrario el desarrollo de un mercado para los otros combustibles alternativos tipo gas natural, o hidrógeno necesitan también un cambio tecnológico en el mercado de vehículos (p.e. célula de combustible) y redes de distribución. Cuándo y cómo sucederá este cambio no es evidente.

Por último hay que mencionar los programas de investigación a nivel europeo e internacional orientadas a promover la producción y utilización del hidrógeno o la captura del CO_2 para obtener combustibles limpios.

Conclusiones

El desarrollo de una política energética en el sector del transporte es difícil. Las razones principales son varias. Por una parte el petróleo es un combustible de buena calidad con una estructura de distribución sofisticada y desarrollada en todo el mundo. Además los consumidores tanto individuales como empresas no cambian fácilmente sus hábitos de transporte. Y por último desde un punto de vista político los cambios a introducir son difíciles de llevar a cabo por los gobiernos.

En efecto, las medidas efectivas son difíciles políticamente como prueba las resistencias para introducir el pago por el uso de las infraestructuras de transporte. Bien implican soluciones tecnológicas todavía no competitivas con los combustibles tradicionales o con los vehículos existentes lo que conlleva un mayor coste para los consumidores o la hacienda pública.

A nivel europeo los biocarburantes son la medida más efectiva de las introducidas hasta el presente. En el año 2010 con las políticas ya aprobadas se podría ahorrar las siguientes cantidades de productos petrolíferos:

- Directiva de biocarburantes	19 millones de tep anuales
- Vehículos más eficientes	12 millones de tep anuales
- Objetivo de transporte modal	8 millones de tep anuales

En total son 39 tep anuales que a nivel de la UE representan el 10% de la demanda final de productos petrolíferos en el transporte estimada para el mencionado año 2010. Y lo que es más importante este ahorro sería equivalente al 80% del aumento previsto de productos petrolíferos en la presente década en el sector.

La importancia de estas cifras pone de manifiesto dos cosas: la necesidad de que los Estados miembros pongan en marcha las políticas ya decididas a nivel de la UE. Por otra parte es evidente que si queremos minimizar los problemas de seguridad en el abastecimiento y reducir las emisiones de CO_2 en el transporte estos ahorros no son suficientes. Hay que hacer frente al futuro con nuevas políticas que tienen un coste político y financiero inevitable.

Referencias

Libro Verde "Hacia una estrategia europea de seguridad en el abastecimiento energético". Comisión Europea. COM (2000) 769

Libro Blanco: "Política Europea de transporte en el horizonte de 2010: tiempo de decisiones" Comisión Europea. COM (2002) 321

Comunicación de la Comisión con un plan de acción y dos propuestas de directivas promocionando el uso de combustibles alternativos en el transporte. COM (2001) 574

Directiva biocarburantes: Directiva 2003/30/EC

Directiva 2003/96/EC reestructurando la fiscalidad de los productos energéticos y promocionando fiscalmente los biocarburantes.

Los documentos anteriores y otros relacionados con la política energética y de transporte de la UE pueden ser consultados en la siguiente página web:

http://europa.eu.int/comm/energy_transport/index_eu.html

España ante el Cambio Climático. Lecciones sobre el Medio Ambiente

PROF. DR. ANTONIO RUIZ DE ELVIRA

Catedrático de Física
Universidad de Alcalá

El cambio climático (CC) es un problema muy grave y que se suele tomar, sin embargo, a la ligera. Como veremos, los cambios directos e indirectos inducidos por el cambio climático sobre la vida de las personas y el desenvolvimiento de la sociedad tendrán carácter de cataclismo, y sus efectos se sentirán a lo largo de siglos. Frenar o parar el CC es una tarea larga y lenta, pero es imprescindible empezarla hoy. Si queremos frenar la marcha de un barco grande es imprescindible invertir la dirección de la hélice muchos kilómetros antes del punto donde queremos parar, pues la fuerza de la hélice es muy pequeña frente a la inercia masiva del barco.

El subtítulo "Lecciones sobre el medio ambiente" pretende insistir en el enfoque que se ha dado en España al "medio ambiente" y los fallos que este enfoque está teniendo y, desde mi punto de vista, va a tener en el futuro. Los fallos son muy graves y se resumen, como otros muchos, en el desprecio sistemático a los avisos constantes que la comunidad científica proporciona a la sociedad.

El desprecio se justifica de mil maneras: "El peligro no es tan grave", "Los científicos no saben lo que dicen", "Yo sé mejor que cualquier científico que no puede haber cambio climático", "Las medidas propuestas son muy caras", "La ciencia (¿?) ya pondrá en marcha soluciones cuando sea necesario", etc., etc. Por un lado se desprecia a la ciencia, por otro se confía en ella. Se deprecian sus predicciones, pero se le piden milagros en vez de trabajo duro, puesto que los milagros son mucho más fáciles y sobre todo los hacen otros.

Esta actitud revela cobardía ante los problemas, un esconder la cabeza bajo el ala, un fiarse en agentes sobrenaturales, actitudes que la historia de la humanidad ha demostrado llevan siempre al desastre.

El "medio ambiente" no es la naturaleza del planeta. La misma palabra "ambiente" señala que estamos refiriéndonos a lo que nos rodea. El ambiente es el lugar donde vivimos, la sensación que tenemos al encontrarnos donde estamos. Es un concepto estrictamente humano, referido a cada una de nuestras culturas y civilizaciones.

La naturaleza funciona por su cuenta si se la deja funcionar. En el reciente tsunami del Índico los animales huyeron sin problemas de la ola gigante antes de que llegara. Las playas son un concepto artificial humano, lo mismo que las ciudades. La ola destruyó vidas, playas y ciudades, pero dejó a la naturaleza de la zona más o menos como estaba. Tras el CC la naturaleza y el planeta Tierra seguirán tan tranquilos. La vida en la Tierra permanecerá, con la misma u otras formas, pero es dudoso si permanecerá la civilización humana.

Los incendios forestales han existido siempre, y dejados a su aire los bosques se incendian a intervalos regulares y se recuperan de forma natural. El problema son los incendios repetidos un año tras otro que queman los bosques antes de que se recuperen.

Las especies se han extinguido constantemente y nuevas especies han ocupado sus nichos biológicos. El problema aparece cuando desaparecen los nichos ecológicos y se substituyen por asfalto, cemento y hormigón.

El "problema" del medio ambiente es un problema humano. La especie animal "homo sapiens" necesita un entorno donde vivir. La destrucción de vidas humanas se produjo en las ciudades y pueblos ribereños del océano Índico en el pasado tsunami. Se destruyeron los edificios, campos de cultivo, canales de irrigación y vías de transporte sin los cuales el "homo sapiens", al revés de elefantes y monos, no puede vivir.

El medio ambiente somos nosotros, no son las ballenas, los linces o las águilas imperiales, aunque las necesitemos para una vida –humana– más plena.

Siendo nosotros, nuestras ciudades, nuestros campos, nuestras infraestructuras, lo que debemos denominar nuestro "medio ambiente", la amenaza que para el mismo representa nuestra actitud humana acerca de la energía es enorme.

El ser humano es un ser vivo, y un ser vivo se define como una máquina termodinámica que actúa para conseguir la energía que necesita para reproducirse. Si miramos con detenimiento la vida que nos rodea, y sobre todo nuestra propia vida, veremos que vivir no es mas que tratar de extraer energía de cualquier fuente con objetivos diversos, desde la reproducción, de la especie y del esquema cultural, hasta la búsqueda del placer.

El "homo sapiens" extiende el concepto de reproducción no solo a los especimenes individuales, sino también a sus construcciones culturales y así se reprodujo la cultura hispánica, incluida la inquisición y las corridas de toros en las tierras americanas, y se reprodujeron diversas culturas anglosajonas, alemanas, italianas, judías, y otras muchas en el suelo de los EEUU.

Para la reproducción, para el ensamblamiento de estructuras, sean estas proteínas, estructuras de acero o de hormigón, se precisa energía en cantidades ingentes.

La historia de la especie humana sigue la pauta de la conquista de niveles energéticos. Mientras el "homo sapiens" fue un mono un poco más hábil que los demás, el número de individuos de su especie fue similar al número de individuos de especies parecidas, de los antepasados de los chimpancés o de los papiones de la sabana. Un número reducido. Incluso después de la última mutación que produjo la variedad "sapiens" el número de ejemplares no

era muy elevado. La razón es puramente energética: 1 metro cuadrado de terreno proporciona unos 12 watios en media en el planeta, si la energía deriva de la fotosíntesis (y hasta hoy, cuando hemos desarrollado los instrumentos de captura inorgánica de la energía solar, no había otra fuente de energía). Cuando había que compartir esos 12 W/m^2 la población humana en la Tierra no debía sobrepasar el millón de habitantes.

El número empezó a crecer como consecuencia de una serie de hechos. En una etapa de la evolución continua del clima, en la última deglaciación que ocurrió hace unos 10.000 años, y una mutación selectiva de las plantas relacionadas con el trigo y el maíz, que permitió a las semillas caer en la base de la planta en vez de dispersarse por el aire. Los cereales permiten la acumulación de la energía solar de forma mucho más eficiente que las frutas o la hierba, y sobre todo permiten la expulsión de otros animales para eliminar la competencia por las fuentes de energía. Con la agricultura comenzó la destrucción del medio ambiente, entendida esta destrucción como el camino que inició el ser humano hacia la eliminación total de cualquier vida que no fuera la propia y la de sus especies alimenticias.

Al disponer de energía concentrada, la especie humana pudo sacar adelante mucha más descendencia de la que había podido sacar en su etapa cazadora-recolectora. Producir niños y conseguir que crezcan implica un gasto gigantesco de energía que debe suministrarse a la madre para el crecimiento del feto y para la creación de proteínas en el infante ya nacido.

Tras la puesta en marcha de la agricultura la especie creció en número hasta unos 100 millones de individuos a lo largo de unos cuantos cientos de años. Luego paró el crecimiento (véase la figura 1).

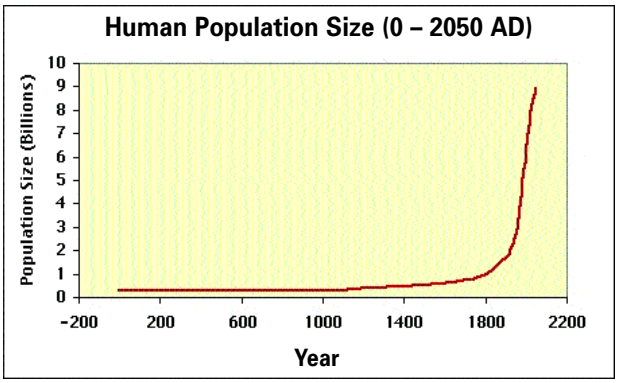


Figura nº 1. Evolución de la población de la especie humana.

Es evidente. El número de individuos vivos está en razón directa a la energía disponible. La energía que se puede sacar de la fotosíntesis está limitada por el rendimiento de ésta y la disponibilidad de suelo fértil y de agua de riego.

El medio ambiente del ser humano desde Babilonia hasta el año 1800 de la era común fue un medio ambiente de ciudades rodeadas por campos irrigados, zonas de caza y bosques.

Alrededor del 1800 se descubrió la forma de extraer energía fósil. Se descubrió como poder hacer que cada individuo de la especie humana, y de algunos otros animales y plantas

que viven para él, pudiera disponer, no de un cuarto del 6% de los 600 watios por metro cuadrado que caen sobre la parte fértil de la superficie de la Tierra, es decir, no de aproximadamente 12 w por metro cuadrado de esta superficie (unas 65 kcal/m^2 y día), sino 100, 1000 y hoy en España, 5000 watios por persona.

El ser humano encontró, por casualidad, como abrir la caja fuerte que contenía la energía absorbida por cada metro cuadrado de suelo fértil a lo largo de millones de años y guardada en las entrañas de la Tierra durante otros muchos millones de años.

La respuesta ha sido evidente: Ahora el número de individuos de la especie animal "homo sapiens" está en los 6.000 millones caminando hacia los 8.000.

El medio ambiente de nuestra especie son ahora las ciudades y los campos irrigados. No hay campos de caza y los bosques disminuyen día a día. Se puede pensar en recuperar algo de los bosques, algo de los campos de caza, pero serán jardines, parques, lugares humanos de recreo.

El medio ambiente hoy somos nosotros, y lo que está en peligro somos nosotros, nuestra cultura, nuestra civilización, nuestra forma de vida.

Las reflexiones anteriores no son gratuitas, ni, aunque parezca lo contrario, se han introducido aquí por casualidad cuando deberían pertenecer a otra conferencia.

El título de mi charla es "España ante el cambio climático", y las reflexiones anteriores son totalmente pertinentes a este tema. España está viviendo ahora en un baño de energía. Y eso es muy bueno, por un lado.

En la figura 2 vemos una de las pirámides mayas, en ruinas. Los mayas descubrieron hacia el siglo VIII de la era común un tesoro del mismo tipo que descubrieron los ingleses en 1800, o que, realmente, descubrió el homo sapiens en Mesopotamia hace 10.000 años: descubrieron la forma de capturar energía neta en cantidades considerables mediante el cultivo de una mutación del antepasado del maíz y la técnica de la irrigación.

Figura nº 2. Ruinas Mayas.

La vida era alegre, se podían cultivar las tierras marginales y con la sobreabundancia de energía una parte de la sociedad podía dedicarse a ocupaciones ociosas como juegos de pelota, guerras y sacrificios humanos en las pirámides. En un momento dado dejó de llover. Las tierras irrigadas siguieron produciendo energía, pero las marginales se secaron. Los reyes de aquellas tierras, en vez de invertir en medidas para afrontar esta situación, siguieron con sus juegos, con sus guerras, con sus sacrificios.

¿Nos suena conocido? Cuando Colón llegó a América la civilización maya era un sueño desaparecido

Escuchaba yo uno de estos días, volviendo de la universidad hacia casa, un discurso sobre inversiones gigantescas en objetos superfluos, en juegos de pelota, o danzas en los estadios. Una de esas inversiones sugeridas era un circuito de carreras de coches de fórmula 1, para incitar a los niños a dedicarse al crecer a estas máquinas cuya única función es consumir energía fósil con un rendimiento esencialmente nulo y lanzar al aire toneladas de gas carbónico cada vez que se corre una carrera.

Leía yo otro día sobre inversiones exorbitantes en carreteras y metropolitanos que deberán rodear Madrid. Una de estas maravillosas avenidas es una de las mayores trampas circulatorias en que puede uno pensar: la M-40 es un tapón sólido de coches durante 8 horas al día. Leía también yo que entre todos los españoles vamos a pagar la bonita suma de 7.500 millones de euros para tapar el derroche de un juego llamado TVE.

Inversiones gigantescas, ¿En qué? En juegos inútiles

En España había glaciares hace 80 años, glaciares que habían durado miles de años. Hoy los glaciares han desaparecido.

En "Camino de Perfección" describe Baroja un Alicante verde y lustroso. Hoy es difícil de encontrar algo de verde en Alicante. Las laderas de las montañas de la Comunidad Valenciana tienen pocos árboles, algo que afecta a las lluvias que recibimos.

En el Ártico se puede navegar a mar abierto desde Noruega al estrecho de Behring en verano. En 1908 Nansen derivó dos años completos encallado en el hielo de Siberia a Groenlandia sin ver una gota de agua libre. Los hielos de Groenlandia se funden cada vez más. La banquisa de hielo de la Antártida Occidental caerá al agua en pocos años (véase la figura 3).

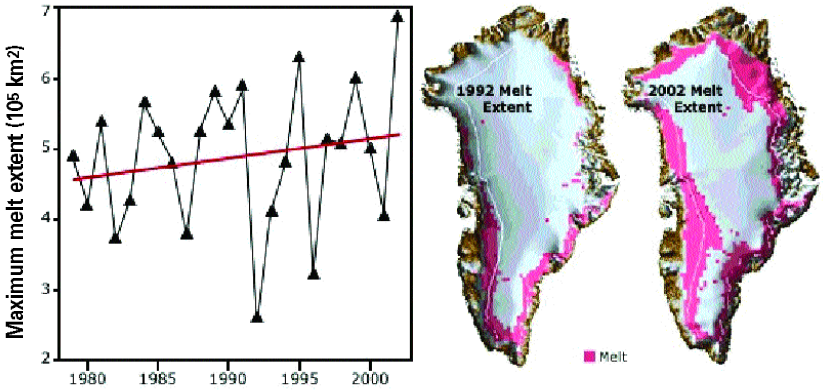


Figura nº 3. Fusión de los hielos en Groenlandia.

Y ¿qué pasará en España a lo largo de este siglo XXI?

Es difícil, muy difícil de pronosticar. Aunque se quiere gastar 6.000 millones de euros en preparar unos juegos olímpicos en Madrid, aunque se gastan miles de millones en las tele-

visiones, aunque no hay ningún problema en hacer carreteras inútiles, los estudios sobre el futuro climático español no llegan a 8, y el dinero invertido en ellos puede estimarse en 1 millón de euros, siendo muy generosos en la estima.

Voy a presentar los resultados de una serie de estudios que, como se verá, no son míos, y no son míos porque pienso que la situación es demasiado grave como para jugar a lanzar modelos a ver que pasa. La situación exige un trabajo intenso y coordinado, un desarrollo paralelo de varios modelos diferentes de forma que pueda hacerse un estudio continuo y coherente de lo que predice cada modelo para realizar una síntesis de los mismos en un cierto esquema, en cada etapa de su desarrollo, para poder llegar a conclusiones cuya fiabilidad alcance un grado alto de probabilidad.

Al mismo tiempo, es a todas luces evidente que el esquema de resolución de los modelos climáticos, un esquema basado en la solución de un conjunto de ecuaciones diferenciales, es un esquema que falla. Una de las razones es que la técnica estándar de resolución de estas ecuaciones exige que las condiciones de contorno de los problemas permanezcan constantes en el tiempo. Sin embargo el movimiento de los fluidos cambia también constantemente esas condiciones de contorno, de manera que el esquema falla por su base. Un trabajo consciente y razonable sobre el cambio climático debería ser un trabajo del estilo del laboratorio de Los Álamos cuando se produjo la bomba atómica: un esfuerzo concentrado y coordinado de los mejores científicos, capaces de producir un cambio en el paradigma de resolución de ecuaciones, combinado con el estudio sistemático y comparado de modelos.

En suma, considero que el problema del cambio climático es mucho más grave, por ejemplo, que el problema del cáncer o de otras enfermedades. Morirnos nos morimos todos antes o después. Una inversión gigantesca en medicina lo único que ha conseguido es que cada persona pueda vivir unos 10 años más en una etapa de la vida en la cual la capacidad de creación y el placer de vivir están ya muy disminuidos. Para conseguir esto se crean institutos de cientos de investigadores, razonablemente dotados. La creación de cada vez más hospitales lo único que indica es el fracaso de la propia idea de su creación. Si cada vez necesitamos más hospitales es que estos nos curan cada vez menos.

Para conocer el interior de los neutrones, algo que no puede afectar a la vida de la sociedad humana, se destinan anualmente miles de millones de euros en Europa, lo mismo que para estudiar lo que pasó en galaxias lejanas hace miles de millones de años.

¿Nos suena conocido? Los reyes mayas invierten el sobrante de energía en juegos sin sentido, en peleas cruentas entre caciques vecinos, en investigaciones astrológicas. Pero la civilización maya avanza hacia el abismo.

Cuando llega la sequía no hay nada preparado para la misma

En un trabajo muy interesante, Sunmer et al. (2003) analizan la precipitación sobre la costa mediterránea española a lo largo del siglo XXI. Una de sus conclusiones más notables es que la lluvia aumentará en la región murciana (véase la figura 4). Es notable porque la tendencia en Murcia desde que se construyó unos de los mayores embalses de España, el embalse del Cenajo, ha sido de disminución constante de la precipitación a lo largo de 50 años. Si este estudio refleja una predicción que se cumple, la tendencia de cincuenta años se está invirtiendo, de lo que no hay señales medibles. Los márgenes de error de esta predicción son casi tan altos como los propios valores de la misma.

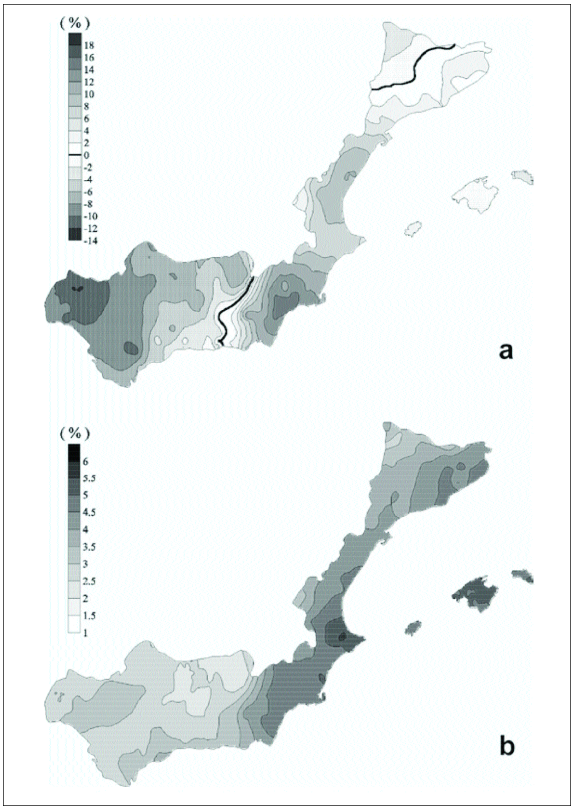
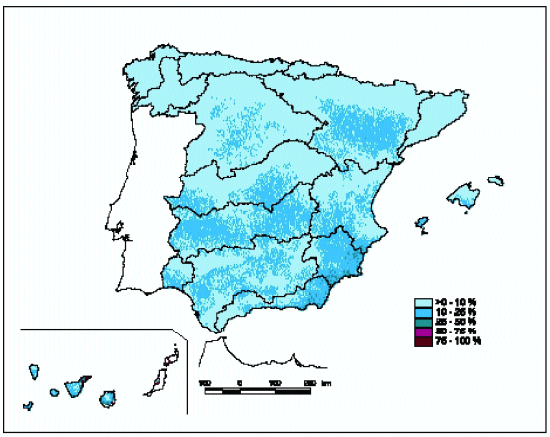


Figura nº 4. Previsión de precipitación sobre la costa mediterránea a lo largo del siglo XXI; a) variación de la situación presenta a futuro, b) desviación estándar (Sunmer et al, 2003).

En otro estudio de Marcuello (2002) del CEDEX, los resultados son algo distintos, encontrándose reducciones sustanciales de la escorrentía sobre todo en la región murciana e importantes en la comunidad valenciana (véase la figura 5).



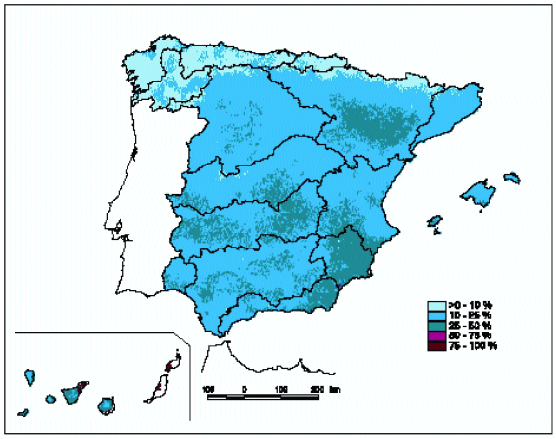


Figura nº 5. Porcentajes de reducción de escorrentía para dos escenarios diferentes (MMA 2000).

En un estudio de Llasat y Quintas, (2004), sobre las lluvias pasadas se nos indica que los resultados de las tendencias pueden ser muy distintos dependiendo del periodo de estudio elegido: 50 o 100 años, en una parte de España u otra. En un caso no se detecta tendencia, en el otro la tendencia es evidente. ¿Es real la tendencia?

Hace algunos años realicé un trabajo sistemático con la precipitación de las 50 capitales de provincia de España. De las 50 series temporales, sólo 11 de ellas, de la España seca, merecían la pena ser analizadas, al ser razonablemente homogéneas y tener huecos pequeños. Los datos eran precipitaciones mensuales y no se podía distinguir en ellos ninguna tendencia, lo que es de esperar, porque lo que se debe esperar de las lluvias en el siglo XXI no es una disminución de la cantidad de agua recogida, sino del régimen de precipitación.

En otro estudio sobre la precipitación en forma de nieve con datos de 90 estaciones meteorológicas españolas, solamente una de ellas, la de Navacerrada, tiene algún valor científico, pues el resto de ellas son esencialmente una colección de huecos: aparatos estropeados, observadores enfermos, jubilados y no substituidos, o simple pérdida de los registros.

En un trabajo muy interesante de Holt y Palutikoff (2004), se encuentra una probabilidad alta de episodios de sequía intensa en el suroeste de la Península Ibérica, lo cual es también tremendamente interesante, pues es conocido que en Huelva y en la Sierra de Cádiz la precipitación procedente del atlántico las convierte en las dos provincias andaluzas con menor historia de sequía en el siglo XX (véase la figura 6).

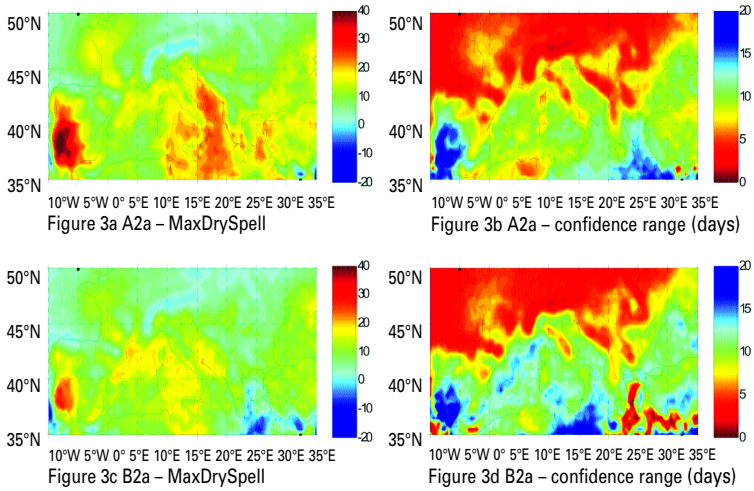


Figura nº 6. Probabilidad de episodios de sequía en el área Mediterránea (Holt y Palutikoff 2004).

En el mismo trabajo, se aprecia una disminución notable de los episodios de lluvias con más de 10 o de 20 días seguidos de precipitación, en el norte de España y en los Pirineos, con rangos de variabilidad casi tan grandes como los propios intervalos predichos.

En el resto de España no puede apreciarse variación porque es raro que en la España seca haya llovido muchas veces mas de diez días seguidos en el siglo XX, y extremadamente raro que lo haya hecho 20 días seguidos, por lo que, si en el futuro en vez de llover 6 días llueve sólo 1, esta disminución no aparece como cambio en este trabajo.

Como resultado de un proyecto de investigación de la UE: PRUDENCE (Räisänen et al, 2004), uno de los mejores trabajos sobre los cambios climáticos regionales en Europa, basados en dos modelos generales, el Hadley y el ECHAM/OPYC bajo dos escenarios para finales del siglo XXI. Uno de los escenarios es más extremo, en términos de cantidad de CO_2 en la atmósfera, que el otro (véase la figura 7).

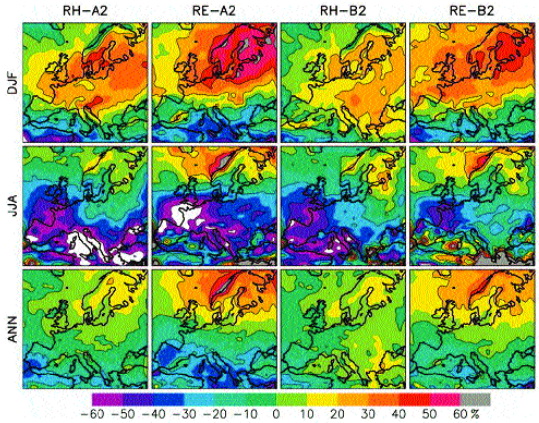


Figura nº 7. Patrones de precipitación estimada (Räisänen et al, 2004).

El primer comentario, y uno que vengo haciendo desde hace años, es que los investigadores de estos trabajos se fijan en las lluvias de Diciembre, Enero y Febrero, y en las de Junio, Julio y Agosto. Esto, que puede tener algún interés para los noreuropeos, carece de interés para nosotros, que recibimos el grueso de las precipitaciones en los equinoccios en vez de en los solsticios.

Dejando aparte este comentario, que es importante, es notable que en el escenario A2, el más probable y el más intenso ("bussiness as usual"), el modelo del Hadley pronostica, para el invierno, menos lluvia en la costa mediterránea, mientras que el modelo ECHAM/OPYC pronostica más, y lo mismo ocurre para escenario B2, con cifras más reducidas.

¿Cual de ambos modelos es más correcto? Puede uno pasarse meses debatiendo el asunto, sin llegar a ninguna conclusión, pues ninguno de los modelos considera explícitamente la física del mediterráneo ni de las cadenas costeras, sino que son reducciones de escala estadísticas o dinámicas desde los modelos globales.

En cuanto al verano la situación es curiosa, pues se pronostica, en el modelo Hadley, una disminución de hasta un 60 % de la precipitación en La Mancha y en el interior de España. Teniendo en cuenta que habitualmente la cantidad de lluvia caída en esos meses y esas regiones es cero, es interesante saber que es posible que caiga algo menos de 0 litros por metro cuadrado a finales del siglo XXI.

Interesante es también notar que en el modelo ECHAM/OPYC hay una minúscula región centrada esencialmente en Ronda, en donde debe llover hasta un 30% más en verano. Si consideramos que no llueve nada, un 30% más debe corresponder a una nada algo más grande.

Si nos referimos a las temperaturas, ambos modelos pronostican incrementos de entre 6 y 8 ºC de las temperaturas máximas. Esto es temible, pues en Madrid, donde vivo,

podremos alcanzar los 44 ºC en verano, y en Sevilla los 50 ºC. Estos datos son más fiables que los que corresponden a las precipitaciones. Podemos afirmar que en España va a hacer mucho calor. El problema es que las plantas se secan de manera no lineal y que una planta que soporta los 42 ºC, se seca casi inmediatamente a 44 ºC de temperatura (véase la figura 8).

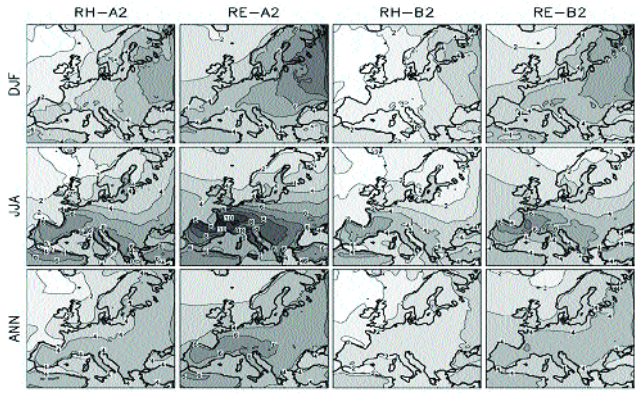


Figura nº 8. Patrones de temperatura estimada (Räisänen et al, 2004).

Igualmente significativo y preocupante es la coincidencia en ambos modelos de la temperatura media en nuestro país, con subidas de entre 2 y 4 grados en invierno y entre 4 y 8 grados en verano.

En cuanto al pasado, Según Vicente-Serrano et al. (2004) la tendencia de las sequías es a un incremento en el número sequías moderadas y un mantenimiento del número de las sequías extremas (véase la figura 9).

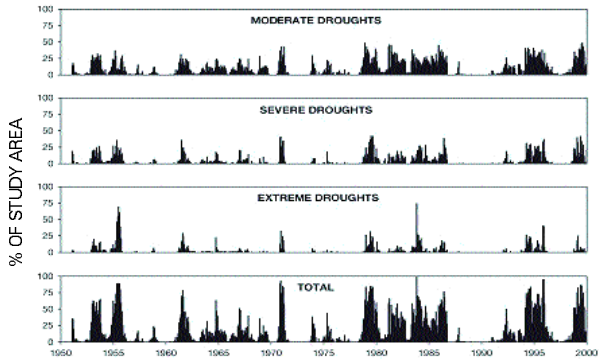


Figura nº 9. Evolución de episodios de sequía en el área Valenciana (Vicente-Serrano et al.).

La comunidad europea financió el proyecto WRINCLE (Water Resources: INfluence of CLImate change in Europe) finalizado en el año 2001 (Kilsby 2001). Consecuencias importantes son una disminución generalizada de la precipitación anual, y un aumento de la sequía, especialmente en la zona de Levante (véase la figura 10).

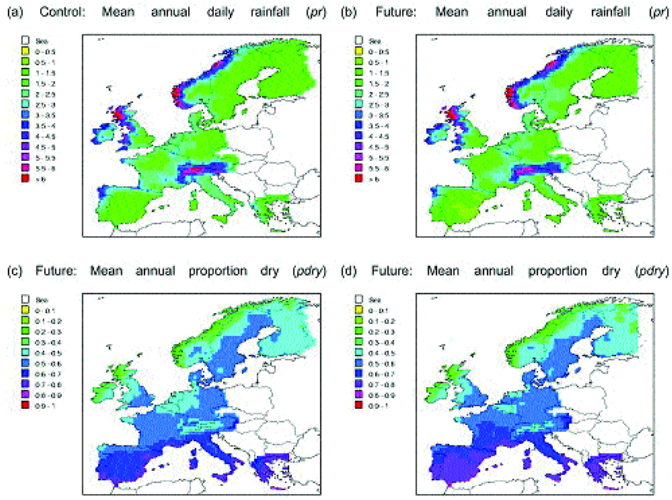


Figura nº 10. Resultados del proyecto WRINCLE sobre precipitación anual (Kisby 2001).

Otro estudio interesante son los de Sánchez y Ortiz (2003), que consiguen predecir las temperaturas de la península a partir de las temperaturas superficiales del mar con una antelación de seis meses. Puesto que las temperaturas del Atlántico siguen una oscilación climática de señal fuerte, la Oscilación del Atlántico Norte (NAO), es muy posible que podamos encontrar la evolución de las temperaturas peninsulares cuando comprendamos su patrón de evolución (véase la figura 11).

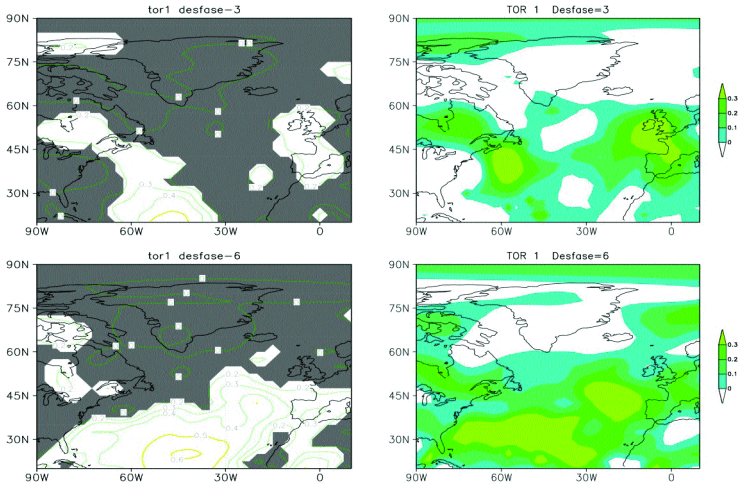


Figura nº 11. Predicción de las temperaturas de la península Ibérica a partir de las temperaturas superficiales del mar (Sánchez y Ortiz 2003).

Ayala (2003) ha dejado una serie detallada de predicciones de la evolución de la precipitación en las distintas cuencas españolas, así como de las escorrentías y evaporaciones en las mismas. El panorama no es muy alentador (véase la figura 12).

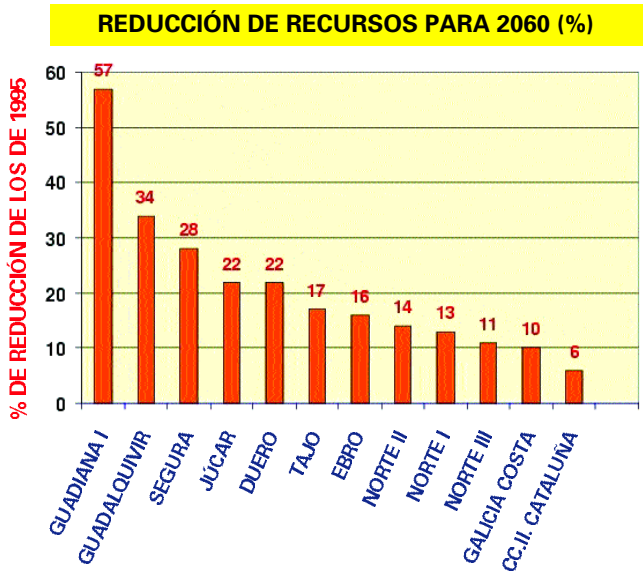


Figura nº 12. Predicción de la evolución de la precipitación en las distintas cuencas españolas (Ayala 2003).

En las costas se ha detectado un incremento de las alturas máximas de las olas en los últimos 20 años. No tenemos registros más largos, pero la tendencia del viento y de las olas a crecer es probable.

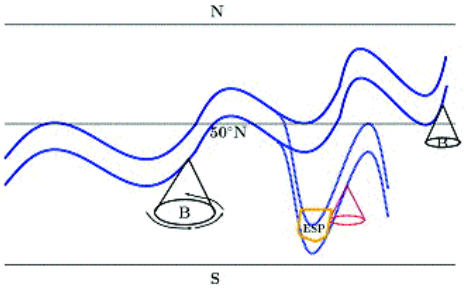
Por último me gustaría presentar un par de argumentos generales sobre la evolución climática en España en este siglo XXI.

Las lluvias en nuestro país están controladas por el chorro polar, un río muy intenso de aire que circula de Oeste a Este rodeando la Tierra a 11.000 metros de altura. Vemos algo de ese chorro cuando vemos cirros muy altos que se mueven en la atmósfera. Las borrascas "cuelgan" del flanco sur del "chorro" cuando los meandros suben hacia el norte, y tenemos anticiclón cuando los meandros bajan hacia el sur.

La posición latitudinal del chorro depende de la diferencia de temperaturas entre el Ecuador y el Polo Norte. La idea es sencilla: la diferencia de temperaturas es una diferencia de energías similar a una caída de agua. Cuando la diferencia es grande la turbina que mueve la cascada se mueve intensamente, en el centro de la caída. Cuando la diferencia de alturas es pequeña, la velocidad es menor.

La posición latitudinal del chorro se encuentra en la zona del máximo gradiente de temperaturas entre el Ecuador y el Polo Norte. Las temperaturas del Ecuador no varían en una situación de cambio climático: a más energía, mayor evaporación, pero no subida de temperaturas. Esto no es así en el Polo Norte: cuanta más energía demos al hielo, cuanto más lo calentemos, mayor será la subida de su temperatura.

El resultado es un desplazamiento hacia el norte del chorro polar, hacia una situación de verano permanente. Un río intenso hace pocos meandros. Un río de corriente débil realiza meandros pronunciados (véase la figura 13).



El "chorro" polar en otoño en CC y sus excursiones violentas

Figura nº 13. Comportamiento del chorro polar.

La teoría nos dice algo de lo que nos confirman los resultados expuestos anteriormente: avanzamos, en el siglo XXI, hacia una situación de sequías prolongadas, con el chorro polar en latitudes nórdicas, puntuadas por invasiones bruscas e intensas de lluvias torrenciales. Vamos hacia un clima extremo, de grandes contrastes.

¿Podemos decir con seguridad algo más, especificar cantidades, zonas concretas de más lluvia o menos lluvia, de mayor o menor subida de las temperaturas?

De todo lo anterior deducimos que no estamos en este momento preparados para afirmar nada concreto con una garantía científica sobre el futuro del clima en España. Faltan aún muchos trabajos con diversos modelos, falta aún mucha investigación sobre la dependencia de las predicciones de los parámetros empleados.

Como conclusión de la presente exposición:

1) Hay muy pocos trabajos sobre el clima futuro en España: he expuesto 4, más o menos contradictorios, y puede haber hasta otros 4.
2) Los trabajos producen predicciones opuestas en cuanto a la precipitación, consistentes en cuanto a la temperatura. Sin embargo ni siquiera respecto a esta variable se dan barras de error, ni se indican variaciones locales, muy importantes para la planificación de las medidas de adaptación.
3) No hay datos fiables sobre la evolución local y a escala de días de la precipitación en España, datos históricos.
4) Ni los diversos Ministerios de Ciencia, ni en la etapa anterior el ministerio de Medio Ambiente, han tenido el menor interés en conocer la evolución del clima de España, ni del pasado, puesto que no se ha puesto cuidado en los datos, ni el futuro, puesto que no se ha desarrollado una política sistemática de investigación sobre el problema.

¿Qué podemos hacer?

Es difícil pensar que la humanidad va a adoptar escenarios distintos del A2 descrito en el último informe del IPCC. El actual MMA está haciendo un esfuerzo notable, pero muchas de

las competencias importantes están en manos de los ministerios de Industria, Fomento y Vivienda, y en las de las comunidades autónomas, y ninguna de estas entidades parece haber emitido, ya, ningún decreto penalizando la emisión de gases ni primando substancialmente la energía solar.

Teniendo en cuenta los resultados más probables del escenario A2, nos enfrentamos a una situación de menos lluvia, regímenes muy extremos de sequías puntuadas por inundaciones y evapotranspiración intensa.

Debemos investigar muy seriamente cuando, cuanto y donde va a haber una u otra precipitación y una u otra temperatura. Debemos invertir intensamente en ahorro de agua, en su captura en acuíferos, y en diseñar una península llena de árboles que capturen el agua de las tormentas fuertes, que retengan suelo en las avenidas, que evaporando algo de agua, incrementen, localmente, la probabilidad de precipitación.

Debemos prepararnos para una vida entre temperaturas muy altas y lluvias muy bajas: preparar los cultivos, las viviendas, la forma de vida. Debemos, finalmente, prepararnos para una subida del nivel del mar y un aumento de las olas en nuestras costas, cosas éstas ambas de importancia para la industria nacional que son los servicios al turismo.

Debemos hacerlo hoy. No podemos esperar a mañana. Recordemos Yucatán

La España en el siglo XVI era el país más rico del mundo. De las minas del Potosí en el virreinato del Perú, de las de Guanajuato en México, salían constantemente ríos de plata y oro que, como en Yucatán, se emplearon en juegos, guerras e inversiones en bienes raíces. Mientras holandeses e ingleses invertían lo que capturaban de los barcos españoles en desarrollo e industrias, los españoles dejamos siempre para mañana invertir el dinero en empresas productivas. En el siglo XVII España entró en una depresión de la que ha salido recientemente, tres siglos después.

Hoy tenemos dinero. ¿Dejaremos el trabajo para cuando nuestras ciudades estén sumergidas bajo el agua?

Bibliografía

Ayala, Comunicación personal (2003)

Holt, T., J. Palutikof (2004). *Precipitation extremes over the Mediterranean*, PRUDENCE Deliverable 5.A.6.

Kilsby, C.G. (2001). *Water Resources Influence of Climate Change in Europe*. Editor, Final Report.

Llasat, M.C., L. Quintas (2004). *Stationary of monthly rainfall series since the middle of XIXth century. Application to the case of peninsular Spain*. Natural Hazards, 31, 613-622.

Marcuello, C. (2002). *Country Paper: Spain. Planning and Climate Change Adaptation.* In Water, Wetlands and Climate Change, a scientific project if the IUCN. Athens Meeting.

Räisänen, J., U. Hanson, A. Ullerstig, R. Doescher, L.P. Graham, C. Jones, H.E.M. Meier, P. Samuelsson, U. Wallen (2004). *European climate in the late twenty-first century: Regional simulations with two driving global models and two forcing scenarios*. Climate Dynamics, 22, 13-31.

Sánchez Gómez, E., M.J. Ortiz Beviá (2003). *Seasonal Forecasts of North Atlantic 850-hPa Air Temperature Anomalies Using Singular Vectors*. Monthly Weather Review, 131,(12) 3061-3068.

Sunmer, G.N., R. Romero, V. Homar, C. Ramis, S. Alonso, E. Zorita (2003). *An estimate of the effects of climate change on the rainfall of Mediterranean Spain by the late twenty first century*. Climate Dynamics 20, 789-805.

Vicente-Serrano, S.M, Gonzalez-Hidalgo, J.C., de Luis, M., Raventós, J. (2004). *Drought patterns in the Mediterranean area: teh Valencia region (eastern Spain).* Climate Research 25, 5-15.

El Cero y el Infinito: los Costes Económicos de Kioto y las Reticencias de EE.UU.

PROF. DR. RAMÓN TAMAMES

Catedrático de Estructura Económica,
Cátedra Jean Monnet
Premio Rey Jaime I de Economía 1997

A finales de la década de 1950, Arthur Koestler escribió una novela, que se hizo mundialmente célebre, *Darkness at Noon*, que en España se tradujo, a mi juicio muy inteligentemente, por *El cero y el infinito*.

Traigo a colación la anterior remembranza, en la idea de que valorar los costes relacionados con todo lo que supone el Protocolo de Kioto, es, hoy por hoy, una operación sumamente difícil, por no decir imposible. Fundamentalmente, porque tendríamos que ponernos de acuerdo previamente sobre gran número de hipótesis de trabajo, lo cual resulta imposible por las actitudes diametralmente opuestas sobre el tema. Por un lado, algunos manifiestan rotundamente que el calentamiento global es una especie de *cuento de terror* para una sociedad que todavía no tiene capacidades de predicción. En el otro polo de las argumentaciones, se dice que el cambio climático, si no se ataja, puede significar, a largo plazo, una dramática alteración, a peor, de las civilización humana tal como hoy la conocemos.

En mi intervención en este simposio sobre la cuestión, hice algunas reflexiones sobre ese casi infinito recorrido entre quienes dicen que no hay nada que hacer (y que incluso el CO_2 es un *gas de vida* para la agricultura), y los que apoyan la tesis de que estamos ante un continuo deterioro de la biosfera que de no frenarse habremos de pagar con una era de catástrofes nada naturales, que según algunos ya han empezado.

Una discusión en esos términos presenta infinitas soluciones teóricas, pero al final, ninguna parece que vaya a ser aceptable para todos, al menos de momento. Sin embargo, dentro de ese contexto de indeterminación, está clara una cosa: todas las medidas que se

adopten en función del Protocolo de Kioto, servirán para racionalizar las producciones de bienes y servicios, internalizar costes de conservación, y crear las condiciones de una mejor calidad de vida, incluyendo la amenazada salud humana.

En mi exposición, examiné una serie de cuestiones que se relacionan con dos aspectos filosóficos de Kioto, ligados a las ideas básicas de la "tragedia de los bienes comunes", y de la "hipótesis de Gaia".

En cuanto a los *bienes comunes*, el Protocolo representa un indudable principio de racionalización, pues con él empieza a plantearse una administración conjunta para ese bien común que es la atmósfera, a fin de atenuar la tendencia actual a derrochar recursos; precisamente porque no tienen dueños concretos ni responsables ni bien definidos. La idea de fijar topes de emisiones de gases de invernadero según los países, con el propósito de ir reduciéndolas gradualmente, es algo muy nuevo e importante: el arranque de una "*Contabilidad Internacional de la Atmósfera*" con un enfoque ya de verdadero gobierno mundial de la biosfera, aunque todavía se eche de menos a algunos firmantes.

En definitiva, si se me permite la alusión, podríamos decir que con Kioto, estamos ayudando a Gaia, en el sentido de la hipótesis, cada vez más verosímil de Lovelock. Por el contrario, los que preconizan posturas anti-Kioto, están acelerando la posible reacción de los impulsos internos de la Naturaleza, que podría cambiar dramáticamente el orden natural del que hoy todavía nos privilegiamos.

Esa hipótesis de Gaia, fue enunciada, ya se sabe, por el Dr. Lovelock al final de la década de 1960, y significa la configuración de una idea realmente luminosa: el planeta Tierra tiene un sistema de funcionamiento aún poco conocido, que incluye sus propios mecanismos de autorregulación. De modo que los grandes equilibrios se mantienen, a pesar de las incidencias de la especie humana en la biosfera; en la que se producen erosiones cada vez más graves, por el crecimiento poblacional desaforado y sus medios tecnológicos cada vez más poderosos y destructivos. En esa línea de pensamiento, puede decirse que el *Protocolo de Kioto viene en ayuda de Gaia*; actualmente abrumada por las afrentas que está recibiendo de los hijos de Prometeo y Pandora o, si se prefiere, de Adán y Eva.

En esa línea de tendencia, cabe mencionar también a uno de los pioneros en la materia, el Prof. Jay Forrester, quien a comienzos de la década de 1970 preconizó algo parecido a Gaia, aunque formulado menos poéticamente, al apoyarse en la *Teoría de Sistemas*. De forma que en su enunciado de los modelos Tierra I a III en el libro *Los límites al crecimiento* destinado al Club de Roma (1972), vaticinó que de no acometerse reformas básicas, como la que hoy representa Kioto, del modelo convencional de equilibrio ecológico, se pasaría a otro de ruptura total; con consecuencias dramáticas, en línea con el pensamiento popular de que "la madre naturaleza no perdona a quienes la ofenden".

En lo concerniente a los costes económicos de Kioto, para la UE, las previsiones más amplias son las realizadas por la Unión Europea con el llamado *modelo Primes*. Según el cual, de aquí al 2012, los países de la UE-25 tendrán que gastarse unos 9.000 millones de euros, para cumplir con los compromisos adquiridos. La cifra, como se ve, carece de verdadera relevancia económica, puesto que el PIB global de la UE-25 se sitúa, aproximadamente, en diez billones de euros, por lo cual el gasto de Kioto no llegaría al 0,01 por 100 en un lapso de seis años.

En el caso de España, las cifras facilitadas por el Secretario General de Cambio Climático del Ministerio de Medio Ambiente, Arturo Gonzalo Azpiri, se sitúan para el sector energético, que representa 21 puntos dentro del total de 40 por 100 que supone el volumen de emisiones controladas, en unos 80 millones de euros anuales hasta 2012; equivalentes a sólo el 0,015 por 100 del valor añadido de las industrias afectadas, con casi un millar de establecimientos que deben aplicar las medidas Kioto. Por tanto, un coste también muy reducido, que no se corresponde con las previsiones agoreras escuchadas tantas veces al respecto.

Sin embargo, no puede decirse, panglossianamente, que "vivimos en el mejor de los mundos posibles". Entre otras razones, porque con Kioto sólo se aspira a controlar en principio el 60 por 100 de las emisiones de gases de invernadero, quedando fuera las emisiones llamadas difusas y otras, a parte de que la medición global puede ser todavía muy imprecisa. Y en segundo término, porque llegará el momento en que en vez de estabilizarse las emisiones, será necesario eliminarlas por completo, un tema al que hay alguna referencia en lo que queda de este artículo.

Refiriéndome ahora al segundo tramo de mi conferencia, las renuencias de EE.UU. a aplicar Kioto, son todavía manifiestas. Pero algo está moviéndose, puesto que como pudo apreciarse en el encuentro celebrado en Buenos Aires (COP-10) de la Convención Marco sobre Cambio Climático, en diciembre de 2004, Washington D.C. ya aceptó asistir —en el marco de la *Convención* citada, pero no su Protocolo—, al seminario que tendrá lugar en Bonn en mayo de 2005. Para allí tratar de hacer unas primeras previsiones sobre cuál debe ser la política global a seguir después del 2012.

Esa decisión de EE.UU. no es mala señal, por mucho que los norteamericanos dijeran que, de momento, de firmar Kioto, nada de nada. Frente a lo cual, en la reunión del G-7 del año 2005, que presidirá el *Premier* británico, Tony Blair, éste ejercerá toda su presión sobre Bush para que acepte ingresar en el sistema de Kioto. El especialista de Tony Blair en la materia lo ha dicho muy claro: "el calentamiento global es más importante que el terrorismo".

A pesar de ir a Bonn, el jefe de la delegación técnica de EE.UU. en Buenos Aires, en la COP10, Harlan Watson, apuntó que "sería prematuro iniciar ahora un proceso que conduzca a negociaciones para después de 2012. Nosotros estamos en la fase de implantación del *Plan Clima*". Un esquema con el que se aspira a reducir la intensidad de las emisiones de EE.UU. de gases de efecto invernadero en un 18 por 100 en 2012 respecto a 2000. Lo que en realidad se traduce en un incremento real, de entre 16 por 100 y el 26 por 100 en 2012 respecto a 1990; muy lejos, pues, de las metas de Kioto. Por lo demás, según las estimaciones de cierta ONG de EE.UU. y de algunos expertos individuales, esa previsión es muy conservadora, ya que el crecimiento estimado para EE.UU. hasta el 2012 es superior al 30 por 100.

Debe aclararse, además, que Estados Unidos y los países productores de petróleo (Arabia Saudí, etc) aceptaron la celebración del seminario de Bonn, con la condición de que quedase expresamente aceptado que no constituiría una instancia de negociación; moción que también se vio apoyada por India, China y Brasil. En definitiva, será un seminario informal, con el propósito de promover el intercambio de información entre los países, sin entrar aún en una negociación sobre lo que deba hacerse a partir de 2012.

En resumen, Kioto es un gran paso. Pero solamente el primero, en un largo y complejo proceso, absolutamente necesario, para reconciliarnos con Gaia y asumir que los bienes comunes son de todos y que juntos todos hemos de admitirlos de manera racional. Empezando, precisamente, por el aire que respiramos.

Algunos aspectos de la Influencia Directa del Cambio Climático sobre la Salud Humana

DR. JULIO DÍAZ JIMÉNEZ

Departamento de Física del Aire. Facultad de Ciencias Físicas
Universidad Complutense de Madrid

Introducción

Durante las últimas décadas se ha producido un considerable aumento de los gases de efecto invernadero, especialmente del CO_2, que ha pasado de concentraciones de 280 ppm en la era preindustrial hasta los 368 ppm en el año 2000. Según el Tercer Informe de Evaluación del Cambio Climático (Houghton et al 2001) las consecuencias que lleve asociado este aumento de CO_2 dependerán, en gran medida, de los distintos escenarios que dibujen las diferentes hipótesis socioeconómicas futuras.

De manera simplificada estos escenarios variarán desde escenarios A, más económicos, a escenarios B, más ambientales. Dentro de éstos según se apliquen políticas a escala mundial o escala regional se hablará de escenarios 1 y 2 . Así un escenario A1 vendrá marcado por un crecimiento económico muy rápido seguido de un importante crecimiento demográfico hasta mediados de siglo. Dentro de este escenario se contemplan las posibilidades A1FI: basado en un alta utilización de combustibles fósiles, el A1T con una utilización de energía no derivada de este tipo de combustibles y el escenario A1B que viene marcado por un equilibrio entre ambas fuentes. Frente a ese escenario A1, el denominado escenario B2 vendrá marcado por la utilización de soluciones locales para la sostenibilidad, niveles intermedios de desarrollo económico y una utilización progresiva de las tecnologías limpias. Según un escenario u otro los niveles de CO_2 variarán, en el horizonte del año 2100, entre 540 ppm para un escenario B1 hasta los 997 ppm en el escenario A1FI.

Consecuencia de este incremento en las concentraciones de CO_2 será el aumento de la temperatura entre 1,4 y 5,8 ºC en el periodo 1990-2100 (Houghton et al 2001), aunque los

niveles a escala regional hablan de incrementos aún mayores para las zonas emergidas de la Península Ibérica (MIMA 2005). Esta velocidad de incremento de la temperatura no tiene precedente al menos en los últimos 10.000 años. Además dicho ascenso de las temperaturas no se producirá de forma lineal si no que habrá un aumento en la frecuencia e intensidad de los eventos extremos (WMO 2003).

Es evidente que estos cambios traerán consigo una serie de consecuencias sobre la salud humana. Si se sigue un esquema similar al presentado por McMichael y Haines (1997) que distingue entre efectos directos e indirectos, las principales consecuencias para la salud de la población como consecuencia directa del cambio climático son las que más afectan a los países desarrollados y será en éstos en los que se centre este trabajo. Éstas podrían sintetizarse fundamentalmente en un aumento de los eventos térmicos extremos y en el aumento de la concentración en la atmósfera de algunos contaminantes.

Relación entre los eventos térmicos extremos y la morbi-mortalidad

Según estudios realizados la morbilidad-mortalidad presenta una dinámica estacional caracterizada por la aparición de un máximo invernal y un pico estival de menor amplitud, aunque a veces más intenso desde el punto de vista de sus efectos en salud que el propio exceso de morbilidad-mortalidad invernal (Mackenbach et al 1992, Alderson 1985). El resultado de numerosas investigaciones indica que la relación entre la temperatura y la morbilidad-mortalidad suele tener forma de "U" o de "V" con una temperatura de mínima incidencia que varía de unos lugares a otros (Kunst et al 1993, Sáez et al 1995, Ballester et al 1997, Alberdi et al 1998) y que depende, probablemente, de la adaptación de la población al rango de temperaturas a las que se encuentra expuesta (Curreiro et al 2002, García-Herrera et al 2005). La sobremortalidad invernal se explica principalmente por las enfermedades respiratorias y circulatorias, mientras que son estas últimas las más relacionadas con el aumento de mortalidad estival (Alberdi y Díaz 1997). Los grupos de mas edad son los que mas contribuyen a estos excesos de morbilidad-mortalidad (Alberdi et al 1998, Ballester et al 2003).

En cuanto a la distribución temporal, el efecto del calor ocurre a corto plazo (1-3 días), mientras que el del frío suele ocurrir entre una y dos semanas después del extremo térmico (Alberdi et al 1998, Braga et al 2001), lo que es coherente con los mecanismos biológicos que subyacen (Huynen et al 2001, Havenit 2002). A modo de ejemplo indicar que la mortalidad media diaria por todas las causas excepto accidentes (CIE IX 1-799) registradas en la Comunidad de Madrid de 1986 a 1992, frente a la temperatura máxima diaria, presenta una relación en forma de "V" con una temperatura máxima diaria de mínima mortalidad en 30,8 ºC (Díaz y López 2003).

Desde un punto de vista de los efectos en salud, no existe un criterio uniforme para la definición de ola de calor (WHO 2004) y de frío. En el caso del calor algunos autores definen extremos mediante un umbral en función de la temperatura del aire tanto máxima como mínima o media diaria, de un día o varios, otros autores utilizan índices (temperatura aparente, etc.) que tienen en cuenta la humedad relativa del aire (Nakai et al 1999, Smoyer 1998, Jendritzky et al 2000) o las situaciones meteorológicas a escala sinóptica (Kalkstein 1991).

Diversos trabajos realizados recientemente en la Península Ibérica muestran la existencia de una temperatura máxima diaria a partir de la cual se observa un incremento acusado de la mortalidad. Para el caso de Madrid esta temperatura máxima diaria de "disparo de la

mortalidad" es de 36,5 ºC (Díaz et al 2002a), 41 ºC para Sevilla (Díaz et al 2002b), 33,5 ºC para Lisboa (García-Herrera et al 2005) (figura 1) y 30,3 ºC para Barcelona. En todos estos lugares esta temperatura coincide con el percentil 95 de las series de temperaturas máximas diarias durante el periodo de verano (junio-septiembre) desde 1991 a 2002. Puesto que un solo día con temperatura superior a este valor de disparo ya tiene efecto significativo sobre la mortalidad, se propone definir como ola de calor aquel periodo en que la temperatura máxima diaria supere el percentil 95 de las series de temperaturas máximas diarias en el periodo junio-septiembre. La duración de la ola de calor vendrá marcada por el número de días consecutivos que se supere dicho umbral.

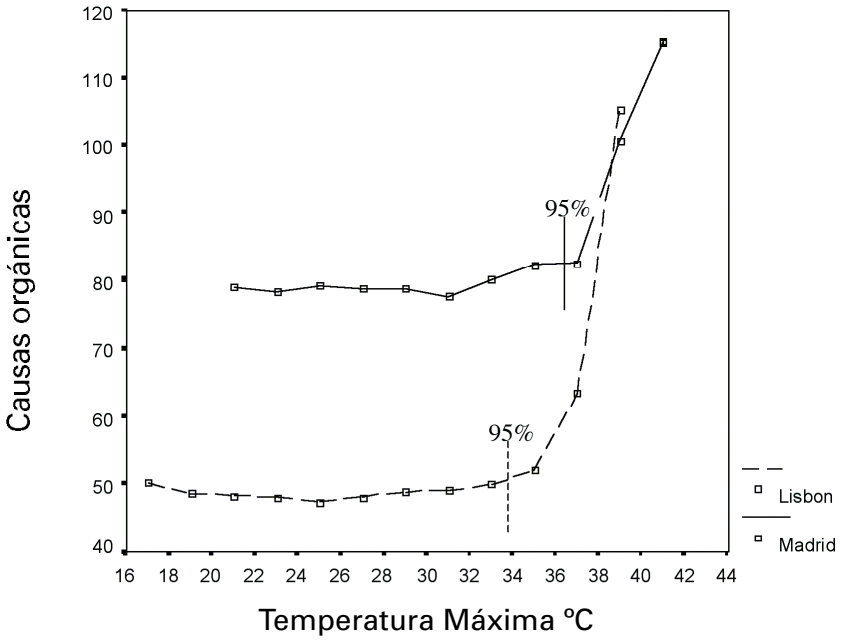


Figura 1. Temperatura de disparo de la mortalidad para las ciudades de Madrid y Lisboa. Se marca la temperatura umbral del 95 % de las series de temperaturas máximas diarias en el periodo junio-septiembre.

En el caso del frío, se observa un comportamiento análogo al del calor pero agravado por el hecho de que el efecto del frío es mucho menos intenso y a más largo plazo, por lo que resulta más complicado establecer la relación causa-efecto (Braga et al 2001). No obstante, existe una temperatura máxima diaria por debajo de la cual se dispara la mortalidad. Para el caso de Madrid, esta temperatura máxima diaria, próxima a los 6 ºC, coincide con el percentil 5 de las series de temperaturas máximas diarias durante el periodo invernal (noviembre-marzo) (Díaz et al 2005a).

Es decir, existe una asociación entre la mortalidad y la temperatura que se exacerba en los casos de extremos térmicos, olas de frío o de calor. De hecho, cuando la temperatura máxima está por encima del percentil 95 o por debajo del percentil 5 la magnitud del impacto se hace mayor.

Comprobada la asociación entre la temperatura máxima diaria y los excesos de mortalidad por frío y calor descritos anteriormente, se puede calcular, a partir de los registros de temperaturas de las estaciones meteorológicas de cada lugar, las diferentes temperaturas umbrales a partir de las cuales se producen los excesos de mortalidad. En la figura 2 se muestra estos umbrales según diferentes capitales de provincia que permiten definir las olas de calor. En el caso del calor estos valores oscilan entre los 26,2 ºC de A Coruña y los 41,2 ºC de temperatura máxima diaria para Córdoba y en el del frío entre los 2,7 ºC de máxima diaria en Ávila y los 15 ºC de Alicante. Estos diferentes umbrales fisiológicos de adaptación indican que la mínima mortalidad ocurre a temperaturas más elevadas en las regiones más templadas (Curriero et al 2002) con un mayor impacto del calor en las latitudes frías y un menor impacto en las más templadas (Davids et al 2002).

TEMPERATURA UMBRAL OLA DE CALOR (°C)

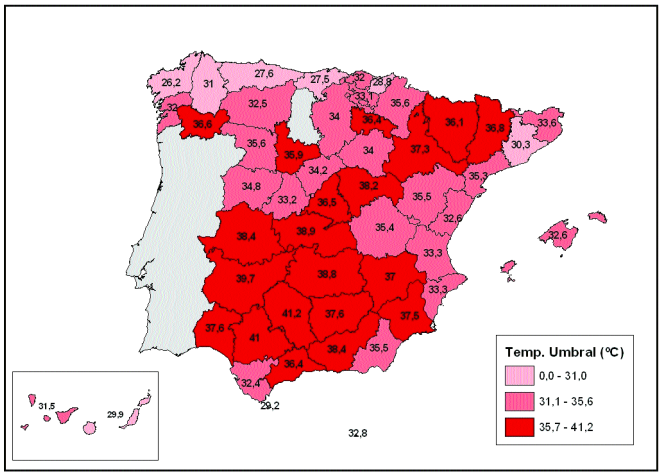


Figura 2.Temperaturas umbrales de definición de ola de calor en función del percentil 95 de las series de temperaturas máximas diarias en el periodo junio-septiembre.

Atendiendo a los criterios de que es necesario conjugar no sólo los excesos (defectos) de temperatura máxima diaria respecto a los umbrales anteriormente establecidos, si no también los días de duración, se puede definir un índice para caracterizar la intensidad de las olas de calor (IOC) y de frío (IOF) como se indica a continuación:

Calor:

$$IOC = \sum \left(T_{max} - T_{umbral}\right) si \;\; T_{max} > T_{umbral}$$

$$IOC = 0 \qquad si \;\; T_{max} < T_{umbral}$$

Frío:

$$IOF = \sum \left(T_{umbral} - T_{max}\right) si \;\; T_{max} < T_{umbral}$$

$$IOF = 0 \qquad si \;\; T_{max} > T_{umbral}$$

En las expresiones anteriores el sumatorio se extiende al periodo de tiempo que quiera caracterizarse a través del índice.

Es claro que los extremos térmicos asociados al cambio climático van a tener un efecto directo sobre la morbilidad-mortalidad. En el caso de las olas de calor este impacto se va a traducir en un aumento de la morbilidad-mortalidad asociada con estos eventos extremos (Díaz et al 2002a, Smoyer 1998), ya que las previsiones apuntan hacia un aumento en intensidad y en frecuencia de aparición de las olas de calor, especialmente en los primeros meses del verano (Hulme et al 2002). A modo de ejemplo, recordar que la ola de calor en Francia del 1 al 20 de agosto de 2003 provocó un exceso de mortalidad respecto al mismo periodo de años anteriores de 14800 personas. En Italia, se estimó un incremento de 4175 defunciones en el grupo de mayores de 65 años entre el 15 de julio y el 15 de agosto. En Portugal, entre el 31 de julio y el 12 de agosto, se estimó un exceso de mortalidad respecto al año anterior de 1316 personas. En Gran Bretaña, este incremento fue de 2045 personas entre el 4 y el 13 de agosto (Pirard 2003). En España, según datos no oficiales, se ha producido un exceso de mortalidad de más de 6000 personas respecto al mismo periodo del año anterior (WHO 2004, Martínez et al 2004).

Independientemente de los datos del verano de 2003, estudios realizados mediante análisis de series temporales de la mortalidad y su relación con la temperatura para el caso de diversas ciudades permiten cuantificar el impacto de los extremos térmicos por cada grado en el que la temperatura máxima diaria supere el umbral de cada una de ellas. Así, se han realizado estudios para el caso de la mortalidad asociada a las olas de calor para las ciudades de Madrid (Díaz et al 2002a), Sevilla (Díaz et al 2002b) y Lisboa (García-Herrera et al 2005). A modo de ejemplo, en la tabla 1 se muestra el incremento de la mortalidad en mayores de 65 años asociada a cada grado en el que la temperatura máxima supere la temperatura umbral para Madrid de 36,5 ºC.

Tabla 1. Porcentaje de incremento de la mortalidad por diversas causas y grupos de edad y sexo en la Ciudad de Madrid, por cada grado que la temperatura máxima diaria supera los 36,5 ºC.

Causas de mortalidad	Hombres 65-74	Mujeres 65-74	Hombres >75 años	Mujeres >75 años
Orgánicas (%)	14,7	16,2	12,6	28,4
Circulatorias (%)	9,4	11,7	6,3	34,1
Respiratorias (%)	17,2	23	26,1	17,6

La anterior definición del índice de intensidad de la ola de calor permite identificar las zonas de un país donde ha sido mayor el impacto del calor sobre la mortalidad en un año determinado. Por regla general, ha sido en los lugares donde el calor es menos frecuente donde se han alcanzado los valores más altos de este índice durante el verano. El comportamiento del índice de intensidad de la ola de calor frente a la tasa de mortalidad de las provincias españolas de más de 750.000 habitantes muestra un carácter logarítmico (Díaz et al

2005b) lo que viene a indicar que pequeños incrementos del índice tienen un gran impacto sobre la mortalidad y que debido en parte al efecto cosecha, existe un umbral a partir del cual el efecto se estabiliza.

Aunque a nivel global los diferentes patrones de mortalidad esperada basada en los futuros escenarios de cambio climático (McGeehin and Mirabelli 2001) hablan de un incremento de la mortalidad relacionada con olas de calor y un descenso de la relacionada con el frío, también es cierto que estudios realizados en Europa (Eurowinter Group 1997) indican que existe un impacto del frío sobre la mortalidad, superior en los lugares con inviernos más templados que en aquellos con inviernos más crudos. Esto es debido, por un lado a la adaptación fisiológica a las bajas temperaturas y, por otro, a la infraestructura de los hogares que hace que sean mejores las condiciones para luchar contra el frío en lugares habituados a las olas de frío, que en aquellos en los que son menos frecuentes (Eurowinter Group 1997). A modo de ejemplo, se muestran en la tabla 2 los efectos que tienen sobre la mortalidad, en el grupo de mayores de 65 años, en la ciudad de Madrid, los días en los que la máxima diaria está por debajo del umbral anteriormente definido (Díaz et al 2005a).

Tabla 2. Porcentaje de incremento de la mortalidad en la Ciudad de Madrid por grupos de edad y causas específicas por cada grado en que la temperatura máxima diaria no llega a 6 ºC.

Causas de Mortalidad	Edad de 65 a 74 años	Mayores de 75
Orgánicas (%)	5,1	2,7
Circulatorias (%)	6,1	2,8
Respiratorias (%)	9,1	9,6

Un estudio recientemente realizado para la ciudad de Lisboa (Dessai 2003) evalúa, aunque con una incertidumbre importante, el posible incremento de la tasa bruta de mortalidad para los años 2020 y 2050. Para ello utiliza las predicciones de dos modelos climáticos regionales, así como diferentes hipótesis sobre aclimatación y evolución de la población. Según este trabajo el incremento de la tasa de mortalidad relacionada con calor habría sido de entre 5,4 y 6 por cada 100.000 habitantes en el periodo 1980-1998. Entre 5,8 y 15,1 para el horizonte de 2020 y de 7,3 a 35,6 para el de 2050.

Por lo citado hasta ahora, es evidente que son numerosos los factores que han de tenerse en cuenta si se quieren minimizar los impactos del cambio climático sobre la salud de la población.

En primer lugar, son de gran importancia los factores meteorológicos a escala local a la hora de predecir la ocurrencia de un determinado extremo térmico. Así, por ejemplo, las situaciones sinópticas que produjeron la ola de calor en Madrid y Lisboa durante el verano de 2003 fueron diferentes en uno y otro lugar (García-Herrera et al 2005). Puesto que parece que el grupo más afectado ante los extremos térmicos es el de mayores de 65 años, habrá que articular las medidas de adaptación en función de la población de cada lugar. Además influyen factores asociados al desarrollo económico y cultural que pueden condicionar el impacto de

los extremos térmicos. Por ejemplo, y pese al aumento de emisiones de gases de efecto invernadero asociados, ha quedado clara la influencia de los sistemas de calefacción en la mitigación de las olas de frío (Wilkinson et al 2001) o de los aparatos de aire acondicionado en el caso de las olas de calor (Curriero et al 2002).Aunque la población envejecida es, sin lugar a dudas, el colectivo más afectado, existen otros grupos como personas con diversas patologías de base que pueden ver agravadas sus dolencias. La experiencia de 2003 nos ha enseñado que personas aparentemente sanas han fallecido por causa del calor al realizar prácticas tales como hacer deporte al aire libre en horas de gran calor. A lo anterior habría que añadir la necesidad de información a la población sobre medidas básicas a seguir ante extremos térmicos y la correcta formación y adecuación de los servicios sanitarios ante posibles aumentos de las patologías relacionadas con las olas de calor y frío. Se trata de articular sistemas de alerta in situ ante posibles extremos térmicos. Cada ciudad necesita desarrollar un sistema diferente basado en sus condiciones meteorológicas específicas, en la respuesta de su propia pirámide de población, de su infraestructura, del entramado social y de sus recursos hospitalarios.

Al contrario de lo que ocurre en las ciudades de Norte América, las ciudades europeas no están aún preparadas para las olas de calor. En algunas ciudades de Europa el plan de alerta consiste en información meteorológica y no incluye más que información pasiva al público en general y a las agencias locales de salud pública. Únicamente Lisboa y Roma han implementado un verdadero sistema de alerta en el caso de olas de calor (Pirard 2003, WHO 2004). Estos sistemas se basan en que la predicción meteorológica tiene una alta fiabilidad en 24-48 horas antes del extremo térmico y existe tiempo suficiente para una movilización de toda la red montada previamente. Así, por ejemplo, en el caso de Philadelphia esta actividad se basa en el anuncio de la situación de alerta a través de los medios, la puesta en marcha de una "línea caliente", la implicación de los vecinos y las visitas de los servicios sociales, así como las medidas dirigidas a reforzar los servicios médicos de urgencias y facilitar a los ancianos el acceso a lugares con aire acondicionado. Estos sistemas han demostrado ser eficaces a corto plazo y que puede ser una medida adecuada de adaptación de la población a largo plazo (Keatinge 2003). En esta línea aparece como una importante opción adaptativa la adecuada planificación urbana para mitigar los efectos de isla térmica y la existencia de construcciones bioclimáticas que aseguren el confort de sus habitantes con el mínimo consumo energético.

Efectos en salud relacionados con la contaminación atmosférica y el cambio climático

La Organización Mundial de la Salud considera la contaminación atmosférica como una de las prioridades mundiales más importantes en salud (WHO 2000). De hecho, se estima que el 1,4 % de las muertes en todo el mundo se consideran relacionadas con la contaminación atmosférica (Cohen et al 2003). En los países industrializados como Francia, Suiza y Austria, el 6 % de la mortalidad es atribuible a la contaminación atmosférica.

Las condiciones atmosféricas asociadas al cambio climático con el predominio de situaciones de estabilidad y de elevada insolación van a hacer que se produzca un aumento en las concentraciones de ozono troposférico en el aire, así como de las partículas denominadas finas (MIMA 2005), de hecho algunas predicciones apuntan a un aumento en las concentraciones del ozono troposférico de 40 ppb en el año 2000 hasta cerca de 70 ppb en el horizonte del 2100. Los efectos del ozono son bien conocidos. Se trata de un gas altamente corrosivo que irrita el epitelio respiratorio agravando diversas patologías cardiorrespira-

torias llegando a reducir la función pulmonar (Bernard et al 2001, Gauderman et al 2002) y agravamiento del asma (Gauderman et al 2002). Estudios realizados para la ciudad de Madrid relacionan el aumento de la mortalidad diaria (Díaz et al 1999) por todas las causas a partir de una concentración de 35 mg/m^3 de media diaria en un 12 % para un incremento en la concentración de 25 mg/m^3 y un aumento de los ingresos hospitalarios para concentraciones superiores a 45 mg/m^3 de media diaria de un 18 % para un incremento de 25 mg/m^3 (Díaz et al 1999). En ambos casos las patologías implicadas serían tanto las respiratorias como las cardiovasculares. Por otro lado, es conocido que la asociación temperaturas altas y contaminación se relacionan con un efecto sinérgico entre ambas potenciando el efecto de los contaminantes (Sartor et al 1995, Katsouyanni et al 1993) y que además las épocas de temperaturas elevadas se relacionan con incrementos acusados en la concentración de ozono (Díaz et al 2004).

En cuanto a las partículas de diámetro inferior a 10 mm (PM10), se ha demostrado la no existencia de nivel umbral de seguridad, es decir, cualquier incremento en la concentración de este contaminante lleva asociado un aumento en la morbilidad-mortalidad (Díaz et al 1999). El mecanismo de actuación es mecánico llegando dichas partículas a nivel de bronquios o bronquíolos pudiendo llegar incluso las más pequeñas (PM2.5) al torrente sanguíneo. Este efecto suele ser inmediato, es decir un incremento en la concentración del contaminante lleva ese mismo día a un aumento en la morbilidad-mortalidad por todas las causas y más específicamente por causas circulatorias y respiratorias. Estudios realizados para la Comunidad de Madrid en el seno del Proyecto Europeo APHEIS (Boletín Epidemiológico de la Comunidad de Madrid 2002) indican que un aumento de 5 mg/m^3 en la concentración de PM10 llevaría asociado en un aumento a corto plazo en la tasa de mortalidad de 2,4 muertes/100.000 habitantes y de 16,3 muertes/100.000 habitantes a largo plazo cada año.

Por lo anteriormente expuesto, parece claro que un futuro escenario derivado del cambio climático podrá agravar los problemas en salud derivados de la presencia de altas concentraciones de estos gases en la atmósfera (MIMA 2005).

Breve síntesis de efectos indirectos en salud humana producidos por el cambio climático

Si se continúa con el esquema anteriormente citado de MCMichael y Haines (1997) para el análisis de los impactos en salud, sería el momento de enunciar las posibles consecuencias en salud en los denominados “efectos indirectos”. Entre estos destacarían:

- Efectos sobre la extensión y la actividad de los portadores y de los parásitos infecciosos. Siendo su principal impacto en salud los cambios en su extensión geográfica y en la incidencia de las enfermedades transmitidas por portadores.
- Alteraciones de la ecología local de los agentes infecciosos del agua y de los alimentos, produciendo cambios en la incidencia de diarreas y de otras enfermedades infecciosas.
- Alteraciones de la productividad alimentaría debidos a cambios en el clima lo que desde el punto de vista de salud humana traerá consigo un aumento de la malnutrición y del hambre con el consiguiente perjuicio para el desarrollo de los niños.

- Sequías e inundaciones, con incidencia en la cantidad y calidad de las aguas destinadas al consumo humano, con el consiguiente aumento en la concentración de agentes patógenos.
- Subidas del nivel del mar con desplazamiento de las poblaciones lo que acarreará fenómenos de emigración con la consiguiente mezcla biológica y al aumento de brotes infecciosos y los fenómenos de marginación.
- Aumento de los niveles de contaminación biológica del aire como pólenes y esporas lo que llevará asociado un aumento en las epidemias de asma y de otras enfermedades alérgicas como la rinitis o la fiebre del heno.
- Al fin y a la postre se producirán dislocaciones sociales, económicas y demográficas debidas a los efectos del cambio climático sobre las infraestructuras y el abastecimiento de recursos lo que tendrá amplias consecuencias sobre la salud pública, empeoramiento de la salud mental y del nivel de nutrición, enfermedades infecciosas, marginación, etc.

Conviene destacar que el hecho de que no se aborden estos efectos indirectos en este trabajo no es por su menor incidencia en la morbilidad-mortalidad a nivel global, si no todo lo contrario. Únicamente la población de riesgo relacionada con la malaria es de 2400 millones de personas y con una población infectada entre 300 y 500 millones de personas al año con unos fallecimientos estimados en 2 millones de personas al año. Estudios recientes estiman que a mediados de este siglo podría haber 1 millón más de casos de malaria al año atribuibles al cambio climático (Martens et al 1994). Del mismo orden de importancia es el avance del dengue. Algunos autores (Hales et al 2002) afirman que mientras en 1990 había 1500 millones de personas viviendo en regiones con riesgo de transmisión del dengue en el año 2085 esta cifra se elevará hasta 5000 ó 6000 millones, lo que corresponde a un 50-60% de la población mundial estimada en esa fecha.

Bibliografía

Alberdi JC, Díaz J (1997) Modelización de la mortalidad diaria en la Comunidad de Madrid 1986-1991. *Gaceta Sanitaria* 11: 9-15.

Alberdi JC, Díaz J, Montero JC, Mirón IJ (1998) Daily mortality in Madrid community 1986-1992: Relationship with meteorological variables. *European Journal of Epidemiology* 14: 571-578.

Alderson MR (1985) Season and mortality. *Health Trends* 17: 87-96.

Ballester F, Corella D, Pérez-Hoyos S, Sáez M, Hervás A (1997) Mortality as a function of temperature. A study in Valencia, Spain 1991-1993. International Journal Epidemiology 155: 80-87.

Ballester F, Michelozzi P, Iñíguez C (2003) Weather, climate and public health. *Journal Epidemiology Community Health* 57: 759-760.

Bernard SM, Samet JM,Grambsch A, et al (2001) The potential impacts of climate variability and change on air pollution-related effects in the United States. *Environmental Health Perspectives*, 109, (Suppl2): 177-184.

Boletín Epidemiológico de la Comunidad de Madrid (2002) Evaluación del impacto de la contaminación atmosférica sobre la salud de Madrid. 10: 3-11.

Braga AL, Zanobetti A, Schwartz J (2001) The time course of weather-related deaths. *Epidemiology* 12: 662-667.

Cohen AJ, Anderson HR, Ostro B et al (2003) Mortality impacts of urban air pollution. Edit Ezzat M, López AD. Ginebra. OMS.

Curreiro FC, Heiner KS, Samet JM, Zeger SL, Strug L, Patz JA (2002) Temperature and mortality in 11 cities of the Eastern of the United States. *American Journal Epidemiology* 155: 80-87.

Davids RE, Knappenberg PC, Novicoff MM, Michaels PJ (2002) Decadal changes in heat-related human mortality in 11 cities of the Eastern of the United States. *Climate Research* 22: 175-184.

Dessai S (2003) Heat stress and mortality in Lisbon. Part II: an assessment of the potential impacts of climate change. *International Journal of Biometeorology*. 48: 37-49.

Díaz J, García R, Ribera P, Alberdi JC, Hernández E, Pajares MS, Otero A (1999) Modelling of air pollution and its relationship with mortality and morbidity in Madrid, Spain. *International Archives Occupational and Environmental Health*. 72: 366-376.

Díaz J, Jordán A, García R, López C, Alberdi JC, Hernández E, Otero A (2002a) Heat waves in Madrid 1986-1997: effects on the health of the elderly. *International Archives of Occupational and Environmental Health* 75: 163-170.

Díaz J, García R, Velázquez de Castro F, Hernández E, López C, Otero A (2002b) Effects of extremely hot days on people older than 65 years in Seville (Spain) from 1986 to 1997. *International Journal of Biometeorology* 46: 145-151

Díaz J, López C. (2003) Health impact of thermal extremes in Iberia: analysis and trends. CASh Workshop on Vulnerability to Thermal Stresses, 5-7 may. Freiburg. Germany.

Díaz J, Linares C, López C, García-Herrera R, Montero JC (2004) Salud ambiental, temperaturas extremas y mortalidad: el caso de España en el verano de 2003. *Revista Interdisciplinar de Gestión Ambiental*. 70: 13-29.

Díaz J, García R, Prieto L, Linares C, López C (2005a) Mortality impact of extreme winter temperatures. *International Journal of Biometeorology* 49: 179-18.

Díaz J, García R, Trigo R, Linares C, Valente A, Hernández E (2005b) The impact of summer 2003 heat wave in Iberia: how should we measure it?. *International Journal of Biometeorology* (in press).

Eurowinter Group, Donaldson GC, Keatinge WR (1997) Cold exposure and winter mortality from ischaemic heart disease, cerebrovascular disease, respiratory disease, and all causes in warm and cold regions of Europe. *Lancet* 349: 1341-1346.

García R, Díaz J, Trigo RM, Hernández E, Dessai S (2005) Extreme summer temperatures in Iberia: health impacts and associated synoptic conditions. *Annales Geophysicae*. 23: 239-251.

Gauderman WJ, Gilliand GF, Vora H, Avol E, Stram D, Mc Conell R et al (2002) Association between air pollution and lung function growth in Southern California Children: results from a second cohort. *American Journal Respiratory and Critical Core Medicine* 166 (1): 76-84.

Hales S, Wet N, Maindonald J, Woodward A (2002) Potential effect of population and climate changes on globl distribution of dengue fever: n empirical model. *Lancet* 360: 830-834.

Havenit G (2002) Interaction of clothing and thermoregulation (review). *Exog Dermatology* 1: 221-268.

Houghton JT et al Eds. (2001) Climate change 2001: the scientific basis. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 881 pp.

Hulme et al (2002) Climate Change scenarios for the United Kingdom: the UKCIPO2 scientific report . Norwixh, Tyndall Centre for Climate Change Research, School of Environmental Sciences, University of East Anglia.

Huynen MM, Martens P, Scram D et al (2001*)* The impact of heat waves and cold spells on mortality rates in Dutch population. *Environmental Health Perspectives*. 109: 463-470.

Jendritzky G, Staiger H, Bucher K, Graetz A, Laschewski, G (2000) The Perceived Temperature. Internet workshorp on windchill. April 3-7.

Kalkstein, LS (1991) A New approach to evaluate the impact of climate on human health. *Environmental Health Perspectives* 96: 145-150.

Katsouyanni K, Pantazopoulou A, Touloumi G, Tselepidaki I (1993) Evidence for interaction between air pollution and high temperature in the causation of excess mortality. *Archives Environmental Health* 48: 235-242.

Keatinge WR (2003) Death in heat waves. *British Medical Journal* 327: 512-513.

Kunst AE, Looman CWN, Mackenbach JP (1993) Outdoor air temperature and mortality in The Netherlands: a time series analysis. *American Journal Epidemiology* 137: 331-341.

Mackenbach JP, Kunst AE, Looman CWN. (1992) Seasonal variation in mortality in The Netherlands. *Journal Epidemiology Community Health* 46: 261-265.

Martens WJM, RotmansJ, Niessen LW (1994) Climate change and malaria risk: an integrated modelling approach. Bilthoven RIVM. Global Dynamics and Sustainable Development Pogramme. Series 3.

Martínez F, Simón-Soria F, López-Abente G (2004) Valoración del impacto de la ola de calor del verano de 2003 sobre la mortalidad. *Gaceta Sanitaria* 18: 250-258.

McGeehin MA, Mirabelli M (2001) The potential impacts of climate variability and change on temperature related morbidity and mortality in the United States. *Environmental Health Perspectives* 109 (suppl 2): 185-189.

MCMichael AJ and Haines A (1997) Global climate change: the potential effects on health. *British Medical Journal* 305: 805-809.

Ministerio de Medio Ambiente (2005) Principales conclusiones de la evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del cambio climático. Ministerio de Medio Ambiente. Oficina Española del Cambio Climático: 34-35.

Nakai S, Itoh T, Morimoto T (1999) Deaths from heat-stroke in Japan 1968-1994. *International Journal of Biometeorology* 43: 124-127.

Pirard P (2003) Heat wave: a climatic deadly phenomena that can be prevented. *Enfermedades Emergentes* 5: 145-146.

Sáez M, Sunyer J, Castellsagué J, Murillo C, Antó JM (1995) Relationship between weather temperature and mortality: a time series analysis approach in Barcelona. *International Journal of Epidemiology 24*: 576-582.

Sartor F, Snacken R, Demuth C, Walkiers D (1995*)* Temperature and ambient ozone levels and mortality during summer 1994 in Belgium. *Environmental Research* 70: 105-113.

Smoyer KE (1998) A comparative analysis of heat-wave associated mortality in St. Louis, Missouri – 1980 and 1995. *International Journal of Biometeorology* 42: 44-50.

Wilkinson P, Landon M, Armstrong B et al (2001) Cold comfort: the social and environmental determinants of excess winter mortality in England, 1986-1996. London: The Policy Press.

World Health Organization (2000) Evaluation and use of epidemiological evidence for environmental health risk assessment. European Centre for Environmental and Health, Bilthoven.

World Health Organization (2004) Heat waves: risks and responses. Health and Global Environmental Change. Series No.2.

World Meteorological Organization (2003*)* According to the Worl Meteorological Organization, extreme weather events might increase. Geneva, World Meteorological Organization, 2 July (http://www.wmo.ch/web/Press/ Press695.doc, accessed 29 October 2003).

Influencia sobre los Ecosistemas Terrestres: Riesgo de Desertificación

DR. JOSÉ LUIS RUBIO

Presidente de la Sociedad Europea de Conservación de Suelos (ESSC)
Centro de Investigaciones sobre Desertificación (CIDE)
CSIC, Universitat de Valéncia, Generalitat Valenciana
Premio Rey Jaime I de Medio Ambiente 1996

Introducción

Aproximadamente el 40% de la superficie de la Tierra está amenazada por el riesgo de desertificación. En esta superficie, que corresponde a las zonas terrestres con inherentes déficits hídricos más o menos acusados, vive el 37% de la población mundial.

La desertificación, en sus últimas consecuencias no sólo amenaza el potencial del suelo de producir alimentos y biomasa, sino que en las zonas afectadas se alteran los ciclos hidrológicos, se reduce drásticamente la biodiversidad y se producen procesos de retroalimentación que afectan a importantes parámetros climáticos.

En un contexto de cambio global, las consecuencias de los procesos de desertificación se exportan a otras zonas no directamente afectadas y producen multitud de consecuencias trans-sectoriales. Entre otros aspectos cabe señalar los impactos en los movimientos de migración de la fauna, los cambios en los flujos de radiaciones atmosféricas, los efectos en la dinámica erosión/sedimentación, los cambios en los ciclos biogeoquímicos y las importantes consecuencias en las migraciones humanas como efecto del empobrecimiento de los recursos de la tierra.

La desertificación significa pues una amenaza a todo el potencial biosférico de las zonas afectadas y tiene efectos transfronterizos y multisectoriales que inciden directamente en el cambio global.

El Compromiso de Río de Janeiro y la Desertificación

La dimensión global de este problema ambiental que tiene directas repercusiones sobre las condiciones de vida, y en los casos más extremos sobre la supervivencia de las poblaciones afectadas, fue planteada durante la Cumbre de la Tierra (Río de Janeiro, 1992) fundamentalmente por países africanos.

Entre otros países, España también apoyó esa iniciativa y así mismo la inclusión en la Agenda 21 de un capítulo sobre la buena gestión del recurso suelo y de lucha contra la desertificación. En 1993, en la Sesión 47 de la Asamblea General de Naciones Unidas, se adoptó una resolución (en concreto la 47/188) en la que se exponía el compromiso de Naciones Unidas de constituir un "Comité Intergubernamental para la Elaboración de un Convenio Internacional para Combatir la Desertificación en aquellos Países afectados por Graves Problemas de Sequía y/o Desertificación, particularmente en África".

De esta forma comenzó un proceso, sobre el que luego volveremos, que terminaría en París en junio de 1994 con la finalización de la elaboración del "Convenio de Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación" (a partir de ahora CLD), y que sería oficialmente presentado también en París en octubre de ese año. El CLD se puso en marcha oficialmente el 26 de diciembre de 1996, al ser ratificado por 70 países, entre ellos España.

Antecedentes

Sin embargo, el concepto y la problemática de Desertificación no son temas nuevos. El abuso y los consiguientes procesos de degradación de la tierra en zonas frágiles del planeta están ligados a los inicios de las grandes civilizaciones. Los registros históricos del Medio Oriente, de la antigua Grecia, del Imperio Romano, etc, nos muestran testimonios de gran valor histórico-ambiental en los que se pormenorizaron impactos y procesos que conllevaban el desmantelamiento y colapso de zonas agroforestales. Esta situación ha sido considerada por diversos autores como la causa del colapso de algunas culturas (Cater y Dale, 1955).

Sin embargo, el vocablo "desertificación" no aparece en la literatura científica hasta 1949, utilizado por Aubreville (Aubreville, 1949) al referirse a procesos de degradación del suelo y vegetación en ambientales tropicales húmedos. A partir de entonces, y con intervalos y altibajos en la atención académica, fue evolucionando lejos de la percepción pública (Fantechi et al, 1995).

La problemática de desertificación sólo saltaría a un primer plano de preocupación social como consecuencias de los intensos períodos de sequía que afectaron a la zona del Sahel en la década de los años 60's y principios de los 70's del siglo XX. Durante esos períodos, economías y sistemas productivos de supervivencia, basados fundamentalmente en el uso del suelo y del agua, sufrieron el impacto de una sobrepresión que los situó al borde de su disfuncionalidad. Como consecuencia se estimó que se vieron afectados unos quinientos millones de hectáreas, y que se produjo la muerte de entre 100-200.000 personas y unos 10 millones de cabezas de ganado.

La sensibilización mundial ante esta situación movilizó a Naciones Unidas a convocar en 1977 una Conferencia sobre Desertificación que se celebró en Nairobi del 29 de agosto al 9 de septiembre de ese mismo año, y que constituye el primer precedente de consideración

global de un problema ambiental, adelantándose en muchos años a la misma consideración de problema global que recibieron (después de Río 92) problemas como la pérdida de biodiversidad, la tendencia de calentamiento global o los problemas de la capa de ozono.

En esta conferencia participaron más de 90 países y se elaboró y aprobó un Plan de Acción para Combatir la Desertificación (PACD) con unos planteamientos y objetivos muy amplios y ambiciosos que incluían toda una gama de propuestas que iban desde la evaluación, caracterización y seguimiento de los procesos biofísicos, hasta aspectos científico-tecnológicos, medidas socio-económicas y de impulso al desarrollo.

Años después, la valoración de resultados del PACD no aportaba indicios para el optimismo. La extensión y la intensidad de los procesos de desertificación no solo no se reducían, sino que continuaban extendiéndose agravando las valoraciones y previsiones elaboradas durante los preparativos del PACD.

Aunque sí que es generalmente reconocido que el PACD contribuyó de manera importante a este Plan de Acción, se le reconoce generalmente su importante contribución a la sensibilización mundial sobre la amenaza de desertificación, puesto que, de alguna manera, fue como el encendido de luces rojas de alarma de que algo grave estaba ocurriendo en una parte importante de las zonas más secas del Planeta, sin embargo, en cuanto a resultados prácticos y tangibles de mitigación del proceso, el PACD no cumplió las expectativas que había generado.

Mucho se ha discutido y analizado sobre las razones de esta falta de éxito. Creemos que una causa fundamental fue la naturaleza no vinculante de este Plan de Acción. Las numerosas recomendaciones y propuestas del PACD no implicaban una obligación legal para los países afectados y para los países, en principio, donantes de recursos financieros y medios técnicos.

Por otra parte, también se han identificado otra serie de circunstancias negativas. Entre ellas cabe destacar las siguientes:

- escaso nivel de participación de las comunidades locales en la toma de decisiones,
- no se valoró suficientemente la gravedad de los procesos de desertificación,
- carácter excesivamente tecnológico de las recomendaciones del PACD,
- transferencia de tecnologías no adaptadas ecológica y socialmente,
- falta de desarrollo de auténticas medidas socio-económicas,
- aspectos de mala gestión y/o corrupción en la distribución de recursos.

Esta situación contribuyó, en parte, a que durante la década de los 80 la temática perdiera fuerza e interés por parte de los organismos internacionales, las agencias de ayuda al desarrollo y los países potencialmente donantes. En los medios académicos y científicos se creó una situación de confusionismo conceptual que lógicamente tampoco ayudó a establecer sólidas bases para entender los procesos involucrados y sus mecanismos. Por ejemplo, las discusiones académicas sobre la definición de desertificación se hacían interminables y cada disciplina científica aportaba su propia versión según fueran meteorólogos, geógrafos, edafólogos, humanistas, agrónomos, etc. Se cita frecuentemente que en esos momentos se llegaron a catalogar unas cien definiciones de desertificación.

En 1990 UNEP retomó el tema convocando a grupos de análisis y revisión para lograr una mejor aproximación al problema (UNEP, 1990). El resultado fue una nueva definición y la identificación más adecuada de relaciones de causalidad y de directrices básicas para abordar soluciones.

En 1991 bajo el liderazgo de UNEP se redefinió el marco conceptual considerando que "desertificación es la degradación de tierras en zonas áridas, semiáridas y subhúmedo secas, como consecuencia básicamente de conductas humanas adversas". En esta definición el término "tierra" incluye no solamente al suelo sino también los recursos hídricos superficiales (fundamentalmente los ligados al suelo como regulador y almacenador de humedad) y la cobertura vegetal, incluyendo tanto los cultivos agroforestales como la vegetación natural. "Degradación de la tierra" es un concepto bien establecido en las disciplinas relacionadas con las Ciencias de la Tierra, que básicamente se refiere a la reducción del potencial productivo de este recurso debido a toda una serie de distintos procesos que inicialmente actúan sobre el suelo y que posteriormente trasladan sus efectos a los otros componentes del ecosistema terrestre. De esta forma la degradación del suelo es el proceso desencadenante de la alteración del ciclo hidrológico superficial, de la perturbación de la dinámica de la vegetación y de la reducción de la producción de biomasa. Entre los procesos de degradación se encuentran: erosión hídrica y eólica del suelo, salinización y desestructuración del suelo.

Esta definición es mucho más explícita y establece un marco mucho más concreto que los anteriores. En ella se establecen los límites biofísicos y climáticos donde esta se produce, incluye los procesos específicos involucrados y establece claramente la causalidad humana en el proceso.

Con esta situación de renovado interés por el tema y con una mejor situación de consenso académico y mejor marco conceptual, llegamos a Río de Janeiro donde por motivos no científicos, el último aspecto de la definición citada (causalidad humana) suscitó nuevas controversias y discusiones.

En efecto, de alguna manera hubo reticencias por parte de los países potencialmente donantes de ayuda a atribuir la desertificación solamente a causas humanas, olvidándose de la vulnerabilidad natural de las zonas afectadas. En estas reservas indudablemente también hubo aspectos de cierto temor a que los países afectados no desarrollados económicamente achacaran toda la responsabilidad del avance de la desertificación a actuaciones humanas impulsadas o realizadas por los países desarrollados.

Como resultado, la definición de 1991 se modificó en Río 92 con el matiz, importante, de incluir los aspectos climáticos. Con ello la definición añadió el aspecto de "las variaciones climáticas" como una de las causas fundamentales en el origen del proceso y posteriormente este aspecto también quedaría incluido en la definición del Convenio de Naciones Unidas (recuadro 1).

Recuadro 1: Definiciones del Convenio

a) por "desertificación" se entiende la degradación de las tierras de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas como resultado de diversos factores tales como las variaciones climáticas y las actividades humanas;

b) por "lucha contra la desertificación" se entiende las actividades que forman parte de un aprovechamiento integrado de la tierra de las zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas para el desarrollo sostenible y que tienen por objeto:

   1) la prevención o la reducción de la degradación de las tierras,

   2) la rehabilitación de tierras parcialmente degradadas, y

   3) la recuperación de tierras desertificadas;

c) por "sequía" se entiende el fenómeno que se produce naturalmente cuando las lluvias han sido considerablemente inferiores a los niveles normales registrados, causando un agudo desequilibrio hídrico que perjudica los sistemas de producción de recursos de tierras;

d) por "mitigación de los efectos de la sequía" se entiende las actividades relativas al pronóstico de la sequía y encaminadas a reducir la vulnerabilidad de la sociedad y de los sistemas naturales a la sequía en cuanto se relaciona con la lucha contra la desertificación;

e) por "tierra" se entiende el sistema bioproductivo terrestre que comprende el suelo, la vegetación, otros componentes de la biota y los procesos ecológicos e hidrológicos que se desarrollan dentro del sistema;

f) por "degradación de las tierras" se entiende la reducción o la pérdida de la productividad biológica o económica y la complejidad de las tierras agrícolas de secano, las tierras de cultivo de regadío o las dehesas, los pastizales, los bosques y las tierras arboladas, ocasionada, en zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas, por los sistemas de utilización de la tierra o por un proceso o una combinación de procesos, incluidos los resultantes de actividades humanas y pautas de poblamiento, tales como:

   1) la erosión del suelo causada por el viento o el agua,

   2) el deterioro de las propiedades físicas, químicas y biológicas o de las propiedades económicas del suelo,

   3) la pérdida duradera de vegetación natural;

g) por "zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas" se entiende aquellas zonas en las que la proporción entre la precipitación anual y la evapotranspiración potencial está comprendida entre 0,05 a 0,65, excluidas las regiones polares y subpolares.

El Convenio de Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación

Aunque como ya hemos comentado, la temática de desertificación fue ampliamente debatida en la Conferencia de Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo (UNCED, Río de Janeiro 1992), su consideración no llegó al énfasis y la atención otorgados a los problemas de pérdida de Biodiversidad o a la amenaza de Cambio Climático.

Sin embargo, el compromiso de Naciones Unidas de elaborar un Convenio Global de Lucha contra la Desertificación se puso rápidamente en marcha y la primera reunión del Comité Intergubernamental creado al efecto se celebró en Nairobi (Kenia) del 24 de mayo al 3 de junio de 1993. La primera parte de esta Conferencia se dedicó principalmente a exponer la situación de los países afectados por los procesos de desertificación en todos los continentes. Este análisis permitió conocer la dimensión del problema en términos globales, así como su variabilidad y complejidad en las distintas zonas afectadas de la Tierra. En cuanto a los países desarrollados afectados por los procesos de desertificación se expuso la situación específica de Estados Unidos, Australia y España. En la segunda parte de la reunión se elaboró un plan de trabajo preliminar para el desarrollo del Convenio, así como también se analizaron las dificultades, y al mismo tiempo necesidades, acerca de ofrecer prioridad a los países africanos.

En esta primera reunión de elaboración del Convenio, y tras arduas negociaciones, finalmente se alcanzó el consenso acerca de la prioridad de acción en el continente africano, sin detrimento de que fueran también consideradas propuestas de acciones dirigidas a otros países y regiones afectados por los procesos de desertificación (por ejemplo del Mediterráneo).

La premisa de la primera reunión concerniente a "la acción prioritaria en África pero sin olvidar a otras regiones" fue seguida igualmente en las reuniones siguientes, celebradas respectivamente en Ginebra (del 13 al 24 de septiembre de 1993), Nueva York (del 17 al 28 de enero de 1994), y en Ginebra (del 21 al 31 de marzo de 1994).

La quinta reunión tuvo lugar en París del 6 al 17 de junio de 1994, y en ella se aprobó el texto del Convenio así como cuatro Anexos de Aplicación Regional: Anexo I (África), Anexo II (Asia), Anexo III (América Latina y El Caribe) y Anexo IV (Mediterráneo Norte). El Convenio fue firmado oficialmente en Paris los días 14 y 15 de octubre de 1994.

El Convenio con sus 40 artículos y cuatro Anexos Regionales, se orienta fundamentalmente al objetivo global de *"combatir la desertificación y mitigar los efectos de la sequía"* y establece estrategias novedosas en la legislación internacional sobre el medioambiente. El primer principio de la Convención invita a la Partes a *"garantizar que las decisiones relativas a la elaboración y ejecución de programas ... se adopten con la participación de la población y de las comunidades locales y que, a niveles superiores, se cree un entorno propicio que facilite la adopción de medidas a los niveles nacional y local".*

El Convenio distingue claramente entre desertificación y sequía como dos procesos diferentes. Para el Convenio sequía significa: "los fenómenos naturales que se producen cuando la precipitación es significativamente inferior a los niveles históricos normales, causantes de serias desproporciones hidrológicas que afectan adversamente a los sistemas de producción de recursos de la tierra".

Un aspecto importante del Convenio se refiere al papel sin precedentes dado a los actores sociales (especialmente a las Organizaciones No Gubernamentales). El Convenio reconoce igualmente la importancia del sector privado en este aspecto.

En relación con los esfuerzos científicos y tecnológicos para luchar contra la desertificación, el Convenio enfatiza el modo en que las comunidades locales pueden hacer uso de los conocimientos científicos y contribuir a ellos. De una forma flexible, y potencialmente efectiva, revisa los mecanismos y las previsiones para asegurar la cooperación entre los distintos países y las organizaciones internacionales.

Por lo que respecta al Anexo para el Mediterráneo Norte (Anexo IV), y en su artículo 2 especifica las condiciones particulares de la región:

a) Condiciones climáticas semiáridas que afectan a grandes zonas, sequías estacionales, extrema variabilidad de las lluvias y lluvias súbitas de gran intensidad;

b) Suelos pobres con marcada tendencia a la erosión, propensos a la formación de cortezas superficiales;

c) Un relieve desigual, con laderas escarpadas y paisajes muy diversificados;

d) Grandes pérdidas de la cubierta forestal a causa de repetidos incendios de bosques;

e) Condiciones de crisis en la agricultura tradicional, con el consiguiente abandono de tierras y deterioro del suelo y de las estructuras de conservación del agua;

f) Explotación insostenible de los recursos hídricos, que es causa de graves daños ambientales, incluidos la contaminación química, la salinización y el agotamiento de los acuíferos; y

g) Concentración de la actividad económica en las zonas costeras como resultado del crecimiento urbano, las actividades industriales, el turismo y la agricultura de regadío.

El Anexo IV establece el plan general de actuación para la Cuenca Mediterránea. Un aspecto muy importante contenido en este Anexo es el compromiso de los países afectados por los procesos de desertificación a desarrollar su propio Plan Nacional de Lucha contra la Desertificación. Responsabilidad que en nuestro país corresponde inicialmente a la Dirección General de Conservación de la Naturaleza, del Ministerio de Medio Ambiente. El Anexo establece las líneas directrices para la preparación de las Programas de Acción Nacional, así como las medidas que deben incluirse en estos Programas. Otro aspecto importante del Anexo es la referencia a la coordinación de Programas de Acción Conjunta a nivel Subregional y Regional, y la coordinación con otras subregiones y regiones. Lo cual para el caso español establece el marco de posibles colaboraciones, especialmente con los países del Mediterráneo Sur y con los países afectados de Latinoamérica y el Caribe.

Recuadro 2: Resumen del Convenio

El texto del Convenio incluye 40 artículos distribuidos en 6 secciones:

- Introducción y Definiciones (Artículos 1-3)
- Obligaciones Generales de los Países Afectados, de los Países Desarrollados No Afectados, Prioridad para África y Relación con otros Convenios (Artículos 4-8)
- Programas de Acción, Cooperación Científica y Técnica y Medidas de Apoyo, incluyendo Recursos y Mecanismos Financieros (Artículos 9-21)
- Instituciones para el desarrollo del Convenio (Artículos 22-25)
- Procedimientos, Arreglo de Controversias, Rango Jurídico de los Anexos, Enmiendas al Convenio y Derecho de Voto (Artículos 26-32)
- Disposiciones Finales, Firma, Ratificación, Entrada en Vigor y Denuncia (Artículos 33-40).

Hay cuatro Anexos de Aplicación Regional, de diferente extensión y complejidad: África, Asia, Latinoamérica, y el Mediterráneo Norte; a los que recientemente se añadió un quinto Anexo para los países del Centro y Este de Europa.

El Convenio otorga especial atención a África, y contiene una Resolución de Acciones Urgentes para África, acordada en junio de 1994.

Entre las medidas propuestas por el Convenio, se encuentran las siguientes:

- Los países deben diseminar la información recogida en el Convenio y promover el conocimiento público de las acciones que en él se proponen.

- Los gobiernos de los países afectados deben redactar sus Programas de Acción Nacional para Combatir la Desertificación.
- Los países desarrollados deben apoyar la preparación de los Programas de Acción Nacional y ayudar a ejecutar las medidas específicas identificadas en los programas nacionales.

La Secretaría del Convenio es una entidad independiente con sede en Bonn (Alemania) encargada, entre otras tareas, de la organización de reuniones internacionales, de la recopilación y diseminación de información, y de facilitar acciones urgentes para África.

La Conferencia de las Partes (COP) es el máximo órgano decisorio del Convenio. La COP ha establecido también un Comité de Ciencia y Tecnología compuesto por representantes gubernamentales competentes en los distintos campos relevantes para la desertificación. La COP cuenta con un panel de expertos independientes, a quienes se consulta para trabajar sobre temas específicos.

La desertificación en el Mediterráneo Europeo

La región del Mediterráneo Norte constituye un complejo mosaico de variados paisajes. Una gran parte de la región es semiárida y está sometida a sequías estacionales, gran variabilidad de la pluviosidad o súbitos e intensos aguaceros. Se caracteriza por la explotación continuada de su territorio desde hace más de 8.000 años, por su elevada densidad de población, por la producción agrícola intensiva, por sus grandes concentraciones industriales, por ser un importante destino turístico, etc. (CCD, Fl 14, 1999). A todo ello habría que añadir la terrible escalada de incendios forestales que en el período de 1976 a 1999, y en el caso concreto de la Comunidad Valenciana, arrasó dos tercios de su superficie forestal.

La degradación de la tierra en el Mediterráneo con frecuencia se relaciona con prácticas agrícolas inadecuadas o utilización de zonas marginales en principio poco aptas para la agricultura. En estas condiciones el terreno se erosiona, pierde niveles de materia orgánica, se saliniza y paulatinamente disminuye su capacidad productiva como respuesta a esta combinación de riesgos naturales –sequías, inundaciones, incendios forestales– y de las citadas actividades humanas. Viene a agravar la situación los cambios socio-económicos y la situación de crisis y abandono que en estos últimos años ha atravesado la agricultura tradicional, con las consiguientes migraciones de las zonas rurales a las urbanas (Rubio y Calvo, 1996).

El excesivo uso de plaguicidas, fertilizantes, los regadíos mal planificados y la contaminación industrial y urbana están minando a largo plazo la salud de los suelos de la región. El espectacular y mantenido crecimiento de las actividades económicas a lo largo de la costa mediterránea, como la industria del ocio, el turismo, la agricultura intensiva y otras actividades industriales están imponiendo inusitadas tensiones a estas zonas, sobre todo en cuanto al régimen hídrico que está acentuando los riesgos de salinización.

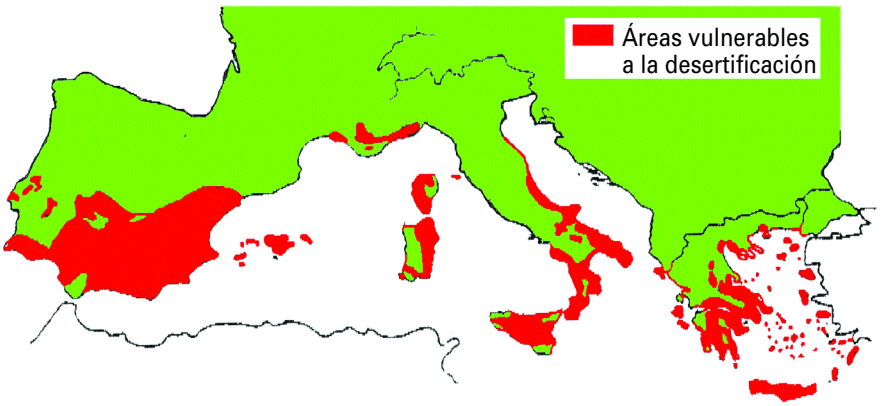
La tierra se considera desertificada cuando sufre un declive extremo en la producción de biomasa. Esta producción de biomasa puede cesar bajo tres principales restricciones (Yassoglou, 2000): incapacidad del suelo para proporcionar el necesario espacio físico para el desarrollo radicular; incapacidad para proveer nutrientes a las plantas e incapacidad para proporcionar el agua necesaria para el funcionamiento biológico del suelo. El suelo, en un área desertificada, pierde virtualmente sus funciones y capacidades necesarias para actuar satisfactoriamente en el conjunto de la biosfera. Los atributos del suelo que implican riesgo de desertificación son:

- Grave situación de erosión
- Escasa profundidad del suelo
- Baja tasa de infiltración de agua
- Baja conductividad del agua
- Estructura débil
- Baja capacidad de retención de agua
- Baja fertilidad
- Alta conductividad eléctrica
- Horizonte petrocálcico a escasa profundidad.

Estas propiedades se pueden agrupar en tres estados principales de degradación del suelo que conducen a la desertificación de la tierra en la Europa Mediterránea: reducción severa del volumen de suelo disponible para el crecimiento de las raíces, salinidad, y encostramiento superficial o compactación.

Interacciones entre cambio climático y desertificación

Los riesgos de desertificación en las zonas más áridas del planeta, incluyendo la cuenca del Mediterráneo (Rubio y Rickson, 1990) y la comprobada tendencia de calentamiento global de la Tierra son procesos a gran escala, con mecanismos de retroalimentación y de interacción de importantes e impredecibles consecuencias.



Distribución geográfica de las áreas vulnerables a la desertificación en la Europa Mediterránea (Yassoglou, 1997).

La previsión de la evolución de los principales parámetros climáticos, tanto a escala regional como a escala global, todavía no es consistente, a pesar del enorme esfuerzo tecnológico y científico de prospectiva que se está realizando en los centros más prestigiosos del mundo, y utilizando además las tecnologías más sofisticadas actualmente disponibles, tal como se discute en otros capítulos de este libro.

Existen lo que podríamos denominar "hechos" que son datos cuantificados y reiteradamente comprobados, que nos muestran que durante este siglo, como promedio, la tierra ha aumentado su temperatura global en aproximadamente 0'6 ºC. Otros hechos comprobados son el aumento en la concentración del anhídrido carbónico (CO_2) en la atmósfera que, por ejemplo, desde 1950 hasta la fecha ha pasado de unas 316 ppm (partes por millón) a unas 370 ppm, y que mantienen además una clara tendencia a aumentar. El anhídrido carbónico es uno de los gases con mayor capacidad de efecto invernadero, pero asimismo, también ha aumentado la concentración de otros gases y compuestos como el metano, óxidos de nitrógeno y aerosoles, que también contribuyen a la tendencia a una mayor temperatura de la Tierra.

A partir de estos hechos se derivan importantes consecuencias. Una de ellas, quizás la más grave, sería la posibilidad de que además de activar una tendencia de calentamiento global, estemos afectando y alterando los sistemas de regulación climática del planeta. Estos mecanismos de regulación son los que básicamente hacen posible la vida en la Tierra. Es decir, son los sistemas y mecanismos naturales que entre otras funciones: originan una exacta y precisa concentración de gases en la atmósfera que permiten la respiración de los seres vivos; permiten que exista un ajustado equilibrio entre las radiaciones procedentes del espacio exterior, las reflejadas por la superficie terrestre y las amortiguadas por la atmósfera; que se mantenga un estrecho rango de temperaturas y sus oscilaciones naturales que posibiliten el desarrollo y funcionamiento de los actuales procesos biológicos, etc.

En este contexto de predicciones y de análisis de posibles consecuencias existe cierto confusionismo, numerosas imprecisiones y también incertidumbres científicas. Sin embargo es evidente que las consecuencias de la posible alteración de los mecanismos de regulación climática del planeta Tierra serían, cuanto menos, muy graves y además de evolución impredecible. La existencia de estos posibles riesgos y amenazas imponen un serio ejercicio de reflexión, prospectiva científica y de adopción de medidas, sobre todo en los países industrializados y en los teóricamente más afectados por el incremento de temperaturas (como p. ej. el Mediterráneo).

Manteniéndonos en el terreno de las predicciones, para la cuenca mediterránea existe un cierto consenso entre los modelizadores de cambios climáticos que apuntan hacia un incremento de la temperatura promedio anual que se situaría entre 1 y 5,8 ºC (últimamente, estas precisiones se han corregido al alza) una reducción de la precipitación, un aumento de fenómenos climáticos extremos como lluvias torrenciales y fuertes vientos, una mayor incidencia de períodos de sequía, y una reducción generalizada de las reservas de humedad del suelo.

El estudio del suelo y su dinámica durante largas series de períodos de sequía y oscilaciones climáticas del pasado, nos indica que las predicciones del posible cambio climático en los países mediterráneos implicaría a una tendencia general de aridificación de nuestro territorio. Las posibles consecuencias negativas podrían ser: incrementos en los procesos erosivos, incremento en la frecuencia y extensión de los incendios forestales, aumento en la evapotranspiración, y consecuentemente incremento en la salinización del suelo, entre otros procesos. Lo anterior conlleva un evidente aumento en los riesgos de desertificación, ya de por sí importantes en el área mediterránea.

Una disminución en el potencial del sistema suelo como soporte de muy diversas funciones biológicas conllevaría a procesos de readaptación (fisiológicos y de conducta) a las nuevas circunstancias y también de pérdida de biodiversidad, al situarnos en medios con parámetros físicos, químicos y biológicos alterados. La regulación del suministro y reserva de agua, el aporte de nutrientes y la degradación estructural serían algunas de las circunstancias

edáficas que incidirían en los niveles de riqueza en biodiversidad. Esta se vería afectada por la disminución del número y diversidad de las especies, dificultades en la nascencia y germinación, reducción en la autocolonización, etc.

Si disponemos de información sobre el incremento de riesgo de degradación del territorio como consecuencia de un posible cambio climático, el proceso inverso, es decir, las implicaciones de las zonas degradadas en cuanto a acelerar la tendencia al calentamiento, es un tema mucho menos conocido, pero no por ello menos importante y con múltiples consecuencias todavía no bien evaluadas.

En las zonas degradadas/desertificadas se produce una cierta distorsión del equilibrio de flujos de energía y compuestos en esa interfase (atmósfera/edafosfera) de la superficie terrestre que constituye el suelo, y que tiene lugar en ambas direcciones. Uno de los efectos que pueden originarse es el aumento de la reflexión de las radiaciones solares (aumento de albedo), que conlleva, en algunas situaciones, a la reducción de las precipitaciones convectivas. Otro efecto es el aumento del rango de oscilaciones diarias y estacionales de las temperaturas en la superficie del suelo, lo que origina dificultades en la capacidad de regeneración de la cobertura vegetal por mayor stress térmico. La disminución de la vegetación en las zonas degradadas limita el aporte de las llamadas precipitaciones horizontales al reducirse las superficies de condensación (rocío, neblinas, etc.)

Existen otras numerosas funciones y procesos que influyen al menos en los parámetros microclimáticos de las zonas con suelo degradado, y que inciden en la tendencia de cambio climático. Entre ellos es importante destacar una de ellas y es la que se refiere al papel del suelo como regulador del ciclo de numerosos gases con efecto invernadero, entre otros el CO_2.

El suelo es un depósito natural de cantidades ingentes de carbono orgánico. Se estima en unos 55 billones de toneladas el carbono orgánico acumulado en el conjunto de los suelos terrestres. Comparativamente, se estima en unos 5-6 billones de toneladas la combustión anual de carbono por distintos procesos industriales, transporte, calefacción, etc.

Estas cifras hablan por sí solas y destacan el papel del suelo como emisor y fijador (sumidero) de uno de los gases con mayor efecto en el proceso de calentamiento global. Por otra parte, si en condiciones normales el sistema suelo actúa regulando y amortiguando el ciclo del carbono, cuando el suelo se degrada el equilibrio se altera y se propicia la emisión a la atmósfera de cantidades que a nivel global se estiman en más de la mitad del carbono emitido por la actividad de los países industrializados anualmente.

La degradación del suelo y la pérdida de carbono se produce a través de numerosos procesos de desertificación que incluyen, entre otros: prácticas agrícolas inadecuadas (exceso de quema de rastrojos, laboreo excesivo) forestales (rozas, eliminación del matorral, incendios), erosión del suelo (por ejemplo en la agricultura de secano abandonada), obras públicas mal planificadas, inadecuada ordenación del territorio, etc.

La disminución en materia orgánica del suelo puede incrementar la vulnerabilidad del suelo a la erosión, a los procesos de encostramientos y compactaciones y a otros procesos degradativos. Por otra parte, los incrementos en las ya de por sí elevadas tasas de evapotranspiración modificarían la dinámica de sales en el perfil del suelo, incrementando los riesgos de salinización.

Lo anterior pone de relieve la estrecha interconexión entre los factores climáticos, los procesos de desertificación y la diversidad biológica, al menos en las zonas áridas, semiáridas y seco-subhúmedas del Planeta que obliga a planteamientos globales e integrados.

Para finalizar podríamos destacar, entre otras conclusiones, las siguientes:

- El suelo es un factor crucial en los sistemas de regulación climática de la tierra y, de la calidad y diversidad biológica.
- Los procesos de desertificación (degradación de la tierra) afectan directamente a importantes factores de los sistemas de regulación climática.
- La tendencia de cambio climático no puede ser mitigada con efectividad sin llevar a cabo una adecuada estrategia global de mantenimiento de la biodiversidad y de uso adecuado de los recursos edáficos.

Bibliografía

Aubreville, A. (1949) Climats, forêts et désertification de l'Afrique tropicale. Soc. de Editions Géografiques Maritimes et Coloniales. Paris, 225 p.

Carter, V.G.; Dale, T. (1955) Topsoil and civilization. Univ. Oklahoma Press.

Convenio de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación en los Países Afectados por Sequía Grave o Desertificación, en particular en África. Secretaría de la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación. (1999) http://www.unccd.de

CCD- FI 14 (1999) Convenio de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación en los Países Afectados por Sequía Grave o Desertificación, en particular en África. Secretaría de la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación. Ficha Informativa 14.

Fantechi, R.; Peter, D.; Balabanis, P.; Rubio, J.L. (1995) Desertification in a European context: Physical and socio-economic aspects. Proceedings of the European School of Climatology and Natural Hazards Course, held in El Campello, Pueblo Acantilado, Alicante, Spain, from 6 to 13 October 1993. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, EUR 15415 EN.

UNCED (1992) Earth Summit 92. The UN Conference on Environment and Development. UNCED, Rio de Janeiro.

Rubio, J.L, and Rickson, R:J (1990) Strategies to Combat Desertification in Mediterranean Europe, CEE, Luxemburgo.

Rubio, J.L., Calvo, A. (Eds.) (1996) Soil degradation and desertification in Mediterranean environments. Logroño: Geoforma Ediciones.

UNEP (1990) Desertification revisited. UNEP, Nairobi.

Yassoglou,N,J (1997) Semi-natural environments and processes. Soil: Mediterranean soil types in a desertification context. In: Mairota, P.Thornes, JB Geeson, N (Eds), Atlas of Mediterranean Environments in Europe: The Desertification context from MEDALUS.

Yassoglou, N. (2000) Soil Degradation and Desertification. En: Rubio et al, (Eds.), Key Notes of the Third International Congress of the European Society for Soil Conservation "Man and Soil at the Third Millennium". Valencia 28 de marzo- 1 de abril, pp: 133-144.

Cambio Climático y Procesos de Retroalimentación en la Cuenca Mediterránea

MILLÁN M. MILLÁN, *Dr. Ing. Ind., Ph. D.*
Director Ejecutivo de la Fundación CEAM
Miembro del Grupo Asesor del 6º Programa Marco de la Comisión Europea
Área "Global Change and Ecosystems"

Antecedentes

La referencia actual sobre el Cambio Climático es el Tercer Informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) de las Naciones Unidas conocido como el **TAR** (Third Assessment Report on "Climate Change 2001", IPCC 2001). Dicho informe presenta el estado de conocimientos sobre el Clima y los posibles escenarios de evolución futuros, a fecha aproximada de finales de 1999. La información sobre los posibles efectos del Cambio Climático en la Cuenca Mediterránea, y en la Comunidad Valenciana en particular, es la que se refiere a los climas regionales, y el TAR menciona:

- *"Los eventos extremos son actualmente una de las fuentes principales de impactos climáticos, y es previsible que se hagan más frecuentes e intensos con el calentamiento global".*
- *"El cambio climático previsto agravará los déficits de agua en muchos países con déficit hídrico, haciendo más vulnerables los sistemas hídricos ....".*
- *"El cambio climático previsto exageraría la falta de agua en muchos países con déficits actuales pero puede aliviar los problemas en otros. Se prevé que el cambio climático reducirá el agua superficial en muchas áreas del mundo con déficit hídrico (p.ej. Asia central, África del Sur, y los países europeos y africanos que rodean el Mediterráneo)".*

Adicionalmente, el TAR alerta sobre áreas en las que el estado de conocimiento sigue siendo muy limitado para poder llegar a conclusiones válidas sobre la evolución del clima. En

particular, se menciona la falta de conocimientos sobre los procesos a escalas local-regional y los posibles mecanismos de retro-alimentación, en ambos sentidos, entre los procesos a escalas local, regional y global. En varios capítulos, se menciona explícitamente que los modelos globales fallan a escala regional y, por tanto, que algunas de las conclusiones anteriores, p.ej., respecto a los efectos esperados en el Mediterráneo, pueden ser lógicas, pero imprecisas, y se pueden mencionar las reservas siguientes:

- *"Hay insuficiente información sobre cómo pueden cambiar los fenómenos a pequeña escala. Los fenómenos de pequeña escala, como tormentas, tornados, granizo y rayos no son simulados en los modelos globales".*
- *"Hay una falta de detalles fiables sobre las predicciones de precipitaciones y de eventos extremos (a escalas) locales y regionales"*
- *"Hay poco acuerdo entre los (resultados de los) modelos respecto a los futuros cambios en la intensidad de tormentas en las latitudes medias, su frecuencia y su variabilidad, y no hay información suficiente sobre los procesos meteorológicos a pequeña escala para hacer predicciones fiables."*

Aunque el IPCC compila y filtra científicamente los trabajos científicos sobre el Cambio Climático, señalando los huecos más importantes, no financia la investigación que genera dichos trabajos. Sin embargo, la Comisión Europea sí financia programas de investigación para sustentar los compromisos internacionales de la UE, y con fin pre-normativo (elaboración de directivas). Por ello, dentro de las áreas problemáticas identificadas tiende a seleccionar temas que puedan afectar tanto la futura legislación europea, como otras iniciativas, por ejemplo, el Ciclo Integral del Agua.

Introducción

Los conocimientos sobre procesos atmosféricos y meteorología en la cuenca mediterránea ha mejorado gracias a los resultados obtenidos en varias campañas de medida y proyectos de investigación de la Comisión Europea[1] iniciados en el año 1974. Y, en 1994 el Jefe de la Unidad de Medio Ambiente y Clima (DG XII de la CE), Dr. Heinrich Ott, le pidió al autor que utilizase los conocimientos disponibles para evaluar las informaciones sobre una aparente pérdida de precipitaciones estivales en las montañas que rodean la cuenca mediterránea, en las áreas continentales de España, Francia, Italia y Grecia, e islas como Cerdeña y Sicilia.

La presentación que sigue muestra como la información sobre una aparente disminución de tormentas en la Cuenca Mediterránea Occidental, ha servido como hilo conductor de una investigación que ha llevado a: (1) desarrollar nuevos métodos para desagregar los componentes de la precipitación en el contexto de la meteorología mediterránea, (2) elaborar hipótesis sobre las causas de los efectos observados y (3) proponer líneas de investigación,

1 Seis Campaigns for the Remote Sensing of Air Pollution (1975, 1976, 1977, 1978, 1979, 1983), y los Proyectos: **MECAPIP**: Mesometeorological Cycles of Air Pollution in the Iberian Peninsula (1988-1991). **RECAPMA**: REgional Cycles of Air Pollutants in the Western Mediterranean Area (1990-1992). **SECAP**: South European Cycles of Air Pollution (1992-1995). **BEMA**: Biogenic Emissions in the Mediterranean Area (Phase I, 1993-1995, Phase II 1996-1998). **T-TRAPEM**: Transport and TRansformation of Air Pollutants on East Mediterranean (1992-1995), **MEDEFLU**: Carbon and Water Fluxes of MEDiterranEan Forest and Impacts of Land Use/Cover Changes (1998-2000), **RECAB**: REgional Assessment and Modelling of the CArbon Balance within Europe (2000-2003), **ADIOS**: Atmospheric Deposition and Impact of pollutants, key elements and nutrients on the Open Mediterranean Sea (2000-2003), **CARBOMONT**: Effects of Land Use Changes on Sources, Sinks and Fluxes of CARBOn in European MOuNTain Areas (2001-2004).

que han sido incorporadas en el 6º Programa Marco de Investigación de la CE. El texto sigue el esquema simplificado de la presentación oral, y los detalles pueden encontrarse en las referencias señaladas.

La Evidencia Experimental I: Entorno y Precipitaciones

- La cuenca mediterránea occidental consiste en un mar profundo rodeado de altas montañas (de 1800 a más de 2000 m) en las latitudes sub-tropicales.
- El tipo de cubierta vegetal varía desde bosques densos en algunas partes de Francia e Italia, a lo largo de los Apeninos, a tipos semi-árido en España y casi desértico en el norte de África.
- En verano las depresiones atlánticas y sus sistemas frontales se desplazan por el norte de esta región, que tiende a quedar aislada de sus efectos.
- En los proyectos europeos que han tenido lugar en los últimos 30 años (1974-2004) se ha recogido información sobre una pérdida de tormentas de verano en la cuenca mediterránea.

La búsqueda de una explicación se ha iniciado analizando los registros de precipitación diaria de 497 estaciones en Comunidad Valenciana y áreas colindantes (véase la figura 1).

- La serie promedio de toda la zona, del 1950 al 2000, muestra una ligera tendencia a disminuir.

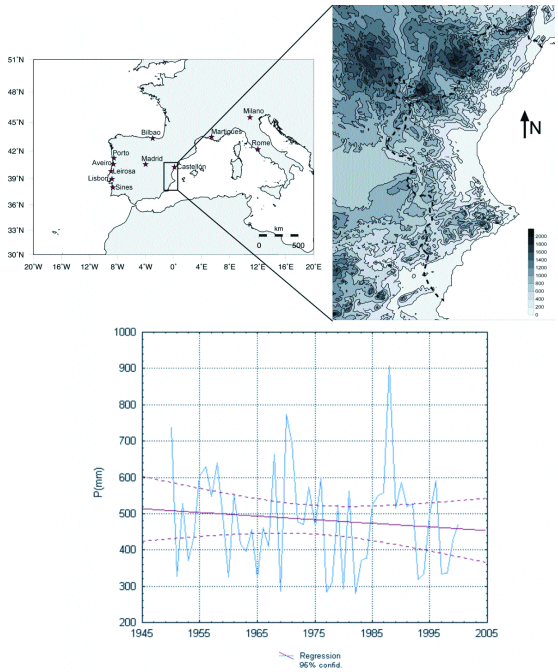


Figura 1. Situación del área de estudio con referencia a Europa y Cuenca Mediterránea y promedio espacial de las precipitaciones de la Región Valenciana de 1950 a 2001. Las estrellas señalan los puntos donde se hicieron sondeos sondeos meteorológicos simultáneos durante las campañas de medida (Millán et al. 2005a).

- La media móvil de 5 años también sugiere que la profundidad de los ciclos ha aumentado.
- Sin embargo, se detectan importantes diferencias cuando las medias móviles se calculan para las estaciones del interior y las de la costa (véase la figura 2).
- En las estaciones del interior la tendencia de la precipitación es a disminuir.
- En las estaciones costeras la tendencia y la profundidad de los ciclos aumentan (Millán et al., 2005a).

Adicionalmente, la serie de las precipitaciones diarias ha sido desagregada en función de las situaciones sinópticas que las originan. Sin embargo, la distribución pública de mapas sinópticos en España se inició en 1959, y las series desagregadas se han limitado al período 1959 - 2000. Los resultados muestran lo siguiente (véase la figura 3):

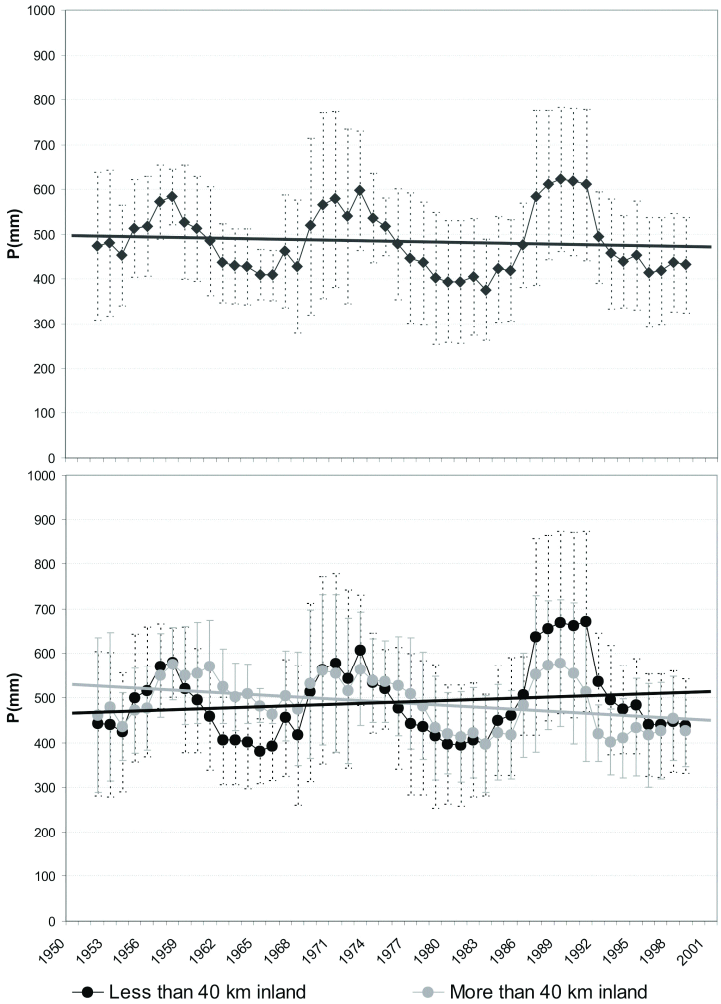


Figura 2. Media móvil de 5 años de la serie promedio espacial de la Región Valenciana durante el período 1950-2001, y lo mismo para las estaciones situadas a < 40 km, y a ≥ 40 km de la costa (Millán et al. 2005a).

- Actualmente los frentes atlánticos contribuyen ≈ un 20% de la precipitación total en la Comunidad Valenciana. Esta contribución tiende a disminuir en ambas sub-áreas, aunque más en el interior.
- Las tormentas de verano contribuyen ≈ un 11% del total, y su contribución muestra una tendencia a disminuir sobre toda la región.
- Los frentes (fríos) de retroceso (temporales de Levante) contribuyen ≈ un 65% del total. Este componente no ha cambiado esencialmente sobre las áreas del interior pero muestra una tendencia creciente sobre la franja costera.
- Los eventos torrenciales muestran una clara tendencia a aumentar en la primera mitad del año (Millán et al. 2005b).

Los preguntas adicionales derivadas de este análisis son:

1. La pregunta inicial: ¿Por qué parecen disminuir las tormentas de verano? Y, adicionalmente:

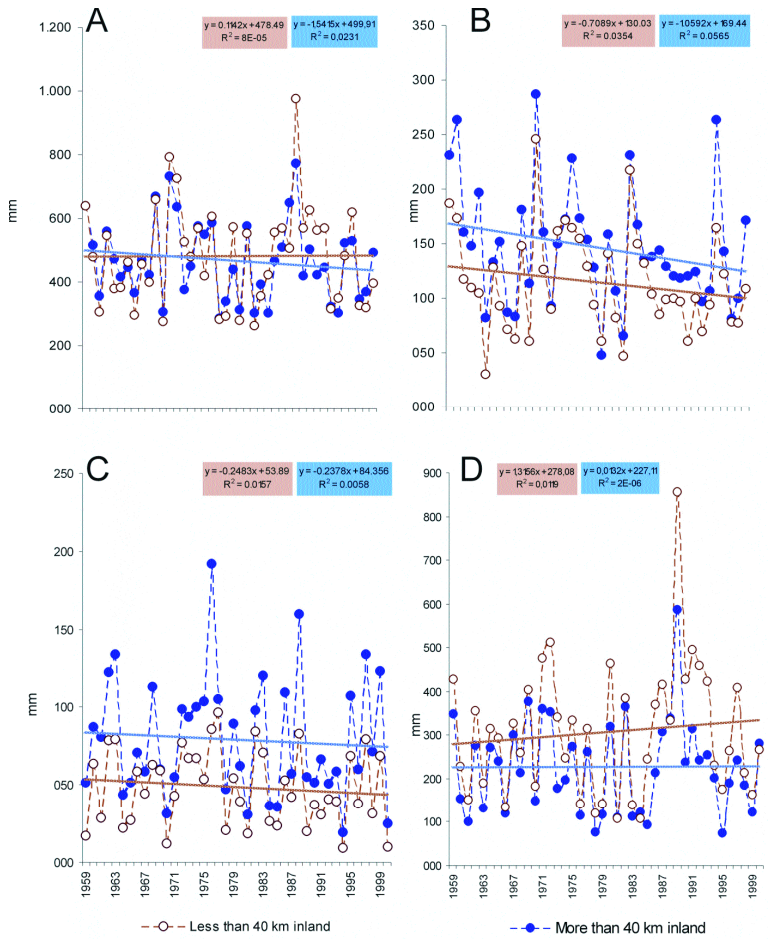


Figura 3. Series temporales de los promedios espaciales de la precipitación para las estaciones situadas a < 40 km, y a ≥ 40 km de la costa. (a) Serie total, y series desagregadas: (b) Precipitación de sistemas atlánticos, (c) Tormentas de verano, y (d) Temporales de Levante (Millán et al. 2005a).

2. ¿Por qué disminuyen las precipitaciones frontales?
3. ¿Por qué aumentan las lluvias torrenciales en general?, y
4. ¿Por qué aumentan los eventos torrenciales en primavera?

La evidencia experimental II: Resultados de Proyectos Europeos

- En verano, en la cuenca mediterránea occidental, la brisa de mar y los vientos de ladera se unen y crean una "brisa combinada".
- En el frente de la "brisa combinada" los flujos de retorno se producen a una altura que aumenta con la distancia penetrada.
- Las laderas actúan como "chimeneas orográficas" que conectan los vientos en superficie directamente con sus retornos en altura.
- Los flujos de retorno, bajo el efecto de la subsidencia compensatoria, crean una serie de capas estratificadas sobre el mar (véase la figura 4).

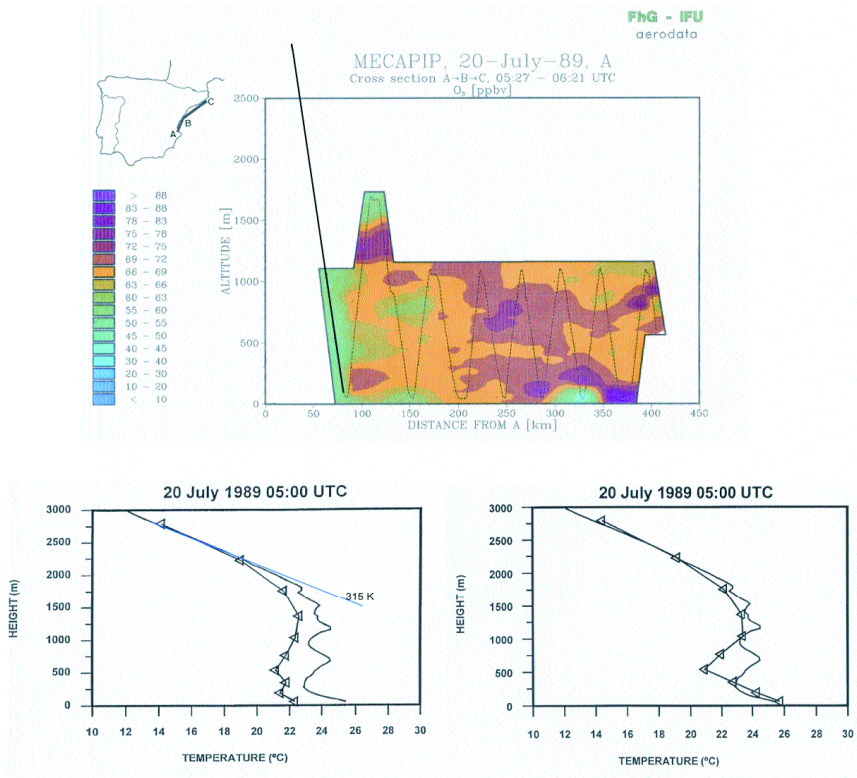


Figura 4. Distribución vertical de Ozono a lo largo de 450 km de la costa mediterránea española a las 05:27-06:21 UTC, del 20 de julio de 1989, mostrando los estratos resultantes de las recirculaciones de los días anteriores. El avión hizo un vuelo en "diente de sierra" sobre el mar a lo largo de la ruta A-B-C (indicada en la izquierda) a distancias de 40 a 60 km de la costa. La temperatura potencial en el estrato entre ≈ 2100 m y 3000m snm es ≈ 315° K, en vez de los 299° K de la masa de aire sobre el mar. (b) perfiles de temperatura medidos y simulados (Δ) a lo largo de la pata # 1 del vuelo (resaltada en la figura) utilizando el promedio mensual de las temperaturas del mar Mediterráneo y (c) lo mismo utilizando la temperatura obtenida con datos del satélite NOAA el mismo día de las medidas (Millán et al. 2005a).

- Finalmente, la brisa del día siguiente transporta hacia tierra las capas más bajas, y los estratos se hunden, mientras los flujos de retorno reponen nuevas capas en altura.
- Experimentos con trazadores en Castellón han mostrado que, en esta recirculación vertical, los tiempos de retorno son de dos a tres días (Millán et al. 1996).

En la península Ibérica las chimeneas orográficas en los frentes de las "brisas" se auto-organizan en líneas de convergencia a lo largo de las cadenas montañosas, con subsidencias compensatorias generalizadas sobre el mar y algunas llanuras interiores. El conjunto de estas circulaciones conforma la llamada "Baja Térmica Ibérica" (Millán et al. 2000).

- Finalmente, todas las brisas combinadas a lo largo de las costas de la cuenca occidental se auto-organizan a escala regional.
- Así, mientras los vientos en superficie alimentan las brisas combinadas, los flujos de retorno, entre 2500 m y 3500 m de altura, regresan hacia el centro de la cuenca, y se hunden, para mantener la continuidad.
- De este modo la cuenca mediterránea occidental termina comportándose como un cuenco (irregular) en el que el aire hierve desde los bordes hacia el centro (Millán et al. 1997; Millán et al. 2002).

La Evidencia Modelística y Experimental

- En verano las masas de aire adquieren largos tiempos de residencia (i.e., ≈ 7 a 10 días para renovar el 80% de la masa aérea situada por debajo de aproximadamente unos 3500 m) (Gangoiti et al. 2001).
- Las masas de aire recirculantes acumulan contaminantes y adquieren memoria de sus interacciones con la superficie (fundamentalmente, intercambios de calor y humedad).
- Cuando las circulaciones están plenamente desarrolladas, la subsidencia compensatoria en toda la cuenca confina la profundidad de las brisas de mar entre ≈ 150 m y 300 m de altura a lo largo de su recorrido desde la costa hasta las chimeneas orográficas del interior.
- Como resultado, el flujo superficial de la brisa no tiene intercambios con los estratos superiores, y sus intercambios laterales son con masas aéreas de características similares.
- Se puede suponer: que la masa de aire superficial mantiene su integridad a lo largo de su recorrido hasta la chimenea orográfica, y
- Que sus únicos intercambios de energía y humedad son con la superficie, y esto,
- Nos permite evaluar (modelizar) los posibles efectos utilizando simples diagramas aerológicos (Millán et al. 2005a).

La Evidencia Experimental III: Intercambios Superficiales de Calor y Vapor de Agua

Como muestra la figura 4, la temperatura media de la masa de aire que parte de la costa es de 26° C (299° K) y la de los flujos de retorno es de 315° K. Por tanto:

- Durante el desarrollo de la "brisa combinada" la masa de aire superficial gana aproximadamente 16° K.

- Con una temperatura de partida de 26° C y un punto de rocío promedio de 19° C, la figura 5 indica que el Nivel de Condensación (NC) ocurriría a unos 800 m de altitud.
- Sin embargo, si el aire en la brisa gana 16° K a lo largo de su recorrido, su NC asciende hasta unos 2740 m.
- Y, si no hay un aporte de humedad adicional, las tormentas no se disparan cuando el NC queda muy por encima de las montañas costeras.

Por otra parte, la figura 5 muestra que:

- La evaporación y la evapotranspiración a lo largo del recorrido de la brisa, añaden vapor de agua al aire marino que aumenta la humedad absoluta y sube el punto de rocío.
- El NC desciende y, cuando queda por debajo de las cimas, se favorece la formación de nubes, y la precipitación.
- Por este mecanismo las tormentas se disparan en el frente de la brisa, apoyándose en las chimeneas orográficas.
- Si llueve, el sistema puede recuperar más agua que la evaporada por la vegetación.
- Sin embargo, si no se alcanza el nivel de condensación, la tormenta no madura y el vapor de agua que aporta la vegetación regresa hacia el mar con los flujos de retorno en altura (entre los 2500 y 3500 m).
- Forma estratos junto con los contaminantes emitidos en la costa, participa en las re-circulaciones costeras, y adquiere los mismos largos tiempos de residencia que los contaminantes.
- Adicionalmente, actúa como gas de efecto invernadero (es aproximadamente 47 veces más importante que el CO_2), junto con los contaminantes fotoquímicos (el O_3 es aproximadamente 200 veces más importante) y los aerosoles.

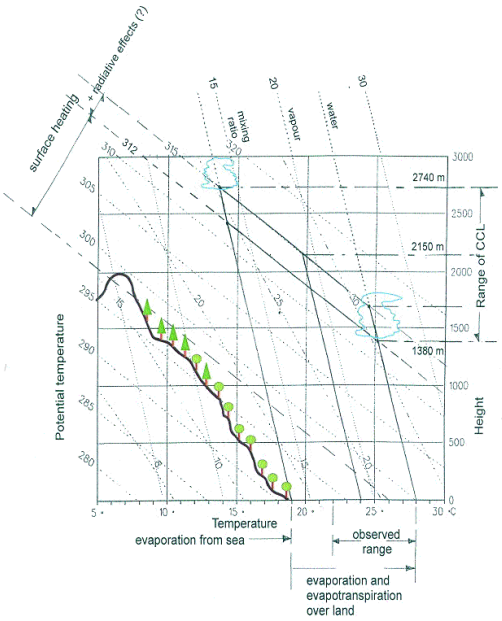


Figura 5. Emagrama que muestra los posibles niveles de formación de nube para las condiciones y procesos observados en la región (Millán et al. 2005a).

- Durante el verano estos procesos ayudan a recalentar la superficie terrestre (ciclo rápido, diurno) y la del mar (ciclo acumulativo y lento, meses).

Como muestran las imágenes de la figura 6,

- Los embolsamientos de agua caliente evolucionan,
- Se mueven de forma permanente, y
- Se re-distribuyen dentro de la cuenca mediterránea occidental,
- Por otra parte, ciclogénesis explosiva (llamada Gotas Frías) ocurre cuando aire continental frío pasa sobre el agua más caliente del Mediterráneo,
- Este proceso tiende a iniciarse a finales de verano,
- Alcanza(ba) su máximo en otoño, y solía terminar en invierno,
- Sin embargo, cada vez ocurre de forma más frecuente en primavera (Millán et al. 1995; Pastor et al. 2001).

Dependiendo de la posición de las bolsas de agua caliente, de las trayectorias de las masas de aire continental, y de los mecanismos de disparo, las lluvias torrenciales pueden afectar cualquier punto de la cuenca; por tanto:

- A través del calentamiento adicional de la superficie del mar, y el movimiento de los embolsamientos de agua caliente dentro de la cuenca,
- Las perturbaciones del ciclo hidrológico en una parte de la cuenca pueden propagarse y terminar afectando otras partes de la misma.

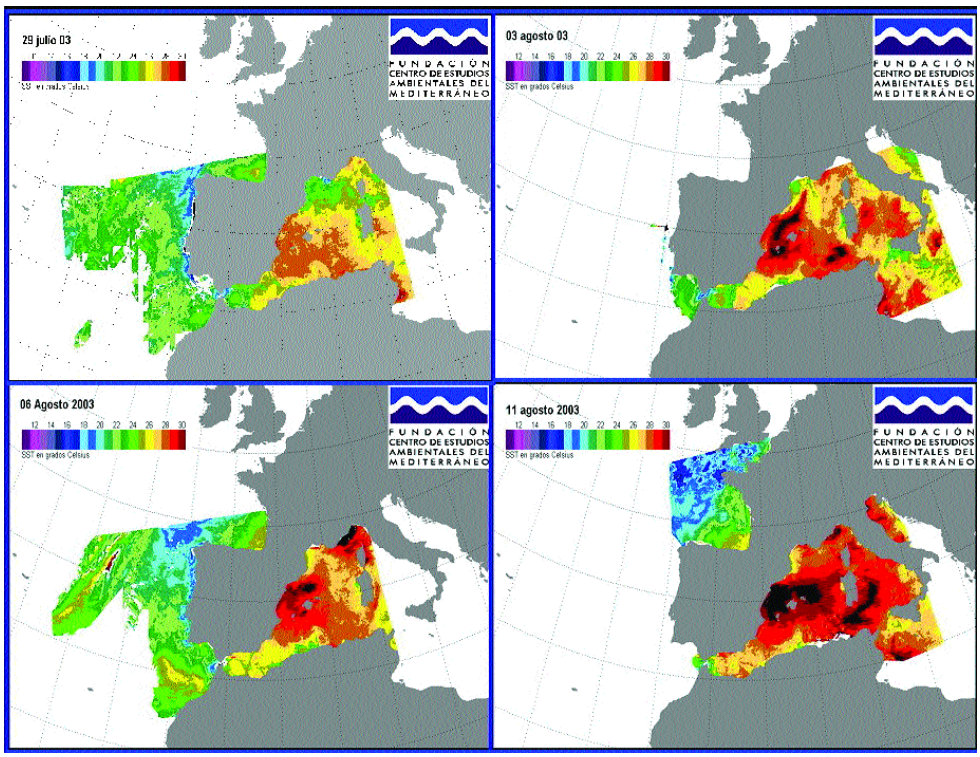


Figura 6. Secuencia de temperaturas de la superficie del mar mostrando la evolución de los embolsamientos de agua caliente durante el período 29 de julio a 11 de agosto de 2003.

Efectos de la Contaminación Atmosférica

Bajo la intensa insolación de verano, las recirculaciones verticales de la cuenca occidental se convierten en grandes reactores fotoquímicos naturales donde las emisiones costeras de NO_x y otros precursores se transforman en foto-oxidantes, compuestos ácidos y Ozono. Los datos de O_3 muestran que la región sufre concentraciones medias diarias en el rango de 125-160 mg/m^3 casi todos los días de verano desde mayo a agosto (Millán et al. 2000; Millán et al. 2002), con promedios del orden de 140 mg/m^3 en los primeros 3500 m.

Datos de la NASA (Fishman et al. 1990) dan valores troposféricos integrados del O_3 sobre el Mediterráneo occidental del orden de 50 to 55 Unidades Dobson durante junio-agosto, equivalentes a una media de 125 a 150 mg/m^3 en una columna de 8000 m de altitud. Finalmente la modelización de las concentraciones de O_3 superficial (Bastrup-Birk et al. 1997; Lelieveld and Dentener 2000) dan valores medios comparables (120 to 140 mg/m^3), lo que sitúa los datos y las simulaciones dentro del mismo rango.

El Ozono observado está siempre acompañado de aerosoles y las preguntas fundamentales son: si los aerosoles reflejan radiación solar y causan enfriamiento (Lelieveld et al. 2002), o si, como en el caso del efecto de las estelas de los aviones (Travis el al. 2002), el efecto radiativo combinado de aerosoles mezclados con gases de efecto invernadero, incluyendo el vapor de agua que retorna sin precipitarse, es producir un calentamiento adicional.

Una estimación del efecto total de los efectos radiativos en la cuenca occidental se puede obtener comparando los perfiles de temperatura obtenidos con modelización mesometeorológica de alta resolución, con los perfiles de temperatura medidos con aviones instrumentados, como muestra la figura 4. Las dos simulaciones hechas con el modelo RAMS (referencia) muestran que los resultados del modelo, y las medidas, coinciden en la parte superior de los sondeos pero señalan diferencias de hasta 2°- 3° K en los 1500 m más cercanos a la superficie, siendo las diferencias marcadas en los estratos en los que se encuentra el O_3 con los aerosoles y el vapor de agua.

Dado que la temperatura en los flujos de retorno es del orden de 315° K, podemos suponer que la línea de 312° K se corresponde con el calentamiento de la superficie, y que los otros 1°- 3° K restantes son el resultados del posible efecto invernadero de los contaminantes (Ozono, aerosoles y el vapor de agua). Si estos efectos se confirman, podemos suponer que el efecto del aumento de la contaminación atmosférica en esta región ha sido calentar adicionalmente los estratos superficiales, elevando el nivel de formación de nube entre 100 y 300 m. Y, elevando ese nivel disminuye la posibilidad de que las tormentas maduren.

Conclusiones y Situación Actual

De este trabajo se deduce que las posibles causas de las perturbaciones observadas en el régimen de precipitaciones de la cuenca mediterránea occidental son:

- Los cambios de uso del suelo (acumulados históricamente) que resecan la superficie, aportando más calor y menos humedad a la masa de aire superficial, y
- Los cambios en la composición atmosférica (durante ≈ los últimos 30 años) que han aumentado la concentración regional de gases de efecto invernadero,
- El aumento de aerosoles y Ozono troposférico produce un calentamiento adicional del aire situado por debajo de ≈ 3000 m,

- El vapor de agua que no se precipita retorna sobre el mar y acentúa el efecto invernadero de los contaminantes atmosféricos,
- La combinación de ambos efectos parece contribuir a: re-calentar la superficie del mar y aumentar, entre 1 y 3 K, la temperatura del aire situado por debajo de ≈ 2500 m, lo que eleva su nivel de condensación.

En estos procesos, la altura de las montañas costeras puede considerarse como uno de los umbrales críticos del sistema climático de la cuenca mediterránea occidental. Y, al ser rebasado, altera su equilibrio (histórico) y lo desplaza hacia un nuevo estado más árido. Además,

- Puesto que el agua más caliente en el Mediterráneo contribuye al incremento de lluvias torrenciales en cualquier punto de la cuenca,
- Las perturbaciones al ciclo hidrológico en una parte de la cuenca pueden propagarse y afectar a otras partes de la misma, o sea, al clima de toda la cuenca; adicionalmente,
- El vapor de agua y los contaminantes acumulados pueden ser levantados por una perturbación transitoria y contribuir a las inundaciones de verano en el Centro de Europa (Ulbrich et al. 2002a, 2002b).

Finalmente, en el mar Mediterráneo existe un desequilibrio entre el vapor de agua evaporado y el que se precipita en la misma cuenca. Como resultado, aumenta la salinidad del agua del mar Mediterráneo (y su densidad), y parte de esta agua sale, en profundidad, hacia el Atlántico. A su vez, el déficit de agua (por ambas causas) se repone con entrada de agua menos salada del Atlántico, a través de la superficie por Gibraltar.

Si aumenta la cantidad de vapor de agua (no precipitado en las circulaciones costeras y acumulado sobre el mar) que es advectado a otras regiones, tendería a aumentar el desequilibrio existente hacia una mayor contribución de agua salada del Mediterráneo hacia el Atlántico. Este aporte de agua salada se sabe que contribuye a la circulación termohalina en el Atlántico y puede perturbar la Oscilación del Atlántico Norte e influye, a su vez, en el comportamiento de las borrascas atlánticas. El esquema de los posibles ciclos de retro-alimentación entre el "sistema mediterráneo" y el clima local ha sido remitido a *Science*.

Por tanto, las perturbaciones al régimen de tormentas en la cuenca Mediterránea podría propagarse al Atlántico y perturbar el paso de los sistemas frontales, afectando las lluvias en la costa atlántica europea. Ante estas posibilidades, la Comisión Europea ha incorporado entre sus prioridades el tema: "Climate change impacts in the Mediterranean area".

Bibliografía

Bastrup-Birk, A., J. Brandt, Z. Zlatev, I. Uría (1997) Studying cumulative ozone exposures in Europe during a 7-year period. *J. Geophys. Res*. **102**, **D20**, 23, 917-23, 935.

Fishman J., C.E. Watson, J.C. Larsen, J.A.Logan (1990) The distribution of tropospheric ozone determined from satellite data. *J. Geophys. Res.*, **95**, 3599-3617.

Gangoiti, G., M.M. Millán, R. Salvador, E. Mantilla (2001) Long-Range transport and re-circulation of pollutants in the Western Mediterranean during the RECAPMA Project. *Atmos. Environ.*, **35**, 6267-6276.

IPCC (2001) Third Assessment Report on "Climate Change 2001", Watson, R.T., Ed., Cambridge University Press, 397 pp.

Lelieveld, J., F. J. Dentener (2000) What controls tropospheric ozone? *J. Geophys. Res.*, **105**, 3531-3551.

Lelieveld, J., H. Berresheim, S. Borrmann, P. J. Crutzen, F. J. Dentener, H. Fischer, J. Feichter, P. J. Flatau, J. Heland, R. Holzinger, R. Korrmann, M. G. Lawrence, Z. Levin, K. M. Markowicz, N. Mihalopoulos, A. Minikin, V. Ramanathan, M. de Reus, G. J. Roelofs, H. A. Scheeren, J. Sciare, H. Schlager, M. Schultz, P. Siegmund, B. Steil, E. G. Stephanou, P. Stier, M. Traub, C. Warneke, J. Williams, H. Ziereis (2002) Global Air Pollution Crossroads over the Mediterranean. *Science*, **298**, 794-799.

Millán, M., Mª.J. Estrela, V. Caselles (1995) Torrential precipitations on the Spanish East coast: The role of the Mediterranean sea surface temperature. *Atmospheric Research*, **36**, 1-16.

Millán, M.M., R. Salvador, E. Mantilla, B. Artíñano (1996) Meteorology and photochemical air pollution in southern europe: experimental results from EC research projects, *Atmos. Environ.*, **30**, 1909-1924.

Millán, M.M., R. Salvador, E. Mantilla, G. Kallos (1997) Photo-oxidant dynamics in the Western Mediterranean in Summer: Results from European Research Projects. *J. Geophys. Res.*, **102, D7**, 8811-8823.

Millán, M.M., E. Mantilla, R. Salvador, A. Carratalá, Mª.J. Sanz, L. Alonso, G. Gangoiti, M. Navazo (2000) Ozone cycles in the Western Mediterranean Basin: Interpretation of monitoring data in complex coastal terrain. *J. Appl. Meteor.*, **39**, 487-508.

Millán, M. M., Mª. J. Sanz, R. Salvador, E. Mantilla (2002) Atmospheric dynamics and ozone cycles related to nitrogen deposition in the western Mediterranean, *Environmental Pollution*, **118(2)**, 167-186.

Millán, M. M., Mª. J. Estrela, Mª. J. Sanz, E. Mantilla, M. Martín, F. Pastor, R. Salvador, R. Vallejo, L. Alonso, G. Gangoiti, J.L. Ilardia, M. Navazo, A. Albizuri, B. Artiñano, P. Ciccioli, G. Kallos, R.A. Carvalho, D. Andrés, A. Hoff, J. Werhahn, G. Seufert, B, Versino (2005a) Climatic Feedbacks and Desertification: The Mediterranean model. *J. Climate*, **18 (5)**, 684-701.

Millán, M. M., Mª. J. Estrela, J. Miró (2005b) Rainfall Components: Variability and Spatial Distribution in a Mediterranean Area. *J. Climate*, **18 (14)**, 2682-2705.

Pastor, F., Mª. J. Estrela, D. Peñarrocha, M.M. Millán (2001) Torrential Rains on the Spanish Mediterranean Coast: Modelling the Effects of the Sea Surface Temperature. *J. Appl. Meteor.*, **40**, 1180-1195.

Travis, D. J., A.M. Carleton, R. G. Lauritsen (2002) Contrails reduce daily temperature range. *Nature*, **418**, 601.

Ulbrich, U., T. Brücher, A. H. Fink, G. C. Leckebusch, A. Krüger and G. Pinto (2003) The central European floods of August 2002: Part 1 - Rainfall periods and flood development. *Weather*, **58**, 371-377.

Ulbrich, U., T. Brücher, A. H. Fink, G. C. Leckebusch, A. Krüger and G. Pinto (2003) The central European floods of August 2002: Part 2 - Synoptic causes and considerations with respect to cimatic change. *Weather*, **58**, 434-442.

El Protocolo de Kioto y sus Consecuencias para España

PROF. DR. JOSÉ Mª BALDASANO

Catedrático de Ingeniería Ambiental, Universitat Politécnica de Catalunya (UPC)
Experto del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC)
Director del Área de Ciencias de la Tierra, Barcelona Supercomputing Center
Premio Rey Jaime I de Medio Ambiente 1997

Introducción

El secretario general de la ONU, Kofi Annan, ha anunciado que el Protocolo de Kioto, el primer tratado ecológico global, entrará en vigor el próximo 16 de febrero de 2005, noventa días después de que el representante permanente de Rusia ante la ONU, entregará oficialmente los documentos de ratificación del Protocolo.

La ratificación de Rusia permite su entrada en vigor, ya que el tratado acordado en 1997 exige el respaldo de un mínimo de 55 países, cuyas emisiones de gases de efecto invernadero constituyeran en 1990 el 55% de la emisión global. Con la adhesión de Moscú, que emite el 17,4% de dichos gases, queda superado este segundo mínimo, ya que los 126 países que lo habían aprobado hasta ahora, sumaban únicamente un 44,2% de la emisión global.

El clima ha variado fuertemente de forma natural a través del tiempo. Ello es debido a diferentes factores naturales, como son las variaciones de la órbita de la Tierra, la actividad solar, las erupciones volcánicas, etc. Así como, al incremento exponencial del número de individuos de la especie humana, al aumento de sus actividades: agrícolas, industriales, urbanas y de transporte, y de la modificación de sus hábitos de comportamiento, pero especialmente por el desarrollo de un modelo socioeconómico basado en el uso intensivo de los combustibles fósiles en los últimos dos siglos. La humanidad se ha convertido de una forma progresiva, pero muy rápidamente hablando en términos geológicos, en un nuevo factor climático.

En los últimos diez años, han aumentado de una forma muy significativa el número de evidencias sobre la influencia humana en forzar un cambio climático. El 3er informe del *Grupo*

Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), publicado en el año 2001, indica que las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y aerosoles debidas a las actividades humanas, están modificando la atmósfera terrestre, por lo que se prevé que afectará al clima, y es prácticamente seguro que las emisiones generadas en el uso de combustibles fósiles son el factor dominante debido a la tendencia de una mayor concentración de dióxido de carbono (CO_2) durante los siglos XIX y XX (IPCC 2001).

Los estudios de los últimos cuatro ciclos interglaciales, es decir los últimos 400000 años, permiten decir claramente que la variación de la concentración de CO_2 se ha situado entre los 200 – 280 ppm, y que actualmente en solo 140 años ha aumentado a más de 370 ppm. El comportamiento del CH_4 es equivalente.

Los estudios más recientes permiten asegurar que el verano del año 2003 fue el más cálido en Europa desde el siglo XIII (Chaine et la 2004), numerosos observatorios del continente superaron las temperaturas medias del último siglo con valores entre 2 y 5 ºC. Entre otros aspectos atribuibles al exceso de calor, se calcula que en Europa murieron 27000 personas más de lo habitual para el mismo período de tiempo. Las previsiones que se vienen realizando indican que es muy posible que a partir de la década del 2040 esos niveles de calor sean habituales.

Las expectativas de aumento de la temperatura derivadas de los modelos climáticos para este siglo XXI se sitúan entre 2-5 ºC. Esto puede tener efectos catastróficos en todo el planeta: fenómenos meteorológicos más extremos; un cambio en el régimen de precipitaciones y sequías; aumento de ciclones y tornados; deshielo de los polos (tanto del Ártico como de la Antartida) y en consecuencia un aumento importante del nivel del mar, con inundación de los litorales y pérdida de amplias zonas costeras; incremento de zonas desérticas, de enfermedades así como una drástica disminución de cosechas con la consiguiente generación de hambrunas, etc. El reciente informe de la Agencia Europea del Medio Ambiente así lo confirma (EEA 2004).

No obstante, es necesario mencionar también, que todavía quedan muchos interrogantes sobre la Teoría del Cambio Climático. Existen otras teorías, que señalan que la fuente de las actuales variaciones de la temperatura se deberían a otras razones. Hemos de ser conscientes que la intensificación y explosión de los estudios sobre el conocimiento del funcionamiento del planeta tienen apenas 30 años.

El objetivo del *Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*, aprobado en la Conferencia de Río de Janeiro en 1992, es estabilizar las concentraciones de los GEI a un nivel que evite interferencias peligrosas en el clima. En este contexto, el Protocolo de Kioto limita las emisiones netas de los GEI de los países desarrollados y con economías en transición, quienes deben alcanzar en el período 2008 - 2012 una reducción del 5,2% de las emisiones con respecto a las emisiones del año 1990, tomado como año de referencia.

Objetivo en si mismo modesto, ya que la concentración del dióxido de carbono (CO_2), principal gas que fuerza el efecto invernadero natural, tenia un valor antes del comienzo de la revolución industrial de 280 ppm. En el año 2004 había alcanzado los 377 ppm, y de acuerdo al actual patrón de emisiones, según diferentes escenarios, se espera que alcance valores entre 450-750 ppm a lo largo de este siglo XXI (véase la figura 1).

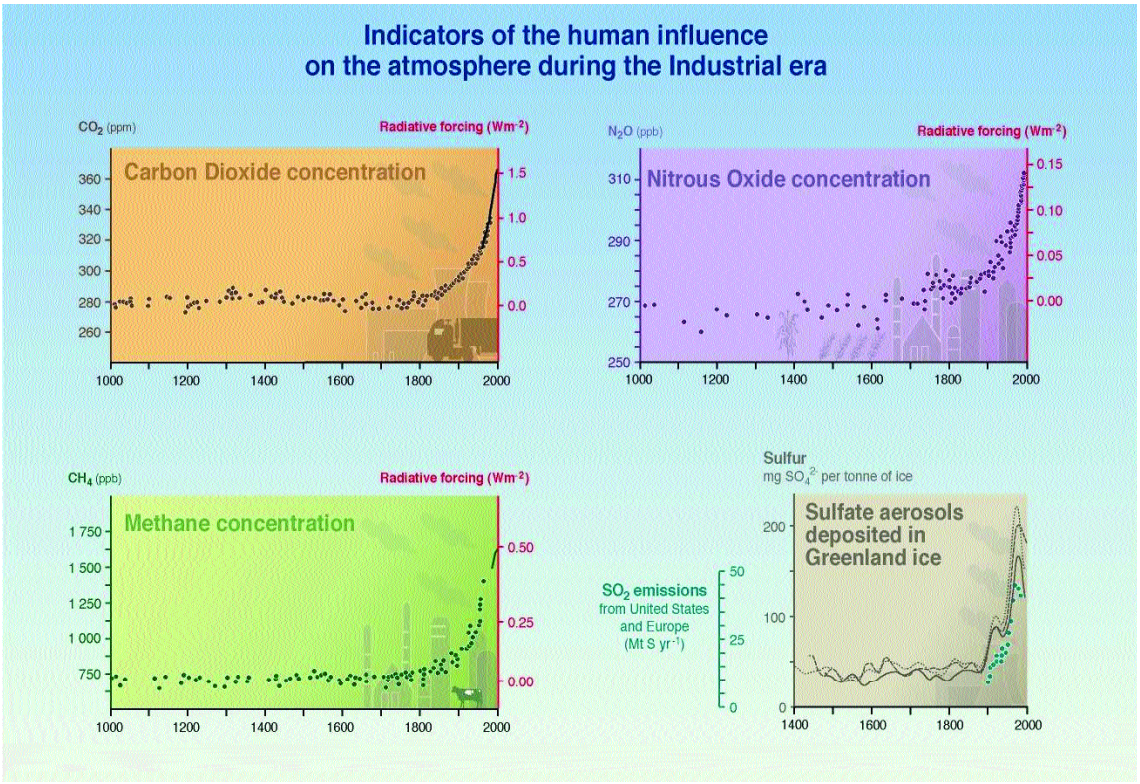


Figura nº 1. Aumento de las concentraciones de los gases de efecto invernadero en el último milenio (IPCC 2001).

Conviene remarcar que el punto fuerte de este acuerdo no está tanto en los porcentajes de reducción, que sí; pero sobre todo en fijar que el año de referencia sea el 1990, frente a su cumplimiento en el año 2012, 22 años después con todo el incremento de PIB que ello está representando. Señalar, que el incremento del PIB español entre los años 1990-2001 ha sido del 216%.

La Unión Europea (UE) asumió de forma unilateral su compromiso y ha emprendido acciones tendentes a su cumplimiento. Para el conjunto de la UE de los 15 (UE15), el objetivo es alcanzar la reducción de las emisiones en, al menos, un 8% en el período 2008-2012. El esfuerzo de cada país miembro dentro de la UE es diferente, es lo que se conoce con el nombre de *burbuja europea*, y permite a un determinado grupo de países un aumento de emisiones, entre estos, se incluye a España con un límite permitido de aumento del 15% (véase la figura 2).

España aceptó un compromiso en términos de emisiones globales, olvidando modular un factor de emisión relativo, de acuerdo a criterios de PIB y número de habitantes. Debido a esto, nuestro nivel actual permitidas de emisiones per cápita es un 12% inferior a la media de la Unión Europea.

El Protocolo de Kioto, contempla, además de los esfuerzos de disminución de las emisiones, tres mecanismos de flexibilidad para su aplicación:

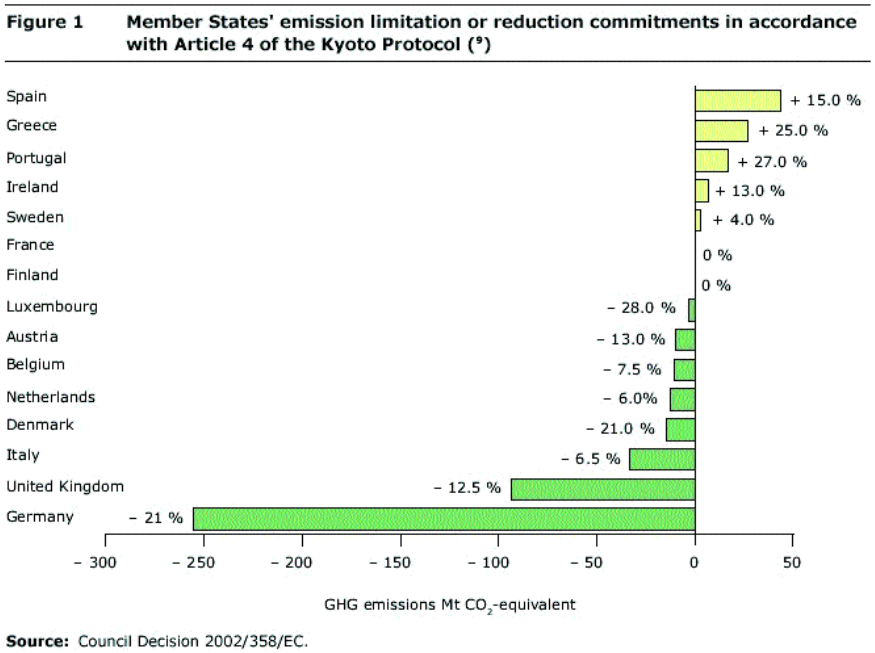


Figura nº 2. Distribución de la "burbuja europea".

1) el comercio de emisiones (CE),

2) proyectos de implementación conjunta (IC), y

3) mecanismos de desarrollo limpio (MDL).

Aunque, son considerados como actividades suplementarias, están teniendo un papel muy activo. Estos mecanismos flexibles del Protocolo de Kyoto proporcionan créditos de emisión transferibles derivados de los proyectos de reducción de gases de efecto invernadero, al objeto de ayudar a los países que tienen un compromiso de reducción de emisiones a cumplir con sus objetivos. Permitiendo a estos países, transferir tecnologías limpias a los países en vías de desarrollo, y descontarse así el consiguiente ahorro de emisiones de su propia cuenta de emisiones.

Especialmente los proyectos de implantación conjunta y de desarrollo limpio permiten, a los países industrializados o compañías, que puedan recibir créditos de emisión por financiar proyectos que eviten la emisión de gases de efecto invernadero en países en vías de desarrollo. De ésta manera, estos países se benefician de una nueva fuente para financiar su desarrollo sostenible, mientras que los países industrializados pueden complementar su compromiso de reducir las emisiones en su país de origen.

Según la última estimación de la Agencia Europea del Medio Ambiente (AEMA), las emisiones de la EU15, en el 2002 contabilizan una reducción del 2.9%. Sin embargo, esta disminución se debe principalmente al Reino Unido y Alemania, países que en conjunto representan un 47% de las emisiones de la EU15. En el caso alemán, por la reestructuración económica en la antigua Alemania Oriental; y en el Reino Unido, por la transición desde el carbón al gas. España presenta en el año 2004 un incremento del 45%, tres veces su porcentaje límite (véase la figura 3).

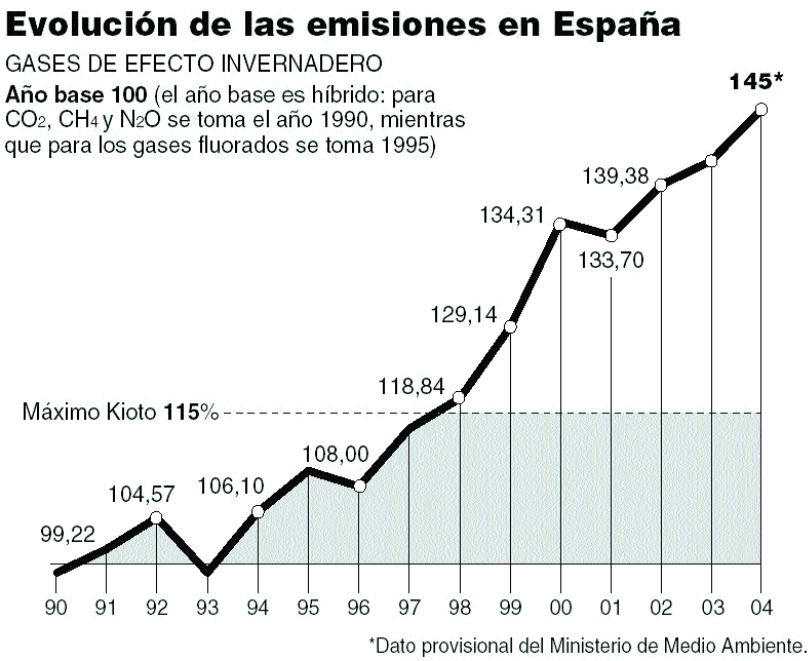


Figura nº 3. Evolución de la emisión de GEI por España en el período 1990-2004.

La directiva 2003/87/CE llamada del comercio de emisiones, tiene como objetivo fomentar la reducción de las emisiones de manera eficiente en relación con los costes, y establece que los Estados miembros de la UE deben limitar las emisiones de CO_2 de sus centrales de generación eléctrica y en unos determinados sectores industriales, por medio de la distribución de derechos de emisión, compatibles con los límites nacionales. La distribución de emisiones y otras potenciales actuaciones se definen para cada país en lo que se ha llamado Plan Nacional de Asignaciones (PNA). La mayoría de los Estados miembros han presentado su PNA, en los cuales se manifiesta la intención de un uso casi generalizado de los otros dos mecanismos flexibles.

El PNA español, aprobado mediante los Real Decreto 1866/2004 y 60/2005; establecen como meta hacia el período 2008 - 2012, que las emisiones no deberán sobrepasar más del 24% los valores de 1990. Este porcentaje se compone del 15% del límite Kioto, más un 2% estimado para la absorción de sumideros, más un 7% que procedería de los créditos de emisión a partir de los mecanismos IC y MDL.

El panorama para España es ciertamente difícil, pues se asume que las emisiones al 2002 (39.4% mayores al año base de 1990) no se incrementarán. El reducir ahora mismo las emisiones al 24% establecido en el PNA español, implica que mediante acciones de tipo doméstico es posible disminuir las emisiones en un 15.4%, objetivo realmente difícil. Y las expectativas para después del 2012, en la fase post-Kioto, presenta también un horizonte complejo.

La actual estructura de nuestro consumo energético no ayuda. En los últimos seis años el aumento medio de la demanda eléctrica ha sido del orden del 5%. Las expectativas para los próximos años son de un incremento sostenido del consumo bruto de energía. En el PNA de

España, los sectores cubiertos por la directiva 2003/87/CE representan un 40% del total de las emisiones (21% generación eléctrica + 19% otras industrias). Cerca de 1000 instalaciones están afectadas. Las actuaciones no son únicamente técnico-ambientales sino también económicas y de ayuda al desarrollo. Además, España debería establecer de forma urgente todo un conjunto de actuaciones, centradas en los otros sectores emisores, que tienen un patrón de emisión mucho más difuso, especialmente el sector del transporte (con un 26% de las emisiones); así como, los sectores de la construcción y servicios.

El plan de emisiones de Kioto español apuesta por el gas en detrimento del carbón

El Ministerio de Medio Ambiente (MMA) ha hecho público el listado de las instalaciones que recibirán derechos gratuitos de emisión de gases de efecto invernadero en el periodo 2005-2007. Se hace una apuesta decidida por el gas natural en los próximos años en detrimento del carbón, que tiene un mayor poder emisor. Es decir, el PNA español tiene un carácter estratégico de orientar la generación de energía eléctrica en usar combustibles con un menor contenido de carbón.

El reparto de las emisiones se basa en la renovación del parque de generación. Se espera que las centrales de fuelóleo y carbón, que ya han consumido buena parte de su vida útil, vayan desapareciendo progresivamente y sean sustituidas por las centrales térmicas de ciclo combinado. En el contexto español, ya se están presentando problemas en el sector de extracción de carbón, pues el próximo año 2005, deberá revisarse las cuotas de producción de carbón para el período 2006-2012.

La mayor parte de los derechos gratuitos de emisión de gases (84,5 millones de toneladas anuales de un total autorizado de 168,2 millones) corresponderá, como estaba previsto, a las compañías eléctricas. Si se suman los derechos reservados para nuevos actores en el sector eléctrico e instalaciones de cogeneración la cifra de derechos para el sector eléctrico se eleva a 88 millones de toneladas al año.

Las eléctricas son, junto con el sector del refino, la siderurgia, el cemento y la cal, las tejas y azulejos, el vidrio y el papel, los sectores afectados por la actual directiva comunitaria sobre comercio de emisiones con el objetivo de la UE de poder cumplir con Kioto.

Así, los cálculos señalan que en 2006, la producción eléctrica de las centrales de ciclo combinado, que funcionan con gas natural, superará ya ampliamente a la producción de las centrales de carbón (61.499 GW por hora de las centrales de gas frente a 52.967 GW de las centrales de carbón). El proceso se acelerará en 2007, cuando la producción de las centrales de gas deberá ser de 76.778 MW frente a los 46.294 GW de las centrales de carbón.

Probablemente, este reparto no afecte la evolución de las tarifas eléctricas ni a las cuentas de resultados de las empresas excesivamente en este primer período 2005-2007 de arranque del sistema de comercio de emisiones. Pero sí que es muy probable que incida claramente en el segundo período a partir del año 2007, para poder cumplir con el objetivo del +15 %.

Sectores con emisiones difusas

La directiva de la UE sobre comercio de emisiones, presenta un sesgo importante, respecto a la contribución de los distintos sectores en la emisión de GEI, especialmente por la importancia del sector transporte y de los consumos en el sector de la edificación.

En España, el sector transporte es el que presenta un mayor consumo, sumando un 42% de la energía final consumida en el país. Este sector es, asimismo responsable de más del 60% del petróleo consumido y de un 30% de las emisiones totales de CO_2. De ahí la importancia de adoptar un estilo de conducción económica, ecológica y segura. El número de vehículos circulando ha aumentado de 4.4 millones en el año 1970 a 25 millones en el año 2002, representa un aumento del 471% en únicamente 32 años. Otro factor negativo, es el aumento del transporte por carretera frente al transporte por vía férrea que se ha intensificado en los últimos años.

En lo que respecta a la edificación, en el período 1999-2002 se han terminado del orden 450000 viviendas cada año, cuando en el período 1986-1998 fue del orden de 225000 viviendas por año. Se estima que la calefacción representa el 45% del consumo energético de los hogares españoles. Se ha desperdiciado una gran oportunidad, pues han sido construidas 'con limitados criterios de sostenibilidad', en términos de ahorro y eficiencia energética, así como uso de energías renovables y materiales. Pero lo más preocupante, es que van a representar un lastre energético importante en el futuro inmediato. No parece que este panorama vaya a cambiar.

Puesta en marcha del Fondo Español de Carbono

Por otra parte, se han iniciado los trámites para la puesta en marcha del Fondo Español de Carbono y la participación española en el Fondo Biocarbono y el Fondo de Carbono para el Desarrollo Comunitario (CDCF) del Banco Mundial, con el objetivo de procurar la adquisición de créditos a través de la constitución de fondos de carbono en instituciones multilaterales.

Según el Ministerio de Medio Ambiente, el Gobierno español, en la búsqueda del cumplimiento de su objetivo de limitar las emisiones de gases de efecto invernadero contemplados en el Protocolo de Kioto, y como consecuencia de las previsiones de emisiones para España en el período 2008-2012, ha decidido utilizar, de forma adicional a las medidas internas, los instrumentos de flexibilidad que ofrece el Protocolo.

Los mecanismos de desarrollo limpio acercarán a España a cumplir su compromiso con Kioto

Los mecanismos de desarrollo limpio (MDL's) serán un instrumento clave para cumplir el compromiso que España contrajo en la reducción de emisiones contaminantes que establece Kioto. Para alcanzar el objetivo se podrá validar hasta un 7% de emisiones a través de MDL's, y el 2% restante a través de sumideros.

Los mecanismos limpios deberán constituir un área de creciente interés para empresas, entidades de crédito y administraciones públicas, ya que, la ejecución de proyectos en países en desarrollo que comporten una reducción de emisiones de gases invernadero o favo-

rezcan una absorción de las mismas por sumideros, generará créditos de CO_2 (CERs), con los que se podrá asumir parte de nuestras emisiones en España.

Un factor importante a tener en consideración es el tiempo de puesta en marcha del correspondiente proyecto y del proceso de validación. Fácilmente se pueden alcanzar tiempos de 3 a 4 años. Los mecanismos flexibles no deben ser considerados como costes añadidos, sino "como herramientas de flexibilidad y de mitigación del impacto económico de las medidas de reducción de las emisiones". Constituyen un mecanismo de cooperación entre países y de ayuda hacia un desarrollo sostenible.

Según el Programa de Fondos de Carbono del Banco Mundial, hasta el momento más de 300 millones de toneladas de CO_2, procedentes de proyectos que esperan ser validados como MDL, han sido contratados en el mercado internacional, y comercializados tanto en el primer semestre de este año como durante todo el año 2003.

Los principales compradores de los fondos de carbono son empresas japonesas (41%), seguidas por las holandesas (23%) y en una proporción mucho menor por países como Estados Unidos, Canadá o Nueva Zelanda y Australia (3%). Los proyectos más recurridos son aquellos relacionados con las energías renovables (hidráulica, eólica, biomasa), así como recuperación de residuos o eficiencia energética). Los principales países receptores son China y la India, "por las escalas de sus economías, y por los perfiles de algunos sectores claves como el energético". Otra región trascendental es Iberoamérica, donde España puede y debería jugar un papel importante de cooperación.

Los MDL's tienen un alto interés para los países en desarrollo, ya que supone para ellos una oportunidad para modernizar y 'descarbonizar' la infraestructura existente.

Post-Kioto

La UE ya ha definido el marco de post-Kioto, definiendo un objetivo de intentar limitar la concentración de CO_2 en la atmósfera a 550 ppm para el año 2050. Al objeto de conseguir una estabilización del aumento de la temperatura en 2 ºC. Para ello se deberían reducir las emisiones globales en un 60%, ello podría representar para España posiblemente un objetivo de reducción de –5% respecto al año 1990.

Ciertas conclusiones

La Unión Europea ha apostado fuertemente en asumir las consecuencias del cambio climático inducido por la actividad humana, y ha tomado el Protocolo de Kioto como el primer instrumento base para adoptar la realidad socio económica a dicho envite.

La disminución del grado de carbonización de los combustibles fósiles, es decir el paso desde el carbón al gas natural, es únicamente una etapa intermedia, probablemente necesaria, pero claramente insuficiente para limitar las emisiones y así contener el aumento de las concentraciones de los GEI en la atmósfera terrestre. El impacto previsto sobre el precio de la electricidad, en esta primera fase del 2005-2007, podría suponer un incremento del 1%.

El uso de las energías renovables, el ahorro energético, y la mejora de la eficiencia energética, ya no son un deseo sino una absoluta necesidad, frente al incremento exponen-

cial de la demanda de recursos energéticos que a escala global se está produciendo, no sólo por el grado de desarrollo económico de los países económicamente fuertes, sino también por la emergencia de países como China y la India.

En el contexto español, existe una necesidad urgente de revisar en profundidad el sector transporte, que se ha convertido en el sector que más emite, con una clara tendencia a incrementar dicha emisión. Debería definirse y apostarse por una modificación sustancial del mismo, orientándolo en una dirección de disminuir sus consumos energéticos y territoriales. Valorando seriamente la opción de usar el hidrógeno tal y como esta haciendo el estado de California.

El sector de la edificación y construcción que también debería ser objeto de una fuerte atención, afín de disminuir el gasto energético en iluminación, calefacción y climatización.

La conferencia de Buenos Aires, décima Conferencia de las Partes, en diciembre de 2004, marca el inicio de las negociaciones sobre el segundo período de compromiso en la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, con el objetivo de llegar a un acuerdo sobre las acciones que deberán emprenderse en lo que se ha dado llamar como post-Kioto. El papel de la Unión Europea será clave.

Bibliografía

Chaine I., et al (2004) *Grape ripening as a past climate indicator*. Nature 432, 18 November: 289-290.

EEA (2004) *Impacts of Europe's changing climate. An indicator-based assessment.* EEA Report No 2/2004 (http://reports.eea.eu.int/climate_report_2_2004/en).

IPCC (2001). *Climate Change 2001: The scientific basis. Technical summary.* (http://ipcc-wg1.ucar.edu/index.html).

España ante el Cambio Climático: un Desafío compartido por todos

DR. ARTURO GONZALO AIZPIRI

Doctor en Ciencias Químicas
Secretario General para la Prevención de la Contaminación y el Cambio Climático
Ministerio de Medio Ambiente

Hagan ustedes la prueba: introduzcan Kyoto (así, con "y", como lo escriben los anglosajones) en el buscador *Google* y en 0,19 segundos descubrirán que pueden consultar cuatro millones de documentos que contienen el nombre de la ciudad japonesa que alumbró el famoso Protocolo de lucha contra el cambio climático.

Se trata de un buen indicador del extraordinario interés que han suscitado tanto el problema del calentamiento global como el instrumento trabajosamente acordado por la comunidad internacional para empezar a alumbrar una solución. Con certeza, nunca una cuestión ambiental había sido objeto de un debate público tan amplio e intenso, ni habían participado en él con tanto vigor los agentes económicos.

Ello tiene implícito el riesgo de que se entienda la problemática asociada al Protocolo de Kioto como una cuestión esencialmente económica. Que los ciudadanos interpreten que se trata de un problema creado por la industria y que debe ser resuelto por la industria; que, en realidad, el tema no va con ellos.

Es preciso enfatizar que ese enfoque constituye un grave error. La mejor ciencia disponible hoy considera más que probable que la acumulación en la atmósfera de los llamados Gases de Efecto Invernadero (GEI), causada por la actividad humana, tendrá como consecuencia un incremento de la temperatura media del planeta, un aumento de la frecuencia de fenómenos catastróficos como sequías, tormentas e inundaciones, una elevación del nivel del mar que cause el retroceso del litoral costero e incluso la desaparición de estados insulares, y otros muchos efectos adversos, como la extensión de las enfermedades tropicales, la desaparición de especies o la reducción de la productividad agrícola.

Esto no es una hipótesis de ciencia ficción. En un informe reciente, el Pentágono consideraba el cambio climático como una amenaza estratégica para la seguridad de los Estados Unidos. Si no nos ponemos manos a la obra para atajar o, al menos, atenuar el problema, nuestro mundo perderá con rapidez condiciones de habitabilidad. Y se da la circunstancia de que no sólo todos sufriremos las consecuencias del problema, sino que además todos estamos contribuyendo a crearlo.

Combatir el cambio climático significa limitar las emisiones de los Gases de Efecto Invernadero. Para ello, la comunidad internacional acordó en 1997 la adopción del Protocolo de Kioto, que fija techos cuantitativos para la emisión de GEI en los países industrializados en el periodo 2008-2012. En concreto, la Unión Europea se comprometió a reducir sus emisiones en un 8% respecto a las de 1990, estableciendo un "reparto de la carga" que autorizaba a España, por su menor desarrollo económico, a aumentar sus emisiones en un 15% en el periodo. Dicho compromiso fue posteriormente ratificado por unanimidad en el Parlamento español.

Sin embargo, el último inventario nacional publicado de emisiones de GEI, correspondiente a 2002, mostraba ya un incremento próximo al 40%. Es decir, cuando quedan ocho años para el final del periodo, España ha casi triplicado el incremento de emisiones que se fijó a sí misma como objetivo. Ello ha sido causado en parte por el intenso crecimiento económico en los últimos años, necesario para converger económicamente con los países más avanzados de Europa. Pero es crucial advertir que mientras en los restantes países desarrollados las emisiones de GEI crecen más lentamente que la riqueza nacional, o incluso se reducen, en España ocurre exactamente lo contrario.

La clave está en la producción y el consumo energético. De los diversos Gases de Efecto Invernadero, el más relevante de todos es el Dióxido de Carbono, el CO_2, producido mayoritariamente por la combustión de combustibles fósiles tanto en centrales térmicas, para la generación de electricidad, como en los vehículos, las instalaciones de calefacción y agua caliente de los hogares, etc. Cada vez que quemamos carbón, derivados del petróleo o gas natural, estamos emitiendo CO_2 a la atmósfera. Cada vez que encendemos una bombilla, un aparato de aire acondicionado o un televisor estamos produciendo indirectamente el mismo efecto.

Según los últimos datos, en este momento en nuestro país está creciendo el consumo energético final el doble que el Producto Interior Bruto. Es decir, el crecimiento económico español está arrastrando una bolsa creciente de ineficiencia energética. Si la ineficiencia es siempre un derroche, en un país como el nuestro, que depende en más de un 80% de recursos energéticos exteriores, además es una amenaza tanto ambiental como económica para nuestro bienestar futuro. También resulta difícil de entender el escaso desarrollo que han tenido en España ciertas energías renovables, no contaminantes, como la solar o la procedente de biomasa.

Obviamente, la situación actual es consecuencia de una grave inacción en los últimos años, en los que no se han tomado las medidas necesarias para moderar el crecimiento incontrolado del consumo energético ni impulsar suficientemente las energías limpias. Ni los gobiernos anteriores, ni las compañías eléctricas, ni los propios ciudadanos, han apostado por el ahorro y la eficiencia como un elemento esencial para asegurar nuestras condiciones de vida futuras. Hemos caído en la errónea idea de "nuevos ricos" de considerar que el bienes-

tar es directamente proporcional al consumo, ignorando que depende, y mucho, del acceso a bienes y servicios públicos, incluyendo la calidad ambiental, conforme al derecho contemplado en el artículo 45 de nuestra Constitución. Es urgente cambiar esa forma de pensar.

El nuevo Gobierno ha asumido un claro compromiso al respecto y se ha puesto manos a la obra con el objetivo de cumplir el Protocolo de Kioto, trabajando aceleradamente para realizar dos tareas de gran importancia. Primero, trasponer la Directiva europea que regula las emisiones de gases en la Unión Europea. Esta Directiva tendría que haber sido incorporada al ordenamiento jurídico español antes del 31 de diciembre de 2003, por lo que la Comisión Europea abrió un procedimiento de infracción contra España. Segundo, elaborar el Plan Nacional de Asignación de Derechos de Emisión, que debe fijar la senda elegida por España para el cumplimiento de su compromiso de Kioto y la cantidad de toneladas que pueden emitir las principales industrias del país en los próximos años. Dicho Plan debería haber sido aprobado antes del 31 de marzo de 2004, y sólo la intensa actividad del nuevo Gobierno, así como la respuesta responsable de los agentes sociales y económicos, han permitido presentar el pasado 7 de julio una propuesta para debate público, evitando el inicio de un nuevo expediente de infracción. En paralelo, se ha elaborado un proyecto de Ley que transpone la Directiva, dando el armazón jurídico que necesita la aplicación del Plan de Asignación.

Es decir, el Gobierno ha debido hacer en tres meses lo que no se había hecho en los años anteriores, y lo ha hecho con unos criterios de prudencia, transparencia y equilibrio que han sido ampliamente reconocidos. Por cierto, resulta un sarcasmo que la única crítica que han realizado al Plan algunas Comunidades Autónomas gobernadas por el Partido Popular es que éste ha sido elaborado con excesiva celeridad. Con esa excepción, el notable consenso con que se ha desarrollado el proceso muestra la convicción general de que es preciso que España cumpla sus compromisos, contribuyendo a paliar un grave problema global, al tiempo que aborda serios desequilibrios de nuestra estructura económica y dota de seguridad jurídica a las empresas que tienen obligaciones en el contexto de la normativa europea.

Además, es preciso recordar que el cumplimiento de Kioto ofrece importantes oportunidades. El impulso a las energías renovables refuerza un sector industrial de capital y tecnología españoles que está mostrando una gran capacidad de competir internacionalmente y crear empleo. Ahorrar energía supone mejorar la balanza comercial de España y reducir también otras emisiones atmosféricas contaminantes asociadas al consumo de combustibles fósiles que deterioran la calidad del aire que respiramos, particularmente en el entorno urbano.

El Plan de Asignación propone un cambio de tendencia del vertiginoso crecimiento de las emisiones para el periodo 2005-2007, y una reducción más intensa en 2008-2012. Debe decirse con claridad que esto supone un gran desafío para el conjunto de la sociedad española. Los sectores que más están aumentando sus emisiones son precisamente los que dependen de las políticas públicas y de las decisiones de los ciudadanos, como el Transporte o el Residencial. El Plan de Asignación exige a la industria un esfuerzo, pero también al conjunto de la sociedad. Cada Administración pública, sea estatal, autonómica o local, deberá acometer actuaciones decididas en su ámbito de responsabilidad, en el marco de una estrecha cooperación, las empresas deberán apostar por la tecnología y la innovación, los agentes sociales serán necesarios para llevar al ánimo de los ciudadanos la necesidad de cambios en los hábitos de vida y consumo.

Si tenemos éxito, éste será de todos. De lo contrario, las generaciones futuras nos reclamarán nuestra parte de responsabilidad.

El Esfuerzo en Innovación de la Industria Cerámica de la Comunidad Valenciana para Reducir las Emisiones de Dióxido de Carbono

PROF. DR. AGUSTIN ESCARDINO

Premio SOLVAY para la Investigación en Ciencias, 1994
Premio Nacional de Investigación Juan de la Cierva, 2001
Premio Rey Jaime I en la categoría de Nuevas Tecnologías, 2002

Introducción

La industria cerámica valenciana constituye uno de los dos clusters cerámicos más potentes de Europa. Está constituida fundamentalmente por 226 fábricas de baldosas cerámicas y por 18 industrias de fritas cerámicas y de pigmentos inorgánicos que, en uno y otro caso suponen el 95% de la producción total española en dichos subsectores industriales. Las primeras producen alrededor de 650 millones de metros cuadrados y las segundas facturan alrededor de 1000 millones de euros/año.

Estos dos sectores industriales consumen gran cantidad de energía térmica en el proceso de fabricación (Enrique *et al* 1996a), con la consiguiente emisión de gases y están ubicadas, junto a las empresas de servicios y empresas auxiliares, en un espacio geográfico relativamente reducido de no más de 300 km^2, en la comarca de La Plana en Castellón. En consecuencia hay una importante concentración de emisiones gaseosas.

Es necesario poner de manifiesto que muchas de las medidas adoptadas por estas empresas, se tomaron con la finalidad de racionalizar y modernizar el proceso de fabricación o de reducir el consumo de energía (Enrique *et al* 1996b, 1996c), ya que fueron desarrolladas antes del año 1997, en el que se firmó el protocolo de Kioto. Todas esas medidas han repercutido, como se verá seguidamente, en la reducción de las emisiones gaseosas.

El sector cerámico de la Comunidad Valenciana está formado, fundamentalmente, por dos subsectores industriales: el de baldosas cerámicas y el de fritas, esmaltes y colorantes cerámicos, materias primas elaboradas, estas ultimas, que se utilizan para obtener el recubrimiento vidriado, en el caso de las baldosas cerámicas esmaltadas, y para su decoración.

La energía consumida durante el proceso de fabricación de baldosas cerámicas supone alrededor del 15% de los costes de fabricación y del 14% en el de fritas. Esta energía se genera en la actualidad por combustión de gas natural, como consecuencia de la cual se desprende una considerable cantidad de dióxido de carbono.

Esta ponencia hace referencia al esfuerzo innovador realizado por la Industria Cerámica Valenciana para reducir las emisiones gaseosas, en especial de dióxido de carbono.

Las emisiones de CO_2 en la industria cerámica

En el año 2002, último año del que se posee información precisa, 4,2 millones de toneladas de dióxido de carbono (CO_2) se emitieron por las fábricas del sector cerámico de Castellón. De estos 4,2 millones de toneladas el 17% procedió del proceso de fabricación de fritas y pigmentos inorgánicos y el resto de la fabricación de baldosas, lo que supuso poco más del 1% de las emisiones totales de dicho gas en España durante ese año (alrededor de 1,05%).

Las emisiones de CO_2 en el proceso de fabricación de fritas se producen mayormente durante la fusión de las materias primas a elevadas temperaturas, del orden de los 1400 a 1600 ºC. Téngase en cuenta que las materias primas son materiales naturales de naturaleza cristalina y que se han de fundir, para lo que se requiere un aporte considerable de energía térmica. Al enfriar este fundido bruscamente a la salida del horno resulta un producto, la frita, de naturaleza vítrea.

En el caso de los pigmentos cerámicos las emisiones se producen en los hornos o reactores donde se efectúa su síntesis. En el proceso de fabricación de baldosas cerámicas hay cuatro etapas en las que se emiten cantidades importantes de dióxido de carbono: el atomizador donde se prepara el polvo o granulado de prensa, el sistema de cogeneración (si forma parte de la instalación), el secadero de piezas conformadas y el horno o reactor donde se desarrollan una serie de transformaciones físico-químicas, entre 1120 y 1200 ºC (dependiendo del producto que se desee obtener) que confieren a la pieza cerámica las propiedades y características deseadas.

El polvo de prensas necesario para fabricar los soportes de las baldosas se obtiene secando por atomización suspensiones acuosas de las materias primas adecuadas, previamente molturadas vía húmeda. Para ello se utilizan gases calientes que actualmente proceden mayormente de un sistema de cogeneración eléctrica. Los gases que se introducen en el secadero o atomizador suelen estar a una temperatura entre 500 y 650 ºC.

En las operaciones de secado de las suspensiones por atomización y de cogeneración, donde se produce energía eléctrica y térmica a la vez, se genera alrededor del 33% del dióxido de carbono que se emite en el proceso de fabricación de baldosas cerámicas.

En la operación de secado de las piezas conformadas, en crudo, se desprende alrededor de un 8% de la emisión de CO_2, y finalmente en el horno de cocción de las piezas, esmaltadas o no, se desprende el 42% restante. La mayor cantidad de dióxido de carbono se emite durante la etapa de cocción, seguido por las etapas de secado por atomización y de cogeneración.

En la figura 1 se muestra la evolución de las emisiones de dióxido de carbono debidas únicamente al proceso de fabricación de baldosas cerámicas desde el año 1985 hasta el 2002, dado que son los únicos datos fiables disponibles. A estas emisiones hay que añadir las debidas a los procesos de fabricación de fritas y pigmentos inorgánicos, de las cuales no se disponen de datos fiables. Si se tiene en cuenta el paralelismo existente entre la producción de fritas y pigmentos inorgánicos para la industria cerámica y la de baldosas cerámicas, desde el año 1990 estos datos podrían modificarse de forma aproximada, desde dicho año, incrementando las cantidades representativas de la emisión de CO_2 en un 20%.

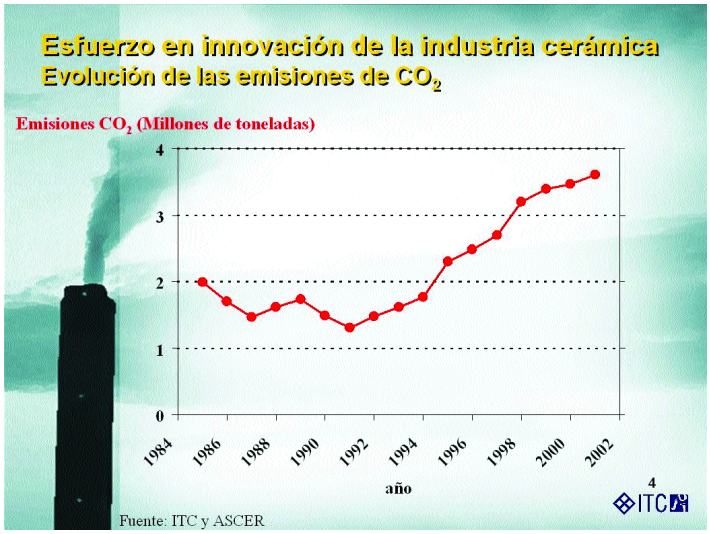


Figura 1. Evolución de las emisiones de CO_2, período 1985-2002.

Volviendo a las emisiones procedentes solo de la fabricación de baldosas cerámicas, puede apreciarse que entre el año 1984 y 1991, las emisiones tienen tendencia a disminuir o estabilizarse pero a partir del año 1991, ascienden de manera continuada. Esta evolución, a partir del año 1991, ha sido consecuencia del aumento de la producción que durante el periodo 1991-2002 se triplicó, en el caso de las baldosas cerámicas, y se cuadruplicó en el de las fritas y pigmentos.

En efecto, si representamos en la figura 1 (véase la figura 2) las emisiones de CO_2 y la evolución de la producción de baldosas cerámicas, se aprecia que, entre 1985 y 1991, a pesar de que la producción asciende, las emisiones de dióxido de carbono tienen una tendencia global descendente. En cambio, a partir de 1991 han evolucionado casi paralelamente. Esto se debe a que durante el periodo 1985-1991, el subsector industrial de baldosas cerámicas adoptó una serie de medidas para ahorrar energía y para racionalizar y modernizar el proceso de fabricación que se tradujeron en una importante reducción de las emisiones de dióxido de carbono.

Como puede apreciarse en la figura mientras que, en el periodo de tiempo analizado (1984-2002) la producción se ha triplicado, las emisiones de dióxido de carbono se han incrementado sólo en un 80%. Este hecho, se ha debido a que la cantidad de dióxido de carbono emitido por cada metro cuadrado de baldosa producida, es decir la emisión específica de CO_2, se ha reducido progresivamente.

En efecto, durante el año 1985 se emitieron alrededor de 11,5 kg de CO_2/m^2, mientras que desde 1991 las emisiones están alrededor de 5 kg de CO_2/m^2, es decir menos de la mitad, lo que supone una reducción destacable.

El hecho de que el descenso más importante de la emisión específica de CO_2 se produjera entre 1985 y 1991, estabilizándose dicho año en un valor prácticamente constante, y que desde entonces la producción se haya triplicado, podría plantear problemas a la industria de baldosas cerámicas de cara al cumplimiento de los compromisos adquiridos por España, como consecuencia del protocolo de Kioto, debido al aumento de la producción, si no se tiene en cuenta el esfuerzo realizado que ha conducido a reducir considerablemente la emisión específica de dióxido de carbono.

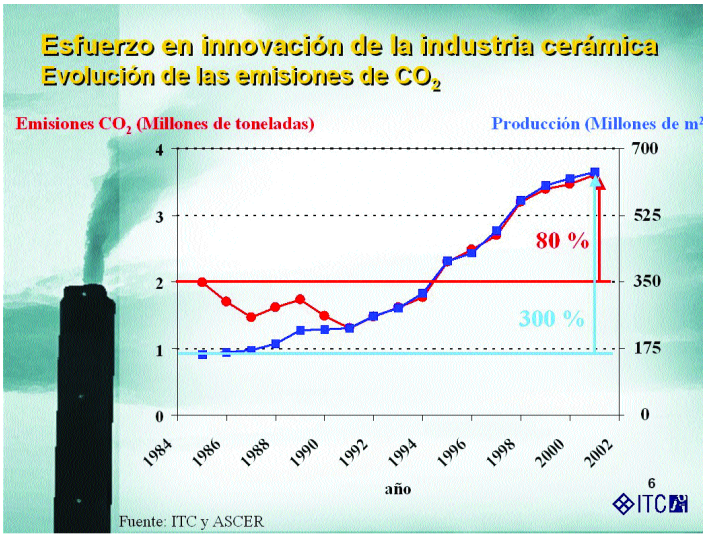


Figura 2. Evolución de las emisiones de CO_2 y producción de baldosas cerámicas, período 1985-2002.

El Protocolo de Kioto y la industria cerámica

En efecto, como se habrá comentado en otras ponencias, como consecuencia del Protocolo Kioto se permite a España aumentar las emisiones totales de CO_2 en un 15% respecto a las del año 1990, hasta el periodo 2008-2012 (Decisión 2002/358/CE y Directiva 2003/87/CE). Ahora bien, debido a que, hasta el año 2002 las emisiones habían aumentado un 36,9% el gobierno elaboró el correspondiente Plan Nacional de Asignaciones (PNA) para limitar la cantidad de CO_2 que deberían emitir las industrias, para intentar cumplir con dicho compromiso (Real Decreto Ley 5/2004 y Real Decreto 1866/2004).

El Plan Nacional Asignaciones de derechos de emisión, que ya está en vigor, reparte entre las diferentes industrias afectadas por el Protocolo de Kioto, una cantidad máxima de emisiones de CO_2. De momento, en el sector cerámico, sólo afecta a las empresas de fritas y pigmentos. En todo caso, si una empresa emite menos CO_2 que el asignado puede vender derechos de emisión y, si necesita aumentar sus emisiones, podrá comprar dichos derechos en el mercado.

¿Cómo afecta esto a la industria cerámica?

En la figura 3 se pone de manifiesto la importancia que, para evaluar la situación del sector cerámico con respecto a los compromisos del Protocolo de Kioto, tiene la elección del año de referencia. En efecto, si se toma el año 1990 como referencia para fijar los objetivos del Protocolo de Kioto, el sector cerámico sale claramente perjudicado.

Desde 1990 hasta la actualidad, la emisión específica de CO_2 se ha reducido únicamente en un 16%, frente al 53% desde 1985, debido a que en 1990 prácticamente todas las empresas utilizaban ya gas natural y hornos monoestrato de rodillos en sus procesos de fabricación y a las medidas de ahorro energético que se tomaron en la década de los 90 con el apoyo del Instituto para la Promoción de Energías Alternativas (IPEAE 1990; Timellini *et al* 1993).

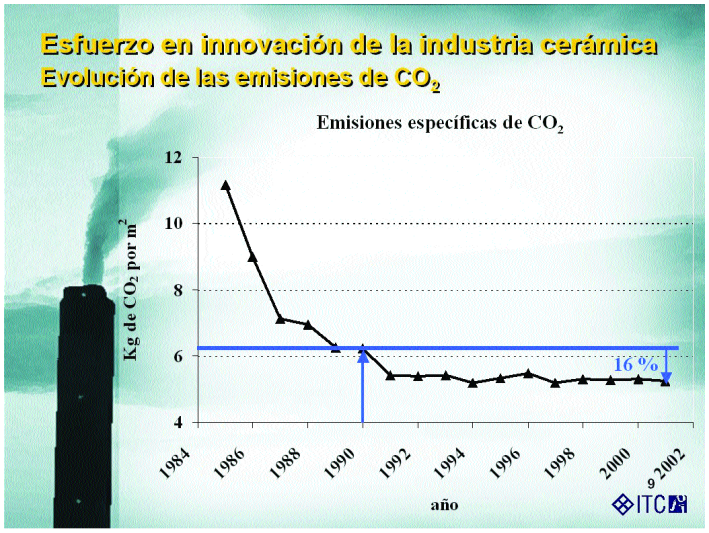


Figura 3. Evolución de las emisiones por unidad de producción.

Se aprecia asimismo que, a partir de 1994, la emisión específica de CO_2 alcanza los niveles más bajos, estabilizándose prácticamente hasta la actualidad. Este hecho se debe a que se está utilizando la "Mejor Tecnología Disponible" (MTD), desde el punto de vista de reducir las emisiones de CO_2. Este concepto de "Mejor Tecnología Disponible" (MTD), tan interesante desde el punto de vista tecnológico y ampliamente utilizado en otros aspectos relacionados con el medio ambiente, no se ha tenido en cuenta a la hora de definir los objetivos del Protocolo de Kioto.

El esfuerzo innovador realizado por la industria cerámica

La disminución de la emisión específica de CO_2 que se ha producido ha sido consecuencia de la evolución tecnológica experimentada por el sector en este periodo de tiempo y del esfuerzo realizado por las empresas para reducir el consumo de energía.

En efecto, durante el periodo de tiempo considerado (1984-2002) se cambió el combustible utilizado para generar la energía necesaria para el desarrollo de las etapas del proceso de fabricación antes descritas, sustituyendo los combustibles líquidos, más contaminantes,

por gas natural, más limpio y con un menor factor de emisión de CO_2, del que no se disponía en la zona azulejera anteriormente.

El cambio de combustible a gas natural trajo consigo la posibilidad de utilizar una nueva tecnología de cocción: la monococción en hornos monoestrato de rodillos, que supuso una revolución en el proceso de fabricación, reduciendo considerablemente el consumo de energía respecto a la técnica de bicocción tradicional.

A partir de 1990 se empiezan, además, a utilizar instalaciones de cogeneración eléctrica para calentar los gases de los secaderos por atomización, con el consiguiente ahorro de energía primaria.

Adicionalmente el mayor conocimiento de la tecnología del proceso, sobre todo en las etapas de cocción y secado y la mejor formación del personal técnico de las empresas, permitió incorporar una serie de medidas de ahorro de energía que junto a las otras acciones, han conducido a estabilizar la emisión específica de CO_2, en los valores actuales.

Cambio de combustible

En la figura 3 se aprecia claramente el cambio producido en lo referente a las fuentes de energía utilizadas en la industria cerámica de Castellón a lo largo de los últimos 20 años.

Mientras que en los años 80 la mayor parte de la energía térmica procedía de la combustión, fundamentalmente de fuelóleo y gasóleo (había algunos hornos que usaban leña), en la actualidad han sido sustituidos prácticamente en su totalidad por gas natural.

¿Cuál ha sido la consecuencia?

La combustión del gas natural es, en general, mucho menos contaminante que la de los combustibles líquidos citados pero, además, el factor de emisión de dióxido de carbono, es decir la cantidad de CO_2 que se emite por cada unidad de energía producida durante la combustión, es también mucho menor. En efecto, para obtener una termia (1000 kilocalorías ó 4.180 kJ) de energía mediante la combustión de fuelóleo se emiten 378 g de CO_2. En cambio, si esta energía se obtiene por combustión de gas natural dicha emisión es de 262 g de CO_2, es decir se reduce en un 30%.

Cambios en la tecnología de fabricación

En la figura 4 se aprecia la evolución experimentada por la técnica de cocción desde el año 1980. Propiciado por la disponibilidad de un combustible cuyos gases de combustión son mucho más limpios que los de los combustibles líquidos, se produjo un cambio tecnológico muy importante en la etapa de cocción del proceso de fabricación de baldosas cerámicas.

De los hornos túnel y de canales, muflados para evitar el contacto directo de los gases con las piezas cerámicas, mayormente empleados en los años 80, se pasó a utilizar hornos monoestrato de rodillos con mucho mejor rendimiento energético para cocer las piezas. Además, a partir del año 1980 la técnica de monococción, en la que el soporte se cuece conjuntamente con el esmalte, fue sustituyendo progresivamente a la de bicocción, en la que las piezas sufren dos cocciones: la primera para obtener el soporte cerámico cocido con la resis-

tencia mecánica y porosidad adecuada (comúnmente denominado bizcocho) y la segunda para obtener el recubrimiento vidriado. Actualmente solo alrededor de un 9% de la producción de baldosas esmaltadas se realiza por bicocción rápida en hornos de rodillos.

Si se considera conjuntamente la influencia de la sustitución de combustibles líquidos por gas natural y de hornos túnel y multicanal por hornos monoestrato de rodillos, en la figura 5 puede apreciarse el ahorro energético que han supuesto dichos cambios.

Mientras que en el proceso de bicocción tradicional con fuelóleo el consumo de energía se situaba entre 25 y 45 te/m^2, la utilización de hornos monoestrato de rodillos y gas natural supuso rebajar el consumo a 15-25 te/m^2, es decir a la mitad, reduciéndose considerablemente la duración del ciclo de cocción.

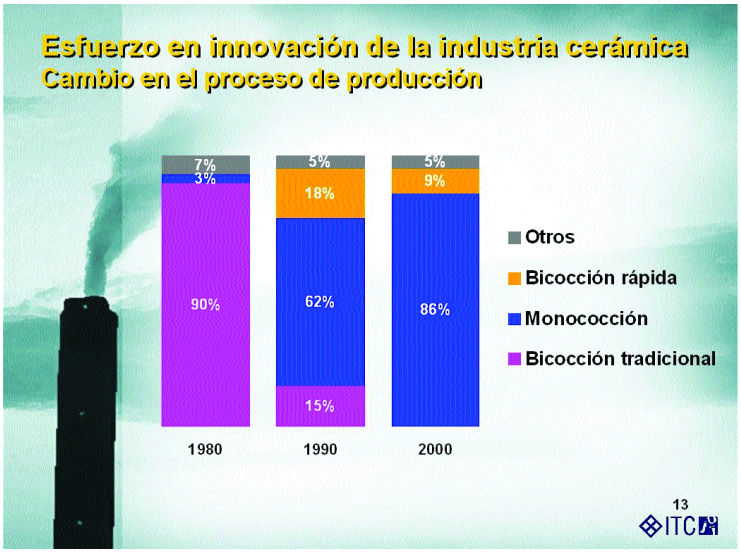


Figura 4. Evolución de las emisiones por unidad de producción.

Esta disminución del consumo de energía se debe principalmente a la eliminación del material inerte (placas de refractario) de transporte de las piezas, con alto calor específico, y a la mejora de la transmisión de calor por convección y radiación entre los gases de combustión y las piezas, al posibilitar un contacto directo entre ambos, debido al empleo de un combustible más limpios. En los hornos muflados el único mecanismo de transmisión de calor era prácticamente la radiación.

Tanto el cambio tecnológico (horno de rodillos y técnica de monococción), como el empleo de un combustible con menor factor de emisión de CO_2, han conducido a una reducción drástica de la emisión específica de dióxido de carbono.

De alrededor de una media de 13 kg de CO_2/m^2 emitidos utilizando la técnica de bicocción tradicional y fuelóleo como combustible, se ha pasado a una media de 5 kg de CO_2/m^2 utilizando hornos monoestrato de rodillos, la técnica de monococción y gas natural, habiéndose producido una reducción de emisiones gaseosas del 60%.

Implantación de sistemas de cogeneración de energía eléctrica y térmica

Otra de las innovaciones incorporadas al proceso de fabricación de baldosas cerámicas es la utilización de sistemas de cogeneración.

Un sistema de cogeneración es una instalación en la que se produce conjuntamente energía eléctrica y térmica, ésta última en forma de gases calientes, a temperatura suficientemente elevada como para poder aprovechar su energía para determinados tratamientos térmicos.

En numerosas fábricas se han implantado sistemas de cogeneración donde entre el 30 y el 40% de la energía producida en la combustión del gas natural se emplea para producir energía eléctrica, que es consumida en la propia planta o vendida a la red eléctrica. Una vez que los gases de combustión se han utilizado para mover la turbina del generador produciendo energía eléctrica, como están a temperatura suficientemente elevada se utilizan para evaporar el agua de la suspensión que se introduce en el secadero por atomización.

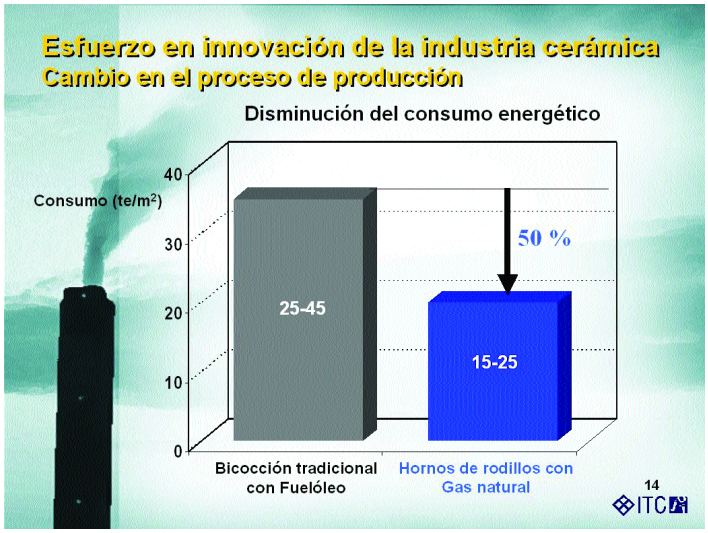


Figura 5. Ahorro energético debido a cambios de proceso.

Esta doble utilización hace que el rendimiento global de este tipo de instalaciones de cogeneración, energía total (eléctrica + térmica) producida referida a la generada por la combustión del gas natural que se alimenta, sea muy elevado, estando comprendido entre el 90 y el 95%.

Si se compara el rendimiento de una instalación de cogeneración, con el de las centrales termoeléctricas, utilizadas tradicionalmente para la generación de energía eléctrica, estás tienen un rendimiento energético mucho menor que se sitúa entre el 35%, en el caso de las centrales térmicas más antiguas que utilizan carbón como combustible, y el 55% en las modernas centrales de ciclo combinado que utilizan gas natural.

Estos rendimientos tan bajos se deben fundamentalmente a que, en estas centrales, los gases de combustión, después de atravesar la turbina, raramente se pueden aprovechar, a efectos térmicos, porque habitualmente estas centrales se encuentran alejadas de procesos industriales en los que podría utilizarse la energía residual de los gases calientes.

Si se compara las emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera de las diferentes centrales termoeléctricas, y de los sistemas de cogeneración empleados en los atomizadores se obtiene que, estos últimos, producen la cuarta parte de emisiones de dióxido de carbono, por termia generada que las centrales termoeléctricas de carbón o fuelóleo y prácticamente la mitad que las de las centrales de ciclo combinado alimentadas con gas natural.

En la industria cerámica de Castellón se ha realizado un gran esfuerzo inversor para utilizar sistemas de cogeneración.

Desde el año 1989, en el que entró en funcionamiento la primera instalación de cogeneración, se han construido un total de 80 plantas de diferente tamaño que tienen una potencia total instalada de 275 MW (la central térmica de ciclo combinado recientemente inaugurada en Castellón genera 300 MW). Estas instalaciones han supuesto una inversión de entre 100 y 130 millones de euros.

En la actualidad el sector cerámico de Castellón produce, por cogeneración, toda la energía eléctrica que consume, que es de alrededor de 1600 GWh al año.

Sin embargo, en este momento, la instalación de nuevos sistemas de cogeneración se encuentra paralizada, fundamentalmente por dos factores: la deceleración en la producción de baldosas y la baja rentabilidad actual de las instalaciones de cogeneración. La rentabilidad de este tipo de instalaciones está íntimamente ligada a la relación entre el precio de venta de la energía eléctrica cogenerada y el precio del gas natural consumido. Si disminuye o se estabiliza el precio que se paga por la energía eléctrica que se consume o es susceptible de ser vendida, y sube el precio del combustible necesario para generarla, la rentabilidad de la instalación se reduce considerablemente. Pues bien, a lo largo de los últimos 5 años, el precio de la energía eléctrica cogenerada se ha mantenido más menos constante mientras que el precio del gas natural ha aumentado. Como consecuencia de ello la rentabilidad de las instalaciones de cogeneración se ha reducido considerablemente, del orden del 31%, en los últimos cinco años.

No obstante, las instalaciones de cogeneración son un instrumento adecuado para contribuir a cumplir con los compromisos que derivan de la aplicación del Protocolo de Kioto, por lo que hay que promover su instalación donde sea posible, siendo los secaderos por atomización la etapa de fabricación idónea para utilizarlas.

Acciones de ahorro de energía

Durante los últimos años se ha realizado un esfuerzo adicional para aplicar una serie de acciones de ahorro energético en el proceso de fabricación que han contribuido a situar las emisiones específicas de dióxido de carbono en los valores mínimos actuales.

Entre las más importantes cabe destacar las siguientes:

- El aumento del contenido en sólidos de las suspensiones utilizadas en el secadero por atomización, fundamentalmente mediante el empleo de desfloculantes adecuados, añadidos a la suspensión en la proporción idónea (Blasco *et al* 1982, Blasco *et al* 1986).
- Las acciones para controlar automáticamente las etapas de mayor consumo energético. Por ejemplo, la automatización del secadero por atomización, que permite mantener constante la humedad del sólido atomizado resultante y reducir el tiem-

po en el que se alcanza el régimen normal de funcionamiento del atomizador, lo cual redunda en un menor consumo energético (Negre *et al* 1994).

- La utilización de variadores de frecuencia en las máquinas eléctricas, sobre todo en los molinos empleados para preparar las suspensiones para el atomizador y los esmaltes y en los ventiladores que provocan la convección forzada de los gases en las diferentes secciones del horno (Nasseti y Palmonari 1992).
- La reducción del caudal y el aumento de la temperatura del aire de combustión en los quemadores del horno (Blasco *et al* 1993; Enrique *et al* 1995, 1998).
- El ajuste de la curva de variación de la presión estática de los gases, a lo largo del horno (Blasco *et al* 1992).
- El reciclado de gases calientes entre distintas etapas del proceso, para aprovechar al máximo su energía residual (Mallol *et al* 2002).
- La intensificación de las labores de mantenimiento de las instalaciones, sobre todo del horno, donde el consumo de energía es mayor, prestando atención por ejemplo a la reducción de las pérdidas de calor a través de las paredes del mismo.
- El empleo de oxígeno puro, en los hornos de fusión de fritas, en lugar de aire, lo que permite disminuir el caudal del comburente (no es necesario calentar el nitrógeno que acompaña al oxígeno en el aire), reduciendo el consumo y las emisiones de dióxido de carbono.
- Una mayor atención del personal técnico de planta a algunos parámetros del proceso especialmente sensibles al consumo de energía, como el contenido en sólidos de las suspensiones que se introducen al atomizador, la duración de los ciclos de cocción, etc., lo que supone una mayor concienciación e implicación de dicho personal.

Para el desarrollo de todas las acciones descritas, las empresas del sector cerámico han contado con el apoyo y colaboración del Instituto de Tecnología Cerámica (ITC). Colaboración que ha consistido en la realización de trabajos de I+D y de asistencia técnica con las empresas para evaluar la viabilidad técnica y el impacto económico de las diferentes acciones, difundiendo posteriormente estos conocimientos, ya desde el año 1986, para que pudiesen aplicarse en el mayor número posible de empresas españolas mediante la publicación de libros, artículos científicos en revistas especializadas de amplia difusión en el sector cerámico y mediante la presentación de comunicaciones a Congresos. En todo caso, hay que insistir en el hecho de que gran parte de los trabajos realizados han tenido bastante mayor repercusión económica en el sector cerámico que bibliométrica.

No se ha de olvidar la labor de formación realizada a través de los cursos de reciclaje organizados para los técnicos del sector cerámico o en la docencia impartida en los estudios de Ingeniería Química con especial orientación a la Tecnología de materiales cerámicos, que se imparten en la Universitat Jaume I de Castellón; titulación cuyo profesorado está constituido en un 65%, por profesores integrados en el Instituto de Tecnología Cerámica.

Perspectivas de futuro

En este momento cabe preguntarse ¿pueden las empresas adoptar nuevas medidas para reducir en mayor medida sus emisiones específicas de dióxido de carbono a la atmósfera?

A corto plazo, no se esperan grandes cambios en el proceso de fabricación, a semejanza de los que supusieron en su momento la sustitución de combustibles y la introducción del horno monoestrato, que permitan disminuir sustancialmente las emisiones.

Como se ha apuntado anteriormente, ha de potenciarse, en la medida de lo posible, la instalación de sistemas de cogeneración eléctrica.

Ahora bien, es imprescindible seguir abordando acciones de investigación y desarrollo tecnológico que propicien la implantación, a medio plazo, de tecnologías más limpias y eficientes. Para llevar a cabo estas acciones, se requiere un esfuerzo por parte de todos: empresa, administración e investigadores. Aún cuando su efectividad no puede garantizarse a corto plazo, vale la pena intentar desarrollarlas.

Entre las posibilidades existentes pueden apuntarse las siguientes:

- Ensayar la efectividad de calentar las suspensiones de las materias primas que se van a introducir al atomizador, reduciendo de este modo su viscosidad por lo que quizás podría aumentarse su contenido en sólido, haciendo falta evaporar menos agua para producir la misma cantidad de polvo atomizado.
- Emplear en la operación de atomización líquidos más volátiles que el agua para obtener la suspensión de sólidos. El agua tiene un calor latente de evaporación muy elevado. Pueden buscarse otros líquidos que precisan de una menor energía para ser evaporados y cuya utilización reduciría las emisiones de dióxido de carbono pero esto complicaría la instalación (recuperación, etc.).
- En la etapa de secado de piezas podrían utilizarse otras tecnologías, que se están empleando en otros sectores industriales y que son más respetuosas con el medio ambiente, como el aporte de la energía necesaria por microondas.
- Existen aditivos que aportan plasticidad a las arcillas y resistencia mecánica a los soportes en seco, haciendo viable, en principio, la posibilidad de tratar de eliminar la operación de secado.
- Por lo que se refiere a la operación de cocción podrían incorporarse a la composición de los soportes sustancias que desarrollen reacciones de descomposición exotérmicas, (siempre que no creen problemas) aportando de esta forma parte del calor necesario para la cocción de las piezas.

Los hornos son máquinas térmicas poco eficientes. Únicamente entre el 20 y el 25% de la energía alimentada se utiliza en las transformaciones físico-químicas necesarias para obtener el producto final. El resto se pierde fundamentalmente por las chimeneas y las paredes. La corriente de la chimenea de enfriamiento, por la que se pierde alrededor del 30% de la energía aportada, podría aprovecharse ya que está constituida fundamentalmente por aire caliente. Algunos fabricantes de hornos trabajan en nuevos diseños para aprovechar o reducir las pérdidas de calor a través de las paredes.

Si se analiza el proceso de fabricación globalmente desde el punto de vista energético, existe un excedente de energía que se pierde por las chimeneas de los hornos, atomizadores, secaderos, etc. Por otra parte, y cada vez más, existen necesidades de refrigeración en, por ejemplo, oficinas, exposiciones, etc. Los sistemas refrigeración por absorción permiten enfriar una corriente de gases a partir del calor procedente de un foco térmico. Esta tecnología se está aplicando actualmente en alguna empresa fabricante de fritas de Castellón y podría extenderse a otras aplicaciones.

En los hornos de fabricación de fritas pueden utilizarse quemadores regenerativos. En este tipo de quemadores, un lecho cerámico se calienta a partir de los gases de combustión para, posteriormente, utilizar esta energía en precalentar el aire de combustión. El ahorro de energía que podría obtenerse estaría entre el 30 y el 35%.

Finalmente es importante poner de manifiesto que, en este momento, el uso de energías alternativas en el sector cerámico es prácticamente nulo. Si bien difícilmente podrán sustituir completamente a los combustibles fósiles en el proceso cerámico, cabe pensar en la posibilidad de complementarlos en algunas aplicaciones. En esta línea el ITC participa, junto con la Asociación para la Promoción del Diseño Cerámico (ALICER), en un proyecto del Plan Nacional de I+D del Ministerio de Medio Ambiente para estudiar la viabilidad técnica de emplear energía solar en los procesos de fabricación de fritas y baldosas cerámicas.

Como ven, el horizonte es prometedor y las posibilidades variadas y atractivas. Simplemente debemos iniciar el camino de convertirlas en realidades.

Bibliografía

Blasco, A.; Enrique, J.E.; Arrébola, C. (1982) Los defloculantes y su acción en las pastas cerámicas para atomización. *Técnica Cerámica*, 106, 834-847.

Blasco, A.; Felíu Mingarro, C.; Monzó, M.; Enrique, J.E. (1986) Measures to Save Spray Dryer Energy in Wall and Floor Tile Plants. *Interbrick,* 2(4), 30-33.

Blasco, A.; Carda, L.; Mallol, G.; Monfort, E. (1992) Optimización de las condiciones de funcionamiento en hornos monoestrato (I). Curva de presiones. *Técnica Cerámica,* 206, 585-593, 1992.

Blasco, A.; Enrique, J.E.; Mallol, G.; Monfort, E. (1993) Optimización de las condiciones de funcionamiento en hornos monoestrato (II). Caudal de aire de combustión. *Técnica Cerámica,* 218, 716-729.

Decisión 2002/358/CE del Consejo, de 25.4.2002, relativa a la aprobación, en nombre de la Comunidad Europea, del Protocolo de Kioto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y al cumplimiento conjunto de los compromisos contraídos con arreglo al mismo (DOCE L 130, 15.5.2002)

Directiva 2003/87/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, por la que se establece un régimen para el comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero en la Comunidad y por la que se modifica la Directiva 96/61/CE del Consejo (DOL 275 25.10,2003)

Enrique, J.E.; Blasco, A.; Monfort, E.; Mallol, G. (1995) Improving energy efficiency in single-deck kilns by optimization of the process variables. *Cfi Ber. DKG,* 72(5), 255-260.

Enrique, J.E.; Mallol, G.; Páramo, M.; Salvá, E. (1996a) Evolución de los consumos de energía térmica y eléctrica en el sector de baldosas cerámicas. *Técnica Cerámica,* 246, 466-477.

Enrique, J.E.; Mallol, G.; Páramo, M.; Salvá, E. (1996b) Influencia de la evolución tecnológica sobre el consumo energético en la fabricación de baldosas cerámicas. *Cerámica Información,* 222, 3-12.

Enrique, J.E.; Mallol, G.; Páramo, M.; Salvá, E. (1996c) Aspectos energéticos y medioambientales de la fabricación de baldosas cerámicas. *Técnica Cerámica,* 247, 557-565.

Enrique, J.E.; Mallol, G.; Monfort, E.; Cantavella, V. (1998) Racionalización de energía en hornos de cocción de baldosas cerámicas. *Cerám. cristal,* 124, 21-32.Real Decreto Ley 5/2004, de 27.8.2004, por el que se regula el régimen del comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero (BOE 208 28.8.2004)

IPEAE (1990). Ahorro energético en el sector azulejero. IPEAE. Consellería de Industria, Comercio y Turismo. Generalitat Valenciana. 2ª edición.

Mallol, G.; Mezquita, A.; LLorens, D.; Jarque, J.C.; Sahún, J.; Valle, F. (2002) Estudio de la operación de secado de los soportes de las baldosas cerámicas en secaderos verticales. *Técnica Cerámica,* 304, 805-817.

Nassetti, G.; Palmonari, C. (1992) Optimización de la molienda en húmedo mediante la aplicación de inverter en los molinos de tambor. En: Qualicer 92 : Congreso Mundial de la Calidad del Azulejo y del Pavimento Cerámico. Castellón: Cámara Oficial de Comercio Industria y Navegación, p. 221-227.

Negre, F.; Jarque, J.C.; Felíu, C.; Enrique, J.E. (1994) Estudio de la operación de secado por atomización de polvos cerámicos a escala industrial, su control y automatización. *Técnica Cerámica*, 228, 736-744.

Real Decreto Ley 5/2004 de 27.8.2004, por el que se regula el régimen del comercio de derecho de emisión de gases de efecto invernadero (BOE 208 28.6.2004)

Real Decreto 1866/2004 de 6.9.2004, por el que se aprueba el Plan nacional de asignación de derechos de emisión (PNA), 2005-2007 (BOE 216 7.9.2004) [modificado RD 60/2005] Corrección de erratas (BOE 217 8.9.2004)

Timellini, G.; Blasco, A. (1993) Energy Consumptions and carbon Dioxide Emissions in the Ceramic Tile Sector: Italy and Spain. *Ceram. Acta,* 5(1/2), 41-50.

Conclusiones

Este simposio tiene por título: *Simposio Internacional sobre el Cambio Climático*, pero el subtítulo es tan o más importante: *desde la Ciencia a la Sociedad*, que es el importante viaje que este tema ha efectuado en los últimos treinta años.

Este ha sido el eje que ha guiado el programa y el contenido del mismo. Ya que el Cambio Climático ha dejado de ser un tema tratado únicamente en los círculos científicos, para pasando por la esfera política más internacional: *Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*, aprobado en la Conferencia de Río de Janeiro en 1992; y el *Protocolo de Kioto* en 1997, llegar hasta el ámbito del ciudadano de a pie.

La idea conductora fue analizar el conocimiento actual del estado de la cuestión, efectuar un recorrido desde el diagnóstico de la situación más inmediato a las consecuencias del Cambio Climático, en especial en el contexto europeo y español. Pero analizando varios de los factores causales como son el marco energético y el sector de transporte.

La primera ponencia, presentada por el Dr.Thomas Voigt del "Federal Environmental Agency European Topic Centre/Air and Climate Change" de la Unión Europea, tenía como objetivo presentar los recientes resultados del estudio efectuado por la UE sobre los impactos del Cambio Climático en el contexto del continente europeo. Pone de manifiesto "*que los cambios climáticos debidos al proceso de calentamiento global del planeta ya se están produciendo, que no son para finales de este siglo XXI, sino que ya esta afectando a la atmósfera y al clima; a los glaciares; a los ecosistemas marinos, terrestres y a la biodiversidad; a los sistema hídricos; a la agricultura, a la economía, y a la salud humana*".

La ponencia presentada por el Dr. Joan Grimalt del Instituto de Investigaciones Químicas y Ambientales de Barcelona (CSIC) y Premio Rey Jaime I de Medio Ambiente 2005, nos pone en aviso de que "*la predicción del IPPC se ha elaborado a partir de la extrapolación de la situación climática actual, suponiendo que los procesos climáticos esenciales no cambiarán a pesar del gran aumento de CO_2 en la atmósfera y que simplemente tendremos una*

transición suave hacia la situación de mayor temperatura atmosférica debido al efecto invernadero. Esta suposición no se basa en ningún principio científico, simplemente es la hipótesis más razonable ante la falta de datos sobre la posibilidad de alteraciones del sistema climático actual. A pesar de ello, los científicos que tratan estos temas saben que existe el riesgo de alteraciones de aspectos básicos del funcionamiento climático como por ejemplo el mecanismo de la circulación termohalina. Si ello ocurriese, la desestabilización del clima en que vivimos ahora sería monumental y posiblemente el hemisferio norte iría a un episodio glacial que podría durar unos cuantos miles de años. Estos procesos han ocurrido regularmente en el pasado reciente del planeta y se conocen como cambios abruptos".

El Dr. Mariano Marzo del Dept. de Estratigrafía, Paleontología i Geociencias Marinas, Facultad de Geología de la Universidad Barcelona, presentó una ponencia sobre el panorama energético actual y previsible para los próximos treinta años, en el horizonte del año 2030, donde puso de manifiesto, "*que las previsiones son un fuerte aumento de la demanda energética mundial, basada en el uso de los combustibles fósiles, con una creciente participación del gas natural y un declive del petróleo, todo ello a pesar del crecimiento del uso de las energía renovables y de los biocombustibles. Pero, que debido a ello las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera experimentarán un aumento del orden del 62% respecto a los niveles actuales. Dos tercios de este crecimiento tendrá lugar en los países en desarrollo y los países industrializados que hayan firmado el Protocolo de Kioto afrontarán serias dificultades para cumplir sus compromisos*".

El Dr. Cristóbal Burgos, Adviser Conventional Sources of Energy en el Directorate General for Energy and Transport de la Comisión Europea, analizó el tema del transporte, que en estos momentos constituye el sector que ejerce una mayor demanda de recursos energéticos y con una tendencia al alza, además de considerar las diversas alternativas que en este sector se están prefigurando. Señaló, "*que el desarrollo de una política energética en el sector del transporte es difícil. Por una parte el petróleo es un combustible de buena calidad con una estructura de distribución sofisticada y desarrollada en todo el mundo. Además los consumidores tanto individuales como empresas no cambian fácilmente sus hábitos de transporte. Y por último desde un punto de vista político los cambios a introducir son difíciles de llevar a cabo por los gobiernos. Las medidas efectivas son difíciles políticamente como prueba las resistencias para introducir el pago por el uso de las infraestructuras de transporte. A nivel europeo los biocarburantes son la medida más efectiva de las introducidas hasta el presente. En el año 2010 con las políticas ya aprobadas se podría ahorrar en total 39 millones de tep anuales que a nivel de la UE representan el 10% de la demanda final de productos petrolíferos en el transporte estimada para el mencionado año 2010. Y lo que es más importante, este ahorro sería equivalente al 80% del aumento previsto de productos petrolíferos en la presente década en el sector. La importancia de estas cifras pone de manifiesto dos cosas: la necesidad de que los Estados miembros pongan en marcha las políticas ya decididas a nivel de la UE. Por otra parte es evidente que si queremos minimizar los problemas de seguridad en el abastecimiento y reducir las emisiones de CO_2 en el transporte estos ahorros no son suficientes. Hay que hacer frente al futuro con nuevas políticas que tienen un coste político y financiero inevitable*".

A continuación el Dr. Antonio Ruiz de Elvira Serra, catedrático del Departamento de Física de la Universidad de Alcalá, presento la ponencia: España ante el cambio climático: lec-

ciones sobre el medio ambiente. Donde analiza las repercusiones que el Cambio Climático puede tener en la península Ibérica. Nos indica que "*La teoría nos dice algo que nos confirman los resultados: avanzamos, en el siglo XXI, hacia una situación de sequías prolongadas, con el chorro polar en latitudes nórdicas, puntuadas por invasiones bruscas e intensas de lluvias torrenciales. Vamos hacia un clima más extremo, de grandes contrastes*". Poniendo de manifiesto: "*que no estamos en este momento preparados para afirmar nada concreto con una garantía científica sobre el futuro del clima en España. Faltan aún muchos trabajos con diversos modelos, falta aún mucha investigación sobre la dependencia de las predicciones de los parámetros empleados*"; y que ello "*Debemos hacerlo hoy. No podemos esperar a mañana*".

El Dr. Ramón Tamames, catedrático de Estructura Económica de la Universidad Autónoma de Madrid, Cátedra Jean Monnet, Premio Rey Jaime I de Economía 1997 presentó una brillante ponencia sobre: Los costes económicos de Kioto y las reticencias de EE.UU. Analizando las implicaciones económicas y políticas que representa el protocolo de Kioto en el contexto socio-económico mundial actual, y concluyendo que "*Kioto es un gran paso. Pero solamente el primero, en un largo y complejo proceso, absolutamente necesario, para reconciliarnos con Gaia y asumir que los bienes comunes son de todos y que juntos todos hemos de admitirlos de manera racional. Empezando, precisamente, por el aire que respiramos*".

El Dr. Julio Díaz Jiménez de la Universidad Autónoma de Madrid, analizó el impacto sobre la salud humana, centrándose especialmente sobre los aspectos de la relación entre los eventos térmicos extremos y la morbi-mortalidad. Señala que "*es claro que los extremos térmicos asociados al cambio climático van a tener un efecto directo sobre la morbilidad-mortalidad*". Y nos indica que "*en España, según datos no oficiales, se ha producido un exceso de mortalidad de más de 6000 personas respecto al mismo periodo del año anterior*", debido a la ola de calor del verano del año 2003.

Dr. José Luis Rubio, Premio Rey Jaime I a la Protección del Medio Ambiente 1995, CIDE, Universidad de Valencia, CSIC, analiza las influencia sobre los ecosistemas terrestres de los riesgos de desertificación, indica "*la estrecha interconexión entre los factores climáticos, los procesos de desertificación y la diversidad biológica, al menos en las zonas áridas, semiáridas y seco-subhúmedas del Planeta que obliga a planteamientos globales e integrados*". Y señala que "*las consecuencias de los procesos de desertificación se exportan a otras zonas no directamente afectadas y producen multitud de consecuencias trans-sectoriales. Entre otros aspectos cabe señalar los impactos en los movimientos de migración de la fauna, los cambios en los flujos de radiaciones atmosféricas, los efectos en la dinámica erosión/sedimentación, los cambios en los ciclos biogeoquímicos y las importantes consecuencias en las migraciones humanas como efecto del empobrecimiento de los recursos de la tierra*".

Dr. Millán Millán, director de la Fundación Centro de Estudios Ambientales del Mediterránea (CEAM). Del trabajo presentado se deduce "*que las posibles causas de las perturbaciones observadas en el régimen de precipitaciones de la cuenca mediterránea occidental son principalmente: los cambios de uso del suelo que resecan la superficie, aportando más calor y menos humedad a la masa de aire superficial, y los cambios en la composición atmosférica. En estos procesos, la altura de las montañas costeras puede considerarse como uno de los umbrales críticos del sistema climático de la cuenca mediterránea occidental. Finalmente,*

en el mar Mediterráneo existe un desequilibrio entre el vapor de agua evaporado y el que se precipita en la misma cuenca, si aumenta la cantidad de vapor de agua (no precipitado en las circulaciones costeras y acumulado sobre el mar) que es advectado a otras regiones, tendería a aumentar el desequilibrio existente hacia una mayor contribución de agua salada del Mediterráneo hacia el Atlántico. Este aporte de agua salada se sabe que contribuye a la circulación termohalina en el Atlántico y puede perturbar la Oscilación del Atlántico Norte e influye, a su vez, en el comportamiento de las borrascas atlánticas".

El Dr. José Mª Baldasano, Premio Rey Jaime I a la Protección del Medio Ambiente 1997 y experto del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC), señala "*el importante papel de la Unión Europea asumir las consecuencias del cambio climático inducido por la actividad humana, asumiendo el Protocolo de Kioto como el primer instrumento base para adoptar la realidad socio económica a dicho envite. Así como, el liderazgo en el marco de post-Kioto, definiendo un objetivo de intentar limitar la concentración de CO_2 en la atmósfera a 550 ppm para el año 2050. Al objeto de conseguir una estabilización del aumento de la temperatura en 2 ºC"…"El uso de las energías renovables, el ahorro energético, y la mejora de la eficiencia energética, ya no son un deseo sino una absoluta necesidad, frente al incremento exponencial de la demanda de recursos energéticos que se esta produciendo, no sólo por el grado de desarrollo económico de los países económicamente fuertes, sino también por la emergencia de países como China y la India"…"En el contexto español, existe una necesidad urgente de revisar en profundidad el sector transporte, que se ha convertido en el sector que más emite, con una clara tendencia a incrementar dicha emisión, y el sector de la edificación y construcción que también debería ser objeto de una fuerte atención, afín de disminuir el gasto energético en iluminación, calefacción y climatización"*. Finalmente, indica "*la dificultad que tendrá España de cumplir con sus objetivos en el Protocolo de Kioto*".

Arturo Gonzalo Aizpiri, Doctor en Ciencias Químicas y Secretario General para la Prevención de la Contaminación y el Cambio Climático en el Ministerio de Medio Ambiente, presentó las líneas directrices de la política española sobre el Cambio Climático, "*poniendo de manifiesto el retraso existente y centrándose especialmente en su principal esfuerzo actual: el Plan Nacional de Asignaciones, al objeto de asumir las directivas de la UE en este tema, que propone un cambio de tendencia del vertiginoso crecimiento de las emisiones para el periodo 2005-2007, y una reducción más intensa en 2008-2012"*. Pero que se centra únicamente en el sector eléctrico e industriales, sin tener en consideración las emisiones llamadas difusas derivadas del sector transporte y terciario, de acuerdo al mandato de la UE.

El Dr. Agustín Escardino, Premio Rey Jaime I a las Nuevas Tecnologías 2002, fundador del Instituto de Tecnología Cerámica de la Universidad Jaume I de Castellón, en su ponencia pone de manifiesto "*el trabajo de adaptación que esta haciendo y deberá hacer el sector industrial en asumir los retos que representa el cambio climático, y para ello escogió el esfuerzo en innovación de la industria cerámica de la Comunidad Valenciana, para reducir las emisiones gaseosas, en especial de dióxido de carbono, mediante cambios de combustible, cambios en la tecnología de fabricación, y acciones de ahorro de energía*".

Como mensaje final, sólo indicar que en los últimos cinco años las evidencias de que está ocurriendo un notable calentamiento global provocado por el hombre son numerosas, e incluso si las emisiones de gases de efecto invernadero se estabilizaran, el clima seguiría cambiando, siendo la especie humana la que probablemente se vea más afectada.

También, que este proceso inicial de calentamiento, si tuviera lugar el colapso de la circulación termohalina en el Atlántico Norte, podríamos pasar de una forma bastante brusca a un clima frío, ventoso y seco en el hemisferio norte.

El envite es tremendo. Es por nuestro propio interés que debemos actuar.

Desde aquí, como responsable de la organización de este simposio y editor de sus ponencias, quiero agradecer a la Generalitat Valenciana la oportunidad de su realización y publicación.

También agradecer a todos los ponentes sus conocimientos, su disponibilidad y tiempo, que ha permitido finalmente esta publicación que surgió de una forma espontánea y voluntaria entre todos. Como reflejo de la atmósfera de comunicación que se produjo durante la celebración del mismo; y la trascendencia del tema.

Dr. José Mª Baldasano