



# Energía, sostenibilidad y Estado del bienestar

# Energía, sostenibilidad y Estado del bienestar



CAPITULO ESPAÑOL  
*del*  
**CLUB DE ROMA**  
GRUPO VALENCIANO

compromiso social.  
**Bancaja** 

## **CAPÍTULO ESPAÑOL DEL CLUB DE ROMA**

### **Presidente**

Isidro Fainé Casas

### **Presidente Honorario**

Ricardo Díez Hochleitner

### **Vicepresidentes**

M.<sup>a</sup> Teresa Mendizábal Aracama

José Manuel Morán Criado

### **Vocales**

Rafael Blasco Castany

Juan Luis Cebrián Echarri

Diego Hidalgo Schnur

José Ramón Lasuén Sancho

Federico Mayor Zaragoza

Emilio Muñoz Ruiz

Saturnino de la Plaza Pérez

Rafael Puyol Antolín

Carlos Robles Piquer

Joan Rosàs Xicota

Pedro M.<sup>a</sup> Ruiz Aldasoro

José Manuel Suárez del Toro

Darío Villanueva Prieto

Rafael Villaseca Marco

### **Secretario general**

Fernando Lanzaco Bonilla

## **Coordinador de la edición**

Rafael Blasco Castany

### **Autores**

Rafael Blasco Castany

Ian Johnson

Günther H. Oettinger

Rolf Tarrach

Vaclav Smil

Ángel Pérez-Navarro Gómez

Josep Maria Felip i Sardà

Guillermo Sánchez Plaza

Pedro Fernández de Córdoba Castellá

Javier Urchueguía Schölzel

Juan José Gómez Cadenas

M. Teresa Mendizábal Aracama

Manuel Toharía Cortés

Juan Vicente Sánchez Andrés

Millán M. Millán

Juan Manuel Badenas Carpio

Antonio Sánchez Andrés

Antonio Cejalvo Lapeña

### **Edita**

Grupo Valenciano del Capítulo Español  
del Club de Roma

### **Diseño**

Fèlix Bella

### **Impresión**

Presval, SA

Depósito legal

Los análisis, opiniones y conclusiones vertidas en esta publicación representan las ideas de los autores con los que no necesariamente coincide la Fundación Bancaja, por lo que no se hace responsable de estas.

### ***Agradecimientos***

*Antes de la decisión es necesario el debate,  
y antes que este, la idea.*

*De ideas y experiencias se nutre este libro.*

*Y de ahí el agradecimiento  
a sus autores por sus aportaciones.*

# Índice

La energía y los límites al crecimiento: visiones para un futuro sostenible	9
<i>Isidro Fainé. Presidente del Capítulo Español del Club de Roma</i>	
Prólogo	11
<i>Rafael Blasco Castany</i>	
Dedicatoria	13
<i>Ian Johnson</i>	
Prefacio/Foreword	15
<i>Günther H. Oettinger</i>	
¿Por qué no vendemos electricidad solar?	19
<i>Rolf Tarrach</i>	
Cinco cosas que no debemos hacer con la energía	23
<i>Vaclav Smil</i>	
Introducción al ciclo	31
<i>Ángel Pérez-Navarro y Josep María Felip i Sardà</i>	
Energía, sostenibilidad y Estado del bienestar	33
<i>Ángel Pérez-Navarro y Josep María Felip i Sardà</i>	
¿Quién es quién?	45
Energía	65
La energía fotovoltaica como motor del desarrollo	67
<i>Guillermo Sánchez Plaza</i>	
La energía del desierto	75
<i>Ángel Pérez-Navarro Gómez</i>	
Geotermia para la edificación. Panorama europeo y evolución en España	87
<i>Pedro Fernández de Córdoba Castellá y Javier Urchueguía Schölzel</i>	
Energía 'new-clear'	93
<i>Juan José Gómez Cadenas</i>	
La I+D+i en el campo energético	101
<i>M. Teresa Mendizábal Aracama</i>	

**Sostenibilidad 111**

Energía y medio ambiente: una relación de amor-odio 113

*Manuel Toharia Cortés*

La calidad de vida y el desarrollo energético 131

*Juan Vicente Sánchez Andrés*

Perturbaciones climáticas al ciclo hidrológico en la cuenca mediterránea 147

*Millán M. Millán*

Prospectiva de sostenibilidad energética para la Comunidad Valenciana:  
horizonte 2030 169

*Juan Manuel Badenas Carpio*

**Aspectos sociales y geopolíticos 179**

Geopolítica de la energía y las relaciones entre la Unión Europea y Rusia 181

*Antonio Sánchez Andrés*

La política energética en la Comunidad Valenciana: hacia un modelo energético  
sostenible 195

*Antonio Cejalvo Lapeña*

**Conclusiones 209**

Energía nuclear: pasado, presente y futuro 211

# **La energía y los límites al crecimiento: visiones para un futuro sostenible**

ISIDRO FAINÉ

Presidente del Capítulo Español del Club de Roma

El Club de Roma, aunque había sido creado por Aurelio Peccei unos años antes, se dio a conocer a la opinión pública por el informe al Club «Los límites al crecimiento», dirigido por el matrimonio Meadows y realizado con un equipo de colaboradores del MIT. Dicho informe planteaba, por primera vez de forma sistemática, la necesidad de gestionar razonablemente los recursos no renovables del planeta y tuvo una repercusión inmediata al coincidir con la crisis del petróleo de comienzos de los años setenta del siglo pasado.

Su repercusión motivó innumerables controversias, así como algunas descalificaciones sin fundamento, sobre los objetivos que podría tener el Club de Roma con su publicación. Y propició, junto con el desarrollo de la Conferencia de Estocolmo de las Naciones Unidas de ese mismo año sobre medio ambiente, el que las preocupaciones por el futuro de la humanidad se asociaran al consumo de recursos no renovables y a las fuentes energéticas que movían la civilización industrial.

Desde entonces, los debates sobre el empleo de las fuentes de energía conocidas, sobre su repercusión en el efecto invernadero y por ende sobre el cambio climático y sobre la falta de equidad que supone el derroche de recursos, han estado, de manera más o menos implícita, en el centro de los debates sobre el desarrollo humano. Es más, a partir de esos debates surgieron las ideas de sostenibilidad que se fraguaron en la Conferencia de Río de veinte años más tarde. Desde entonces, se ha logrado que las temáticas asociadas a los riesgos de la acción humana sobre el planeta azul sean de dominio y preocupación generalizada.

En todos esos debates late, sin embargo, las expectativas de lograr fuentes de energías limpias y la esperanza de que los avances científico-técnicos hagan posible una civilización que limite las emisiones de gases de efecto invernadero y que sea más eficiente en la gestión de los recursos disponibles. Tales esperanzas son compartidas desde sus inicios por el Club de Roma, que tiene esa con-

fianza en las capacidades humanas para moldear su futuro y para que el desarrollo humano sea asequible a todos los pobladores de la tierra. Para lo cual el Club ha impulsado numerosos debates al respecto y ha visto como las diferentes asociaciones nacionales, como es el caso de nuestro Capítulo, han seguido esta pauta.

De ahí que a nadie le extrañe que el Grupo Valenciano del Club de Roma haya desarrollado este ciclo de «Energía, sostenibilidad y Estado del bienestar» y lo haya hecho a partir de las premisas aludidas anteriormente. Que se concretan en la certeza de saber que la innovación debe orientarse hacia el objetivo de la sostenibilidad y el que tales innovaciones se socialicen lo antes posible para ponerlas al servicio de toda la familia humana.

Para ello, no obstante, el debate debe estructurarse alrededor de los problemas energéticos que atañen a la civilización actual y a las disparidades de desarrollo que se aprecian en las diferentes latitudes. Para luego considerar los pros y los contras de las diferentes fuentes de energía y también las exigencias y condicionantes que la búsqueda de la sostenibilidad impone. Y hacerlo en un contexto donde no se desatiendan las diferentes circunstancias geopolíticas ni las implicaciones que para la cohesión social, la solidaridad intergeneracional y la calidad humana conllevan. Perspectivas, además, en las que se deben aunar los horizontes globales con las expectativas y oportunidades locales.

En las páginas que siguen se recogen estas líneas de análisis y ello se hace reflejando las interesantes aportaciones de unos ponentes muy cualificados que han puesto sus conocimientos, con sus sugerentes exposiciones, al servicio de los debates que ha propiciado el ciclo. Ellos han añadido una visión humanista e interdisciplinar, pues ninguno de los temas que se abordan pueden considerarse al margen de la interdependencia existente entre ellos. Ni verse solo en una raquítica perspectiva de lo inmediato, pues todos ellos han de valorarse atendiendo a las consecuencias a largo plazo y su incidencia en la calidad humana de las generaciones venideras.

A estas generaciones llegarán los avances que ahora se consigan, pero también hay que evitar que los errores y egoísmos del momento dificulten el lograr una civilización más sostenible y equilibrada. Y en la que la felicidad personal y colectiva no sea algo extraño sobre un planeta que solo requiere que se le trate como una herencia a cuidar, sin que se dilapiden sus recursos ni facilidades. Solo requiere, en definitiva, que el buen hacer de los saberes y voluntades de las personas permitan eludir las catástrofes y colapsos que se darán si no se aplica el ingenio y la generosidad obligada con nosotros mismos y con quienes nos sucederán.

# Prólogo

RAFAEL BLASCO CASTANY

Coordinador del Grupo Valenciano del Capítulo Español del Club de Roma

Durante años, el Club de Roma ha sido reconocido por su ya clásico informe «Los límites del crecimiento» al que han seguido nuevas reflexiones e informes que ahondaban en los retos y necesidades de la humanidad. Fue un informe visionario, y ha servido para muchas de las decisiones posteriores e incluso para crear una conciencia *verde* actualmente insoslayable. Infinidad de estudios, debates, tesis académicas y acciones políticas están en deuda con él. Treinta años después continúa vigente en su tesis fundamental: los recursos naturales son finitos y, por tanto, cabe establecer políticas sostenibles que permitan un uso más acorde con su generación.

En los años setenta del pasado siglo, la crisis del petróleo mostró la cara más cruenta de cuanto en aquel estudio se había avanzado. Después llegaría el calentamiento global y sus consecuencias así como la huella ecológica dejada por la humanidad a las generaciones futuras. La energía se ha convertido en estas décadas en el elemento clave para poder continuar manteniendo el estado del bienestar y reducir, a su vez, las desigualdades regionales del planeta. El debate abierto en la actualidad se ha encaminado hacia la consecución de energías más eficientes cuya renovación esté garantizada y represente un legado cero para las generaciones venideras.

En este reto, emprendido por instituciones internacionales y que tiene en el tratado de Kyoto uno de sus hitos, cabe todavía hacer esfuerzos mayores para la consecución de una política energética sostenible en todos los ámbitos, incluido el político.

El Club de Roma se ha caracterizado desde sus orígenes por aportar cuantos debates puedan ser de apoyo a la toma de decisiones, e incluso ha abierto nuevos espacios para el diálogo a modo de cesto de cerezas en el que no solo se presentan debates acotados, sino que muchos de ellos abrazan ámbitos a primera vista dispares, pero que en sus conclusiones aparecen relacionados. Es el caso de las conferencias que precedieron a la edición de este libro y que daban continuidad

a los dos anteriores ciclos basados en «La medicina del futuro» y «El desafío de la inmigración», cuyas ediciones en los libros respectivos han consolidado al Grupo Valenciano del Capítulo Español del Club de Roma como uno de los referentes más activos de este tipo de debates. Entre otras razones, porque desde planteamientos locales, en este caso la Comunidad Valenciana, se han abordado cuestiones globales que trascendían el propio ámbito regional.

Este último ciclo, «Energía, sostenibilidad y Estado del bienestar», ha dado cuenta no solo de los avances en la generación de las nuevas energías, sino que, desde posicionamientos realistas ha planteado las dificultades a las que deben enfrentarse las sociedades actuales en el reto de la sostenibilidad.

Entre las principales conclusiones del ciclo quiero destacar las siguientes: No hay vuelta atrás en la necesidad de buscar fuentes alternativas de energía a las tradicionales basadas en los recursos finitos como el carbón, el petróleo y los gases. En segundo lugar, en una sociedad del riesgo como la que explicita Ulrich Beck en su libro *La sociedad del riesgo: hacia una nueva modernidad*, el período de cambio requiere asumir aquellas dificultades que eviten el colapso de las sociedades actuales. Y en tercer lugar, los acuerdos para la elaboración de nuevos planes de actuación tienen que superar el estricto ámbito nacional para abordarse en foros con capacidad para afrontar los retos del crecimiento sin poner en peligro los reequilibrios regionales.

Quiero agradecer a cuantos ponentes pusieron a disposición del debate sus conocimientos y su experiencia de forma desinteresada por la validez, incluso desde la discrepancia en muchas ocasiones, de sus aportaciones. Un agradecimiento que debo hacer extensivo a cuantas personas, algunas de forma asidua, nos acompañan con sus cuestionamientos, reflexiones y puntos de vista para que estos ciclos se hayan convertido en una seña de identidad del Grupo Valenciano del Capítulo Español del Club de Roma.

Finalmente, es de justicia mostrar nuestro reconocimiento a la Fundación Bancaja por haber acogido este ciclo y por la edición de este libro que, como los anteriores, tiene entre sus objetivos extender cuantas reflexiones puedan servir en la toma de decisiones a responsables políticos, empresariales y universitarios.

# Dedicatoria

IAN JOHNSON

Secretario general del Club de Roma

La gestión del sector energético representa, sin lugar a dudas, un elemento clave en cualquier estrategia que tenga como objetivo la sostenibilidad. La disminución en el uso de los materiales fósiles y, en particular, la cercanía de una era en la que el petróleo será cada vez más escaso, determina que no queda otra elección sino es cambiar nuestros sistemas de producción energética: acabar o disminuir de forma clara nuestra dependencia de las fuentes basadas en el carbono; hacer que nuestro consumo sea cada vez más eficiente, y, globalmente, enfrentarnos al aumento cada vez mayor, de la demanda energética de las economías emergentes. Asimismo, para los países productores de energía atómica, aparecerán nuevas paradojas que deberán resolverse respecto a esta producción energética y, sobre todo si debe formar parte de un futuro con una escasa presencia de carbono. Estos retos solo pueden ser abordados si cambiamos nuestra forma de pensar, nuestros valores y nuestros comportamientos a mediante una responsabilización seria respecto a la sostenibilidad. Podemos elegir invertir de una forma sabia en nuestro futuro común. La elección solo es nuestra.

Managing the energy sector represents a key element of any strategy that centers on sustainability. The depletion of our fossil fuels and, in particular, our close proximity to an era of Peak Oil means that we have no choice but to radically change our energy systems: to switch to low or no carbon sources; to make our consumption as efficient as possible; and, globally, to meet the rising demand for energy from emerging economies. For those countries with nuclear energy, new questions will inevitably be asked about the future of this energy source and the extent to which it should be part of a low carbon future. These challenges can be met if we shift our thinking, our values, and our behaviors towards a serious commitment of sustainability. We can choose to invest wisely in our common future. The choice is ours.



# Prefacio

GÜNTHER H. OETTINGER  
Comisario europeo de Energía

La energía es la sangre de nuestras economías. Nuestras sociedades modernas no pueden funcionar sin ella. Pero a partir de ahora mismo debemos transformar profundamente la manera de producirla y consumirla si queremos seguir disfrutando de nuestras vidas tal como lo hemos hecho hasta ahora.

Se ha puesto en marcha una revolución energética. Los objetivos para el año 2020 han sido establecidos con claridad: 20 por ciento de energías renovables, 20 por ciento a través del incremento de la eficiencia y 20 por ciento de reducción en la producción de dióxido de carbono. Ya estamos, de hecho, mirando al 2050, con un apoyo político asegurado al más alto nivel. Podemos afirmar que es necesaria una mayor integración de la Unión Europea en términos energéticos para poder tener éxito.

La energía constituye el próximo gran proyecto integrador de la Unión. La única forma de cumplir todos nuestros retos y objetivos es con *más* Europa, nunca *menos*.

La crisis actual no puede servir de excusa para ralentizar la integración, sino que debe acelerarla.

Los retos a los que nos enfrentamos son numerosos. Estamos obligados a superarnos en todos los frentes: eficiencia energética, renovables, el mercado interno, infraestructuras, y la dimensión exterior de la política energética.

La Unión Europea está trabajando para producir las estructuras coherentes con el fin de cuadrar el círculo: simultáneamente, debemos mantener nuestra competitividad, asegurar y reforzar nuestro suministro así como descarbonizar nuestros sistemas de producción de energía.

Como los sistemas energéticos tardan décadas en adaptarse, ya estamos trabajando en el plan de acción energético para el año 2050. Los diferentes escenarios nos mostrarán las implicaciones y los costes necesarios para alcanzar una economía de bajo uso de carbono para el año 2050.

Este debate es crucial. Cualquier decisión tomada a nivel nacional para alcanzar el objetivo de la descarbonización del sistema energético debe tener en consideración las consecuencias que puede llegar a tener para los demás estados miembros y el posible impacto sobre todo el sistema energético.

El plan de acción confirmará también la dirección hacia la creación de más negocios de los llamados verdes y más empleos situados en el área de las fuentes de energías renovables, la eficiencia energética y los sectores tecnológicos bajos en carbonos.

Juntos, todos los estados miembros proponen el impulso de objetivos *verdes* y tratan de resolver el doble reto de un crecimiento cada vez mayor, a la vez se tienen que reducir las emisiones de dióxido de carbono, para asegurarse así, una producción energética asequible y competitiva.

Me siento muy orgulloso de comprobar que, de nuevo el Club de Roma, se encuentra a la vanguardia de estas reflexiones fundamentales alrededor de nuestro modelo de sociedad y competitividad. Espero que esta publicación promueva un amplio y animado debate en los meses por venir.

# Foreword

GÜNTHER H. OETTINGER

European Commissioner for Energy

Energy is the lifeblood of our economies. Our modern societies could not function without it. We now have to profoundly transform the way we produce and consume energy to be able to continue enjoying our lives as we do.

An energy revolution has begun. The well known targets for 2020 have been set: 20% renewables, 20% energy efficiency gains, 20% carbon dioxide reductions by the year 2020. We are looking at 2050 already, and have political backing at the highest political levels. There is no doubt that further European integration is needed in energy for us to stand a chance to succeed.

Energy is the next great European integration project. The only way to deliver on all our targets and challenges is through more Europe, not less. The current crisis must not serve as an excuse to slow down European integration, but to speed it up.

The challenges we face are numerous. We have to push forward on all fronts: energy efficiency, renewables, the internal market, infrastructure, and the external dimension of energy policy.

The EU is working to provide the overall coherent framework to square the circle: we must simultaneously maintain our competitiveness, reinforce the security of supply and decarbonise our energy systems.

As energy systems take decades to adapt, we are working on the Energy Roadmap for 2050. The different scenarios will show the implications and costs to reach a low-carbon economy by 2050. This debate is crucial: any national decision on the road to a decarbonised energy system must consider the consequences for other Member States and the impact on the whole energy system.

The roadmap will also confirm the course towards more green businesses and jobs in renewable energy sources, energy efficiency and low-carbon technology sectors. Together, all Member States deliver national green growth objectives, and tackle the dual challenge of increasing growth, while cutting carbon dioxide emissions, ensuring secure, affordable and competitive energy supply.

I am very proud to see that the Club de Roma is, again, at the forefront of these fundamental reflections for our model of society and our competitiveness. I hope that this publication will feed a wide and animated debate in the months to come.

# ¿Por qué no vendemos electricidad solar?

ROLF TARRACH

Rector de la Universidad de Luxemburgo

Las palabras que siguen no son un artículo científico, ni un análisis de una tecnología energética, sino solo una reflexión basada en una experiencia personal, que mis contactos en España me han permitido conocer.

Hace algunos años leí algunos artículos sobre el proyecto Desertec. Este proyecto se basa en unas premisas muy sencillas. Primero, el Sol es una fuente de energía gratuita. Segundo, la producción de electricidad a partir de energía solar concentrada es una tecnología madura y conocida –por cierto, bien desarrollada en España–, que no tiene costes importantes de desmantelamiento de la instalación ni de reciclaje de los materiales utilizados. Esa tecnología puede resumirse en una sola frase: La luz solar concentrada calienta un líquido a alta temperatura, este se evapora, y el vapor, debido a su presión, mueve una turbina o un alternador, que produce electricidad. Tercero, los desiertos ofrecen a buen precio el espacio necesario para captar suficiente luz solar para que el proyecto permita una economía de escala, y por ello tenga un impacto a nivel europeo. Cuarto, las líneas de corriente continua de alta tensión tienen pérdidas de solo un 3 por ciento cada mil kilómetros, por lo que son ideales para transportar a grandes distancias la electricidad producida.

Desertec produciría así un 15 por ciento de la electricidad necesaria en la Europa continental, unos 100 gw, y satisfaría una parte muy importante de la demanda de electricidad de África del Norte y, quizá, de Oriente Próximo. La superficie necesaria sería del orden de unos 2.500 km<sup>2</sup>, es decir la cuarta parte del tamaño medio de una provincia española. Además es una electricidad producida de forma sostenible en casi todos los sentidos de la palabra, ya que la radiación solar nos llega de todas las formas, y si no la utilizamos en el desierto la parte que no se refleja se transforma en calor y erosión. Conviene, pues, utilizarla para producir electricidad. Es cierto que las instalaciones termosolares disminuirían el albedo (reflexión de la luz solar), y contribuirían de esta forma al calentamiento de nuestro planeta, pero esto también ocurre cada vez que se irriga y fer-

tiliza una zona desértica para iniciar actividades agrícolas, y no por ello dejamos de hacerlo.

Aunque sea algo marginal respecto al tema del artículo y probablemente resulte conocido, conviene recordar aquí que el uso de la electricidad como sustituto del petróleo, gas o carbón –los coches eléctricos serían un ejemplo de esta sustitución–, solo disminuye las emisiones de dióxido de carbono si la electricidad –que no es una fuente energética sino un vector– se genera sin utilizar fuentes fósiles, salvo que se secuestre y almacene el dióxido producido, tecnología que aún no conocemos suficientemente y que posiblemente aún necesite algunas décadas de desarrollo.

Antes de entrar en el fondo del asunto, parece lógico mencionar, en el contexto de esta publicación, que el concepto de Desertec fue iniciado bajo los auspicios del Club de Roma

Cuando me informé sobre el proyecto, que está liderado por una serie de grandes empresas alemanas como Munich Re, Deutsche Bank, E.ON, Siemens y otras, pensé inmediatamente en su punto débil, que parece tan obvio que casi no es necesario mencionarlo: dada la inestabilidad política de los países del Magreb, ¿cómo podremos garantizar la seguridad de las instalaciones, su funcionamiento regular y el transporte de electricidad según las reglas del comercio internacional y del libre mercado? Además, ya importamos grandes cantidades de gas y petróleo de estos países, lo que plantea la pregunta de si nos interesa aumentar aún más nuestra dependencia energética de ellos.

El siguiente paso, igualmente obvio, al menos para un español, es pensar en España, y más teniendo en cuenta que Abengoa participa en el consorcio Desertec y que Siemens es una empresa muy presente en España. Recuerdo de mi etapa de presidente del CSIC que los científicos de los institutos en los que se estudia la desertificación del territorio español afirmaban, con la incertidumbre que siempre caracteriza estas afirmaciones sobre el futuro climático, que en un futuro no muy lejano un tercio del país será desierto o al menos terreno desértico. Un tercio del país es muchísimo más que lo que necesita Desertec, incluso teniendo en cuenta que la intensidad energética de la radiación solar en el sur español es inferior a la que ofrece el Sahara. Así pues, tenemos el Sol, el terreno desértico y una serie de ventajas respecto al Magreb que pueden enumerarse como sigue:

- España es un país democrático y políticamente estable.
- Es un miembro de la Unión Europea.
- Está más cerca de los mayores consumidores de electricidad en Europa.
- Tiene las empresas, los técnicos y los ingenieros necesarios para construir y hacer funcionar las instalaciones.

Así pues, decidí tomar la iniciativa –sin ninguna relación con mi cargo de rector de la Universidad de Luxemburgo– de hablar con una serie de políticos y empresarios españoles, todos ellos con responsabilidades en el sector energético, para entender por qué España no se ofrecía a Europa para desarrollar Desertec en su territorio. Lo que sigue es un resumen de las respuestas, que básicamente son de tres tipos.

La primera es que:

- Uno de los objetivos de Desertec es precisamente ayudar a África en su desarrollo económico y aumentar el número de puestos de trabajo, para disminuir la presión migratoria sobre Europa.

Este doble argumento no es convincente. Primero, nada impide continuar con el proyecto en África para África, y desarrollar otro en Europa para Europa. Segundo, pensar que el proyecto creará tantos puestos de trabajo para africanos como para llevar a una disminución significativa del número de inmigrantes africanos en Europa contradice cualquier estimación cuantitativa, sea elemental o sofisticada. No olvidemos que los demógrafos predicen que África doblará su población en no demasiadas décadas.

La segunda es la siguiente:

- El proceso de expropiación de los terrenos necesarios puede ser complicado jurídica y administrativamente, y además lento, debido al gran número de propietarios afectados. A ello hay que añadir que puede ser costoso desde el punto de vista financiero, incluso demasiado costoso para que sea viable.

Este es un argumento serio, pero que conduce a la siguiente reflexión: si un proyecto que para España sería un revulsivo económico como pocos, implicaría la creación de muchos puestos de trabajo y de muy importantes transferencias de capital, y transformaría el país en uno de los mayores exportadores de electricidad sostenible del mundo, no es viable por aspectos jurídico-administrativos, tenemos que preguntarnos si el problema no reside precisamente en el marco jurídico-administrativo del país. Si es así, debe ser inmediatamente modificado. Para eso está la política. Los costes financieros serían obviamente más importantes que en el Sahara, pero unos precios razonablemente por encima del valor del terreno previo al proyecto Desertec serían económicamente aceptables, dados los ingresos que la producción de electricidad produciría a lo largo de los años. No olvidemos que es un gasto en el que se incurre una sola vez.

La tercera respuesta es:

- Nadie quiere las líneas de alta tensión cerca de donde se reside o trabaja, por razones estéticas y de supuestos efectos sobre nuestro estado de salud, y tenderlas a través de los Pirineos conduciría a un rechazo popular importante.

Lamentablemente, este argumento tiene su peso, no porque los datos científicos de los que disponemos indiquen que las líneas de corriente continua de alta tensión (que probablemente aún no existan en España) sean nocivas para la salud humana, sino porque los ciudadanos suelen rechazar mucho de lo que no entienden adecuadamente o mucho de lo que se les dice que resulta nocivo para la salud. Es un hecho que hay que aceptar (NIMBY, «not in my backyard», lo llaman los anglosajones) y que debe combatirse con datos y resultados científicos, con comunicación profesional y con transparencia informativa. Respecto a la estética, posiblemente un buen publicista-filósofo pueda ayudar a que los ciudadanos vean con buenos ojos unos ingenios tecnológicos que pueden contribuir de forma importante a nuestro bienestar y a un mundo mejor.

Este es el resumen de lo que empresarios y políticos me dijeron. Lo que me entristeció es cómo casi todos aceptaban estas dificultades sin demostrar voluntad alguna de superarlas. Este fatalismo demostrado por nuestras fuerzas vivas hace unos años –antes de que la crisis actual se manifestase– no me gustó en absoluto. Es más, lo considero inaceptable. Si no tenemos empresarios y políticos con la voluntad de resolver los problemas –y hay pocos problemas sin solución–, no veo como España podrá generar el incremento de competitividad necesario para compensar lo que en tiempos anteriores al euro eran las devaluaciones periódicas de la peseta, y en los siguientes las entradas importantes de capital público y privado –sobre todo fondos europeos– pero que ahora, por razones harto conocidas, ya no tienen lugar.

Creo que los argumentos a favor de Desertec en España son cada vez más convincentes. ¿O es que España tiene tantos grandes proyectos que transformen algunas de sus desventajas (desertificación, balanza tecnológica muy negativa) en ventajas, aprovechando algo de lo que los otros países europeos no disponen (grandes superficies yermas con gran intensidad solar), como para ignorarlo?

11 de agosto, 2011

# Cinco cosas que no debemos hacer con la energía

VACLAV SMIL

Distinguished professor de la Universidad de Manitoba, Canadá

Este breve ensayo tiene la pretensión de ser práctico: no trata tanto de observar de forma detallada una técnica energética específica, proceso, acción o plan, como de defender las cinco cosas que no debemos hacer con la energía. Cinco advertencias para evitar errores e ilusiones innecesarias, y en cada una de ellas explicaré de forma concisa la razón de este exhorto. Dado el lamentable estado de los debates públicos sobre la energía, dominados por dos posiciones muy polarizadas, la del miedo no crítico (miedo relacionado con la OPEP, es decir el de quedarse sin petróleo, miedo al uso de la energía nuclear, miedo al calentamiento global) y una segunda muy similar, de la esperanza sin críticas (esperanzas depositadas en el poder de la innovación técnica, en la rápida sustitución de los combustibles fósiles y en las energías renovables revolucionarias).

Podría haber elegido otros muchos temas para su debate, pero los que aquí aparecen se encuentran entre las elecciones más prácticas, por ser formulaciones positivas, y estar relacionados con los errores y las desilusiones más frecuentes.

*1. No se tome en serio, en ningún momento o lugar, las predicciones concretas relacionadas con el coste relacionadas con el uso general de la energía en su totalidad y las contribuciones de cierta conversiones.*

Mientras que las variables que determinan el uso total de energía son bien conocidas (los niveles de crecimiento de la población y de la economía, la estructura del GDP,\* el promedio de ingresos, endeudamiento energético, capacidad para pagar las importaciones, etc.) y mientras la mayoría de los países (salvo los del área subsahariana) monitorizan y publican de manera regular (habitualmente con imparcialidad, incluso muy a menudo de forma excelente) sus estadísticas, lo que no se conoce y por lo tanto no puede ser predecido, es el gran número de alte-

Nota del traductor: \*GDP: Producto Interior Bruto

razones de tipo histórico, social y económico que determinan las interacciones de estas variables y que pueden empujar al sistema entero en una dirección que a menudo resultaba inimaginable, una década o unos años atrás.

Tales alteraciones críticas han sido particularmente frecuentes durante los últimos cincuenta años. Quizá los dos ejemplos más conocidos sean las decisiones de la OPEP de quintuplicar el precio del petróleo en el período 1973-1974 y después, casi cuadruplicarlo en los años 1979-1980. Estas acciones por sí solas invalidaron todas las predicciones energéticas a largo plazo que se realizaron a principios de los años setenta del siglo xx, que preveían una continuidad en el incremento del uso del petróleo y de la electricidad, copiando así las previsiones de los años sesenta. Por el contrario, fue a partir de 1989, cuando el consumo global de petróleo sobrepasó el nivel alcanzado en la década anterior, y la demanda de electricidad en muchos de los países occidentales cambió, el momento en que la tendencia de doblar la media por década (7 por ciento al año), dio paso a un crecimiento anual entre el 1 por ciento y el 2 por ciento

Pero cambios aún más profundos producen efectos a largo plazo todavía mayores. La muerte del presidente Mao Zedong en 1976 y las reformas del presidente Deng Xiaoping puestas en marcha en el año 1980, iniciaron la transición de China desde una sociedad de subsistencia y pobre sin importaciones de energía, hasta convertirla en la segunda economía más importante del mundo, el segundo importador de petróleo, el poder manufacturador más importante del mundo y el país con el crecimiento más rápido en cuanto a ingresos, y todo eso fue el producto de una sola generación. Un cambio de idiosincrasia que ninguna predicción realizada antes de 1980 podría haber capturado. El resultado: el uso energético chino se ha sextuplicado entre los años 1980 y 2010.

En contraste, una predicción realizada en 1980 había determinado que la URSS, la segunda superpotencia del momento, habría aumentado de forma masiva su uso energético para el año 2010. Pero la Unión Soviética dejó de existir en 1991 y sus Estados sucesores (Rusia y afines) sufrieron una caída económica en picado, que fue acompañada de un declive de la demanda energética. Así, y por introducir el caso de España, podríamos pensar que las necesidades económicas habrían sido diferentes si el golpe de estado en el año 1981 hubiese tenido éxito y si España no se hubiese incorporado en 1986 a la Unión Europea –y quién, a principios de 1975, cuando Franco aún vivía, hubiese vaticinado estos dos acontecimientos críticos acontecidos en los años ochenta.

*2. No se asuste ante las predicciones de quedarse sin recursos energéticos o no- renovables en una fecha concreta.*

Estas predicciones se remontan a las preocupaciones existentes en el siglo xix sobre las reservas de carbón británicas y su variante referida al petróleo, y se ha vuelto a ellas de forma continuada durante casi un siglo. A pesar de ello, Gran

Bretaña sigue teniendo aún grandes cantidades de carbón pero localizadas a demasiada profundidad y, en vetas finas en exceso lo que hace que resulte mucho más barato importar este combustible de zonas lejanas como Australia.

Este es el perfecto ejemplo de que quedarse sin un recurso mineral es virtualmente imposible en términos específicamente físicos. Mucho antes de que algo similar ocurriese, los elevados precios forzarían al abandono de las fuentes restantes. Es también un claro ejemplo de que, al contrario de lo que creían los británicos de hace más de cien años, sí es de sentido común traer carbón de Newcastle.\*\*

La mayor parte de las motivaciones que subyacen en los incrementos y reducción de los recursos más importantes están relacionados con los hidrocarburos. Durante los años veinte del siglo pasado en los Estados Unidos –de lejos el mayor productor mundial de petróleo–, se estaba *acabando* este recurso, pero a partir de ese momento la extracción de petróleo continuó incrementándose durante otras cuatro décadas. Y todavía hoy, los Estados Unidos siguen siendo el tercer mayor productor de petróleo del mundo, con rendimientos anuales que han vuelto a crecer, a medida que otras formas de extracción han permitido aprovechar petróleo de la pizarra, lo que ha facilitado que sus importaciones petrolíferas hayan decreciendo.

Desde mediados de los años noventa del pasado siglo, los oficiantes del culto al petróleo, cuya mayor parte de sus fieles devotos está en Europa, vienen pronosticando un inminente declive a gran escala de la extracción global de petróleo. Pero el mercado global de petróleo continúa bien abastecido, con una extracción que ha ido creciendo un 20 por ciento entre los años 1995 y 2010, a un ritmo de más de 3,9 millones de toneladas al año.

El último temor que ha aparecido entre la opinión pública estadounidense respecto al final de una energía concreta fundamental, ha girado en torno al gas, cuyas reservas parecen permanecer estables. Incluso a principios de este siglo, cuando pareció que podrían disminuir, la combinación de la perforación horizontal y el fraccionamiento de estratos de esquisto (utilizando una mezcla de agua, arena, y otros ingredientes) que permitió la transformación de enormes volúmenes de gas de esquisto –valorados en un principio solo como hipotéticas fuentes de recursos–, en una gran cantidad de gas comercialmente viable, ha sido la responsable de que las reservas de gas se hayan incrementado un 50 por

Nota del traductor: \*\*La expresión inglesa: no es de sentido común traer carbón de Newcastle, se basa sobre el hecho de que la ciudad inglesa de «Newcastle-upon-Tyne» pues era esta la ciudad más importante en exportación de carbón del Reino Unido desde la Edad Media. Traer carbón de Newcastle por la obviedad, recoge el significado de una acción poco eficaz o carente de buen juicio, otras expresiones semejantes serían: en Alemania, «No se lleva a Atenas la democracia» o «No se vende nieve a los esquimales», etc.

ciento entre el año 2000 y el 2009. Y tal como siempre recalco, todo lo que podemos hacer con el petróleo lo podemos hacer con el gas, incluyendo la conversión de los coches de gasolina o diésel en coches de gas natural comprimido. Volar es, por supuesto la excepción, pero una gran cantidad de gas podría utilizarse para esto también, tras una conveniente liquefacción. Por lo tanto, nuevas fuentes de gas (y existen grandes depósitos de esquistos en Europa, Asia y África) han invalidado decisivamente cualquier profecía referente a un límite cercano para determinar la escasez de hidrocarburos, y la nueva realidad de los recursos quizá revierta la participación actual del petróleo y del gas natural en la producción energética global.

*3. No se deje impresionar por ningún diagrama relativo a costes, particularmente de aquellos que se atreven con las comparaciones.*

Esta advertencia se basa en el repetido desconocimiento de los hechos. Lo primero que hay que destacar es que los costes y, por lo tanto, los precios de varias formas de energía, no se contabilizan de manera uniforme en cuanto a gastos externos.

La generación de electricidad americana mediante la combustión de carbón es un buen ejemplo para la comprensión de estos impactos: los productores de carbón en minas profundas deben invertir constantemente en ventilación y monitoreo de calidad del aire, para mantener los niveles de polvo en límites aceptables (el objetivo principal de ello es prevenir la silicosis); las plantas de potencia dedicadas a quemar este carbón deben disponer de precipitadores electrostáticos de una muy alta eficiencia (con el fin de eliminar prácticamente todas las emisiones de partículas, incluyendo el carbón negro) y las máquinas para la desulfurización de los gases de combustión, y la eliminación del óxido de nitrógeno (con el fin de reducir las emisiones de azufres acidificados y óxidos de nitrógeno causantes de la lluvia ácida).

En contraste, en la producción de etanol a base de maíz, no se valoran las pérdidas crónicas de superficie de suelo producidas por la erosión de un cultivo en surcos (antes de las fases de maduración, las copas de las plantas de maíz, aún próximas al suelo, están expuestas a las lluvias y producen una erosión mecánica muy importante), o la lixiviación de una gran parte de los fertilizantes nitrogenados aplicados (se necesita mantener altos rendimientos) hacia ríos y eventualmente hacia el golfo de Méjico donde los nitratos disueltos crean las zonas muertas, de triste fama, carentes de toda vida animal y flora marina, o la pérdida de la biodiversidad producida por el constante e intensivo monocultivo (los agricultores tienen contratos con destilerías de etanol y solo cultivan grano en vez de rotar con otros cultivos).

En el primer caso, el gasto de electricidad generada a través del carbón recoge las medidas preventivas diseñadas para minimizar los daños medioam-

bientales; en el segundo caso el coste del etanol se ve minusvalorado, ya que se pasan por alto las huellas medioambientales que son el resultado de su producción.

La segunda realidad es que la producción de etanol, así como la producción mediante viento y energía fotovoltaica, han gozado de generosos subsidios por parte de los Estados; pero también muchas de las formas de producción energéticas fósiles así como este conjunto de manipulaciones de precios deberán ser estudiadas y descifradas antes de poder realizar comparaciones mínimamente fiables.

Más aún. Cuando se compara la producción mediante gas natural con la producida por viento o sol deberíamos considerar el coste adicional de transporte.

Nuevas turbinas de gas pueden ser colocadas con facilidad cerca de las plantas ya existentes y, por lo tanto, obviar la necesidad de nuevas líneas de transporte; por el contrario, el desarrollo de capacidades de producción de energía eólica o solar, alejadas de los centros urbanos, necesitaría de una inversión inicial en nuevas líneas de alta tensión y estos desembolsos deberían ser tenidos en cuenta cuando se comparen modos de producción de electricidad entre energías renovables o fósiles.

Finalmente, la electricidad producida por combustibles se produce a demanda, mientras que en los flujos de las renovables solo la producción mediante hidrogenación mantiene la misma flexibilidad. El hecho de que la electricidad generada mediante energía eólica o solar no pueda producirse en los plazos previsibles y de manera instantánea, y que además necesite de apoyo y de un incremento de las interconexiones con regiones remotas, también debería aparecer reflejadas en los costes antes de ser comparadas con aquellas generadas mediante gas (en las que no suelen estar incluidos en las comparaciones utilizadas habitualmente).

*4. No se crea ninguna de las declaraciones sobre los avances ni sobre cambios energéticos que pronto cambiarán la fortuna de nuestra civilización.*

La lista de estas salvaciones es larga y, además, crece de forma notoria desde hace seis años.

La fusión nuclear desde siempre se ha considerado que estaba a punto de resolver los problemas energéticos del mundo (esta regla se mantiene: ahora seremos salvados por el ITER [Reactor Termonuclear Experimental Internacional] a finales del año 2020).

Mientras tanto, deberemos continuar abasteciéndonos por reactores de reproducción rápidos de última generación [FBR en inglés], los cuales fueron considerados, salvo por los expertos, durante los últimos años de la década de los setenta y comienzos de los ochenta, por los americanos, franceses y japoneses como la solución. Después llegaría la segunda y la tercera generación de reactores,

incluyendo las milagrosas máquinas de bolas (combustible en forma de esferas recubiertas de grafito) y con diseños seguros, enterradas profundamente en el suelo y sin necesidad de reabastecimiento.

A medida que los sueños nucleares iban reculando, las energías renovables fueron asumiendo su protagonismo, y a lo largo de las dos últimas décadas se nos ha prometido una salvación tecnológica gracias a avances tales como las máquinas generadoras de electricidad activadas mediante las olas de los océanos, turbinas de viento gigantes encadenadas en el aire en la corriente a chorro y globos masivos llenos de hidrógeno recubiertos de células fotovoltaicas que sobrevolaban las regiones desérticas.

Mientras los automóviles se incluyan entre los consumidores de energía, no se detendrá la sucesión de renovadas alternativas –siempre bien promovidas– aún cuando estas queden desfasadas al poco tiempo por considerarse inviables.

La secuencia seguida desde mediados de los años 1990 ha incluido los coches eléctricos (las viejas baterías pesadas), las células combustibles (pronto desmascaradas por ser demasiado caras), los híbridos (presentados como el futuro inmediato) y los nuevos coches eléctricos (baterías de iones de litio).

Como siempre, ante estas supuestas soluciones revolucionarias, me permito hacerles una advertencia: no me enseñe ninguna proyección, esperemos dos décadas y entonces, miremos hacia atrás y observemos si alguna de estas nuevas técnicas lo ha conseguido; es decir si se han desplegado de manera comercial y de forma fiable tras una producción de millones de ejemplares. Todas estas visiones de cambio son excelentes elementos para aparecer en las portadas de las revistas científicas populares o en titulares de tv, pero como en todas las transiciones energéticas, tendrán que pasar décadas antes de que alguna de ellas alcance la fiabilidad técnica necesaria en el marco de sociedades modernas principalmente urbanas, donde (carburantes y electricidad), la energía debe estar en constante disponibilidad con niveles de potencia de cientos de megavatios o gigavatios. Por lo tanto seguirán siendo los métodos de siempre, basados en la extracción de carburantes fósiles y en la generación a través de electricidad termal e hídrica, los que satisfagan estas necesidades durante las próximas décadas.

*5. No crea que la mayor eficiencia convertiva puede por sí sola limitar el crecimiento de la futura demanda energética.*

Esto sería una de las consecuencias lógicas más deseables, pero una larga experiencia demuestra que ha sido una falsa esperanza.

Las eficiencias en la conversión –de cualquier máquina o aparato concebible– han aumentado de forma impresionante a lo largo del pasado siglo y, especialmente durante los últimos cincuenta años con innovaciones que van desde

los fluorescentes compactos, las luces LED, hasta la alta eficiencia de las calderas y motores turbo jet, desde las mejores formas de sintetizar amoníaco o fabricar acero crudo, hasta sorprendentes progresos en la producción de microprocesadores. Pero el resultado neto de este progreso, incluso en los países más ricos del mundo y con el consumo per capita más alto, el uso generalizado de combustible y electricidad ha continuado subiendo: entre 1990 y el 2000 se incrementó en un 16 por ciento tanto en los Estados Unidos (parte de este incremento puede ser atribuido al crecimiento poblacional), Japón (donde no se ha producido tal crecimiento de población, y donde además, la economía ha estado cayendo en picado durante la mayor parte de este periodo. El consumo francés también creció en un 15 por ciento; España creció más de un 65 por ciento, y de entre las economías más importantes, solo Alemania bajo casi un 10 por ciento.

Lo que sucede es que las sociedades modernas siguen consumiendo grandes cantidades de energía –coches y casas más grandes, nuevos aparatos electrónicos y mayor cantidad de viajes– más eficientemente.

Una alta eficiencia no siempre genera la paradoja Jevon (que tiende a un mayor consumo de energía), pero desde luego no lleva a una reducción significativa en la demanda de energía agregada. Una de las razones más importantes, es que tanto los combustibles como la electricidad siguen siendo extraordinariamente baratos, lo que hace posible para millones de consumidores de clase media, acondicionar térmicamente sus casas, comprar verduras traídas de África o Asia, adquirir artefactos caseros fabricados en China e irse de viajes supuestamente de ocio, a Tailandia y a las Islas Mauricio. Mientras que esto represente opciones económicamente y energéticamente viables, existe poca esperanza de que producir estos servicios, con el único uso de convertidores más eficientes, bastará para parar el crecimiento de la demanda de energía total, y no digamos nada de revertir la tendencia, mediante el uso de bastante menos.

Estas son predicciones que dan que pensar, pero que son realistas y si suenan demasiado descorazonadoras, o quizá demasiado depresivas, introduciré en su defensa una antigua observación de Lao-Tsé: «Más vale retumbar como rocas que tintinear como jade».



# Introducción al ciclo

ÁNGEL PÉREZ-NAVARRO

Catedrático de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Politécnica de Valencia

JOSEP MARIA FELIP I SARDÀ

Director general de Inmigración y Cooperación de la Generalitat Valenciana

El tercer ciclo del Grupo Valenciano del Capítulo Español del Club de Roma trata de abrir un debate sobre las energías actuales su sostenibilidad y el efecto que tendrán en un futuro próximo sobre el Estado del bienestar. Con el título «Energía, sostenibilidad y Estado del bienestar» se plantean una serie de conferencias que se entrelazan en sus puntos de vista pero que podríamos agrupar en tres ámbitos: «Energía», «Sostenibilidad» y «Aspectos sociales y gopolíticos». El objetivo último de este ciclo va más allá de una radiografía del estado de la cuestión para adentrarse en posibles alternativas al *statu quo* y cuáles son los riesgos a los que se enfrenta la humanidad si quiere mantener su actual nivel de bienestar.

Hemos querido mantener los iniciales apartados con que se puso en marcha este ciclo con el objetivo de mostrar las bases que dieron origen al debate y cómo fueron encaminándose, cual novela en marcha, hacia ámbitos, en algunos casos diferentes, fruto, las más de las veces, del interés con que fueron acogidas algunas de las propuestas.

Estos fueron los nueve ámbitos programáticos que a lo largo del ciclo fueron debatidos de un modo intenso y cuyos resultados conforma el grueso de este volumen.

*La calidad de vida y el desarrollo energético.* En este apartado se tratarán aquellos temas relacionados con el papel que juega la energía en la calidad de vida y cuáles son los aspectos concretos en que la incidencia de la disponibilidad de energía suficiente es más decisiva.

*La situación energética de la Comunidad Valenciana. Problemas y soluciones.* Se aborda en este apartado la estructura del consumo energético de la Comunidad Valenciana, sus puntos débiles y las soluciones que se están, o se debería, estar implementando.

*Aspectos geopolíticos del suministro energético.* En la estructura actual del consumo energético, basada fundamentalmente en el uso de combustibles fósiles, cuáles son los problemas geopolíticos que pueden dificultar dicho consumo.

*Las energías renovables, ¿Es esa la solución completa del problema energético?* Las energías renovables se presentan como la solución al problema energético. Hasta qué punto esta solución es completa, o es solo parcial y, por ello, requiere de otras fuentes complementarias.

*El papel de la energía nuclear en un escenario energético sostenible.* El debate sobre la necesidad de la energía nuclear para un sistema energético sostenible o su supresión total está en constante crecimiento por múltiples causas. Cuáles son los elementos básicos que se deben considerar para avanzar en este debate.

*¿Podremos seguir utilizando combustibles fósiles?* A corto y medio plazo parece inevitable que los combustibles fósiles representen una fracción importante de las fuentes de energía que se han de utilizar; el problema radica en cómo utilizarlas sin esquilmarlas ni deteriorar el medio ambiente.

*Energía y cambio climático.* Analizar la contribución del sector energético y revisar las actuaciones para aliviar el cambio climático, son algunos de los ámbitos que mayor debate suscitan en la actualidad, incluyendo la viabilidad del actual esquema energético y la posibilidad de cambiarlo a otro compatible con la remediación de dicho cambio climático.

*La energía como elemento básico para el codesarrollo.* Disponer de energía suficiente es elemento esencial para el desarrollo de los pueblos. Muchos de los países más atrasados disponen de abundantes recursos naturales que les proporcionarían energía suficiente para cubrir sus necesidades y un desarrollo industrial con la energía como producto. Cuáles son las acciones y los instrumentos que harían posible un codesarrollo en este campo.

*El futuro energético: coche eléctrico, hidrógeno, fusión.* Revisión crítica, de forma objetiva y documentada, de las distintas opciones propuestas para aliviar el problema energético, y determinar su grado de viabilidad y la incidencia que podrían tener en la búsqueda de la sostenibilidad energética.

# Energía, sostenibilidad y Estado de bienestar

ÁNGEL PÉREZ-NAVARRO

Catedrático de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Politécnica de Valencia

JOSEP MARIA FELIP I SARDÀ

Director general de Inmigración y Cooperación de la Generalitat Valenciana

## Introducción

Siempre es difícil definir con precisión, más cuando debemos hacerlo para aquello que forma parte de nuestra vida cotidiana y lo tenemos asumido como algo natural. Es el caso de la energía, presente en nuestra vida en innumerables formas y efectos. Podemos acudir a las palabras del eminente físico y premio Nobel, Max Planck que consigue definirla de forma escueta y con admirable precisión como la «capacidad de un sistema para generar efectos externos». En los usos prácticos se utiliza esta capacidad para realizar trabajo, producción de calor y frío, y luz, que es lo que entendemos por energía útil; la que obtenemos a partir de la manipulación de aquellas energías primarias que encontramos en la naturaleza como son el carbón, el petróleo, las energías renovables, el gas natural y la energía nuclear.

Toda actividad humana, individual o colectiva, comporta la necesidad de una cantidad de energía para hacer posible su desarrollo. La energía es así como el fluido vital que alimenta el tejido social y, obviamente, el bienestar de una sociedad está ligado a disponer de suficiente energía de calidad para hacer posible todas las actuaciones requeridas por sus miembros.

Conforme se aumenta el nivel de bienestar se incrementa, entre otras, la demanda de energía en un crecimiento que no puede ser ilimitado si las fuentes para obtener la energía requerida son finitas. Además, dicho aumento de consumo puede no siempre estar justificado. A mediados del siglo XIX, John Stuart Mill, en sus *Principios de economía política* (1848) denunciaba ya esta tendencia al consumo ilimitado: «[...] no puedo mirar al estado estacionario del capital y la riqueza con el disgusto que por el mismo manifiestan los economistas de la vieja escuela. Me inclino a creer que, en conjunto, sería un adelanto muy considerable sobre nuestra situación actual. [...] No veo que haya motivo para congratularse de que personas que son ya más ricas de lo que nadie necesita ser, hayan doblado sus medios de consumir cosas que producen poco o ningún placer, excepto como

representativos de riqueza, [...] solo en los países atrasados del mundo es todavía el aumento de producción un asunto importante; en los más adelantados lo que se necesita desde el punto de vista económico es una mejor distribución [...]

En 1971 el primer Informe del Club de Roma sobre los «Límites del crecimiento» puso en tela de juicio la viabilidad del crecimiento como objetivo económico planetario. Posteriormente, en 1988, en esta misma línea, el informe «Nuestro futuro común»\* de las Naciones Unidas, introduce el concepto de *desarrollo sostenible*, que ha sido universalmente aceptado, entendiéndolo como «satisfacer nuestras necesidades actuales sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer las suyas.» Lo que más contribuyó a sostener la nueva idea de la «sostenibilidad» fueron las viejas ideas del «crecimiento» y el «desarrollo» económico, que tras la avalancha crítica de los años setenta del pasado siglo necesitaban ser apuntaladas, y se requería encontrar una solución de compromiso.

En el campo energético, la necesidad de sostenibilidad es clara y acuciante al existir un problema energético, debido al riesgo de escasez de energía, incluso para la presente generación. Se deben buscar escenarios nuevos para el campo de la energía en que sea posible garantizar las necesidades actuales, las de las generaciones futuras y el medio ambiente en el que dichas generaciones han de existir.

### El problema energético

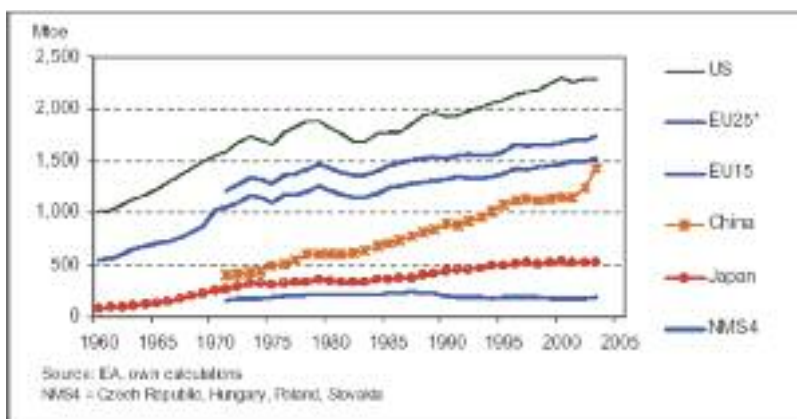
En numerosos campos de actividad, las naciones, al enfrentarse a la necesidad de sostenibilidad, deben cambiar sus patrones de funcionamiento para garantizar que dicha actividad sea posible en las generaciones futuras, aunque tienen sus necesidades actuales cubiertas con los modos de producción en vigor. No es este el caso para las necesidades energéticas. La demanda actual de energía no está garantizada y se vive en una continuada crisis ante la posibilidad de una carencia de suministro. Así pues, la sociedad se enfrenta, a nivel global, a un problema energético que se deberá resolver lo antes posible, pero buscando además soluciones que garanticen la sostenibilidad energética. Se puede identificar cuatro causas fundamentales de éste problema energético:

- Aumento cuasi exponencial de la demanda.
- Limitadas reservas de fuentes de energía primaria y de sistemas para su elaboración a energía final.
- Concentración de dichas reservas en zonas políticamente inestables.
- Inaceptable impacto ambiental, tanto de la generación de energía como del transporte.

La *demanda de energía* crece de manera continuada en los países desarrollados, pese a las políticas de ahorro y eficiencia energética implementadas hasta el momento, y en los países en vías de desarrollo, a un mayor ritmo, obviamente

como consecuencia del bajo nivel de partida del que surgen, y para una población varias veces más numerosa que la del total de los países del primer mundo. La figura 1, procedente de los datos recopilados por la Agencia Internacional de la Energía, presenta la evolución de la demanda energética de distintos países.

**Figura 1. Evolución de la demanda energética**



Estados Unidos y la Unión Europea son ejemplos de crecimiento de la demanda en países desarrollados. En el caso de Estados Unidos, la figura 2 ejemplifica que las políticas de ahorro energético ayudan a reducir la demanda energética, pero no hasta el extremo de evitar que siga aumentando, aunque a un menor ritmo, dicha demanda.

**Figura 2. Evolución de la demanda energética. Estados Unidos**  
(Línea azul: a intensidad energética constante. Línea roja: valores reales)



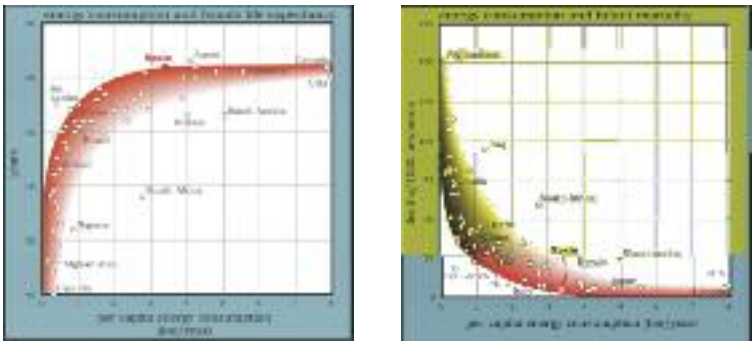
La Unión Europea también presenta un crecimiento de la demanda a un ritmo del orden del 1 por ciento anual, y su dependencia de fuentes de energía externas alcanzará el 70 por ciento en el año 2030, como se resume en la figura 3.

Figura 3. Consumo energético y dependencia exterior de la Unión Europea



Los países en vías de desarrollo necesitan aumentar su consumo energético, dado que la calidad de vida en aspectos tan básicos como la mortalidad infantil o la expectativa de vida están ligados a dicha disponibilidad, como puede deducirse de los datos de la figuras 4.

Figura 4. Expectativa de vida y mortalidad infantil en función de la disponibilidad de energía



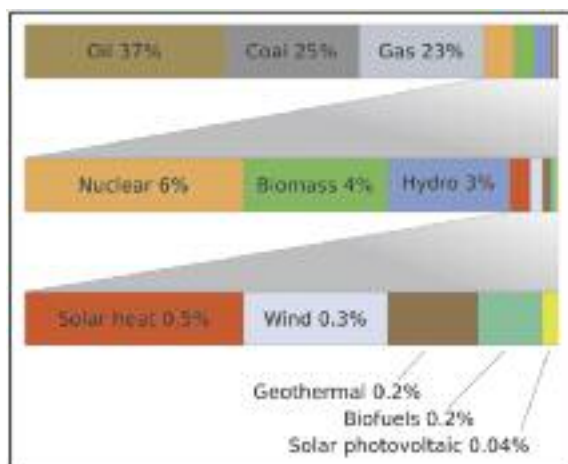
Dichos datos demuestran además que, a partir de cierto nivel, el aumento de energía consumida no representa una mejora en dicha calidad de vida. España se encuentra en el umbral de dicho consumo. Es difícil imaginar que un au-

mento del mismo vaya a mejorar nuestra calidad de vida; no así una disminución, que podría hacer retroceder los logros obtenidos en estos aspectos.

Las fuentes primarias de energía, carbón, petróleo, gas natural y nuclear, son fundamentalmente no renovables. Las renovables incluyen la solar, la eólica, la procedente de la biomasa, la hidráulica geotérmica, la que producen las mareas o las olas e, incluso, la nuclear en sistemas reproductores.

Teóricamente todas las fuentes pueden contribuir a un futuro escenario mixto mundial, pero cada una tiene características económicas, ambientales y efectos sobre la salud que interaccionan con las prioridades políticas y de gobierno. La elección de una determinada estrategia energética implica necesariamente la elección de una estrategia medioambiental asociada. El consumo energético mundial se apoya de forma casi exclusiva, en porcentajes superiores al 85 por ciento, en los combustibles fósiles, como puede deducirse de los datos representados en la figura 5.

Figura 5. Distribución por fuentes de energía del consumo energético mundial



Las reservas de dichos combustibles fósiles son limitadas y su disponibilidad desaparecerá en un horizonte temporal no lejano. Al ritmo actual de consumo, se prevé el agotamiento de las reservas de petróleo en cuarenta años, las de carbón en cien años y las de uranio en sesenta años. No obstante, nuevas tecnologías y precios más elevados permiten el acceso a recursos anteriormente no considerados como reservas posibles, con lo que estas cifras deben ser tomadas como indicativas de una limitación temporal para la disponibilidad de fuentes fósiles, pero nunca como una fecha límite para su utilización. De hecho, a lo

largo del siglo XX el período de disponibilidad ha ido variando siempre alrededor de dicho valor de cuarenta años como se presenta en la figura 6.

Figura 6. Previsión del período de disponibilidad de reservas de petróleo a lo largo del siglo xx



No deben confundirse recursos y reservas, ni el tiempo de disponibilidad de cada uno de estos conceptos, pero lo que sí queda claro es que los combustibles fósiles son finitos y deben encontrarse alternativas renovables para limitar su consumo. La segunda conclusión es que el coste de estos combustibles será cada vez más elevado al tener que incorporar técnicas de extracción más exigentes para explotar yacimientos menos accesibles.

La *concentración de las reservas* de combustibles fósiles es un elemento añadido a la problemática del suministro energético. El origen, y gran parte de las líneas de distribución de los recursos energéticos se concentran en zonas políticamente inestables, como puede comprobarse en la figura 7. Esto es especialmente grave para Europa que depende de las dos fuentes más concentradas: el gas natural y el petróleo. Este tema y sus implicaciones sociopolíticas se analizan en la segunda parte de la ponencia.

El *impacto ambiental* de la generación y uso de la energía es otro aspecto adicional que se debe resolver dentro del problema energético al que la humanidad se enfrenta en la actualidad. La acumulación de gases procedentes de la combustión ([GHG]: CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, etc.) podría generar un efecto invernadero, con consecuencias inaceptables para el medio ambiente: elevación de temperatura, desertización, deshielos, etc.). Independientemente de las estimaciones sobre la existencia, consecuencias y duración de un cambio climático, es evidente la ne-

Figura 7. Gaseoductos para el suministro de la Unión Europea



cesidad de reducir esta contaminación atmosférica, de la que la energía es responsable en un elevado porcentaje.

El Compromiso de Kyoto exige reducir los niveles actuales de emisiones de CO<sub>2</sub> y otros gases de efecto invernadero. La Unión Europea se ha comprometido a reducir globalmente sus emisiones anuales de GHG en un 8 por ciento con respecto al nivel de 1990, lo que equivale a una reducción de 346 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>. Dicha reducción equivale a todas las emisiones de CO<sub>2</sub> de España en 2005. Sin embargo, la tendencia, si se continúa con el actual esquema energético para cubrir la demanda, es aumentar las emisiones que podrían incrementarse hasta en un 30 por ciento en el año 2030, respecto a los valores de 1990 (figura 8).

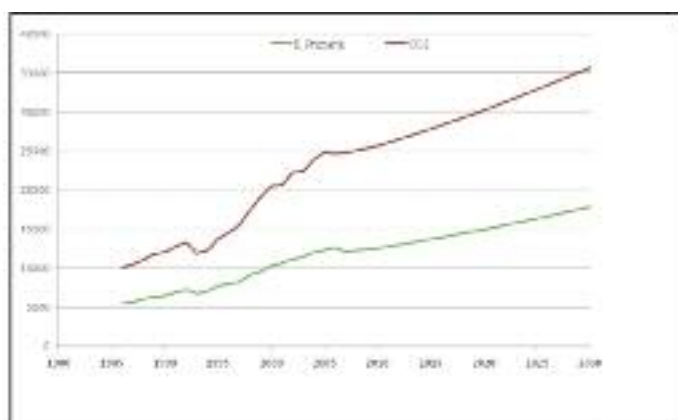
Figura 8. Previsiones de emisiones de CO<sub>2</sub> en la Unión Europea



### Esquema energético de la Comunidad Valenciana

El esquema energético de la Comunidad Valenciana adolece de los mismos problemas que el resto de la Unión Europea: aumento de la demanda y las emisiones de CO<sub>2</sub>, como se deduce de la evolución de los datos históricos, recopilados por la Agencia Valenciana de la Energía (AVEN), y las previsiones obtenidas de los modelos de predicción que asumen una continuidad en el esquema actual de cubrir las necesidades energéticas en un escenario BAU (Business as usual) representados en la figura 9.

**Figura 9. Datos históricos y previsiones para la demanda energética y las emisiones de CO<sub>2</sub> en la Comunidad Valenciana**



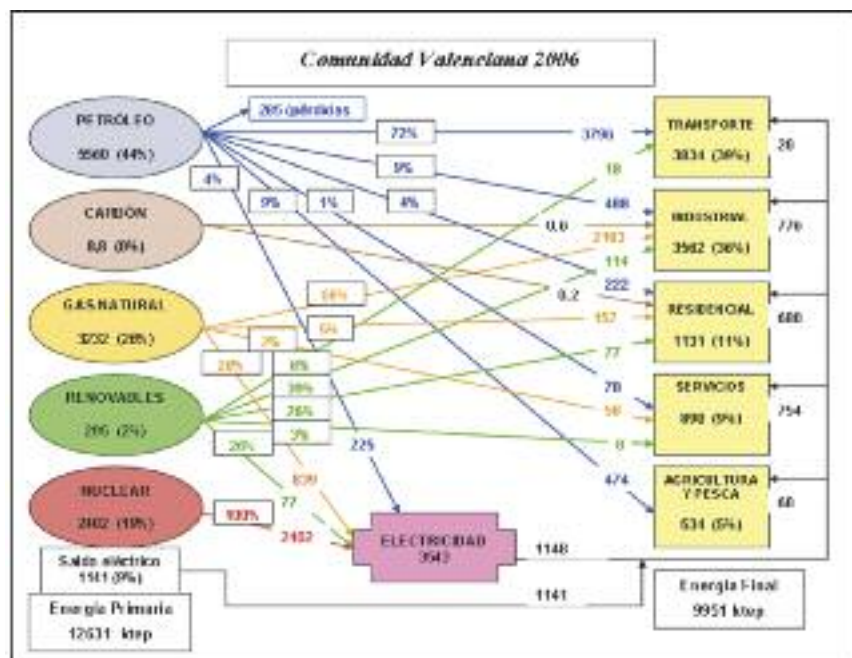
Los datos de la AVEN, publicados anualmente, permiten analizar en detalle la distribución de consumo entre las distintas fuentes de energía primaria y final, y su distribución entre los distintos sectores de demanda: industrial, residencial, comercial y servicios, transporte y agricultura y pesca. Dichos datos se esquematizan en el diagrama de la figura 10 que permiten afirmar que el problema energético de la Comunidad Valenciana se agrava por una excesiva dependencia exterior en fuentes de energía primaria y de electricidad. Así se constata que:

- El consumo energético se basa en un 70 por ciento en combustibles fósiles, y en particular en el petróleo que contribuye en un 44 por ciento.
- Más del 70 por ciento del petróleo consumido se destina al sector del transporte.
- La contribución de las energías renovables es todavía muy marginal.
- Solo la mitad de la energía eléctrica consumida en la Comunidad se genera aquí. Una cantidad igual debe ser importada.
- El 70 por ciento de la electricidad generada tiene un origen nuclear.

– El sector del transporte y el industrial son los mayores consumidores de energía; superior en ambos caso a un tercio del total.

Por tanto, las actuaciones tendentes a aminorar la dependencia exterior y reducir las emisiones procedentes de la utilización de combustibles fósiles, pasan por actuar sobre el uso del petróleo en el sector del transporte y mejorar la eficiencia energética y el ahorro en el sector industrial, junto al mayor desarrollo posible de las energías renovables y un aumento de la capacidad de generación de electricidad sin entrar en conflicto con los requerimientos de disminuir la dependencia de los combustibles fósiles y las emisiones de CO<sub>2</sub>.

Figura 10. Distribución del consumo energético de la Comunidad Valenciana



### Escenarios energéticos sostenibles

Teóricamente, todas las fuentes de energía pueden contribuir a un futuro escenario mixto mundial, pero cada una tiene características económicas, ambientales y efectos sobre la salud que interaccionan con las prioridades políticas y de gobierno. La elección de una determinada estrategia energética implica necesariamente la elección de una estrategia medioambiental asociada.

Las estrategias que se adopten tienen un largo período de vigencia, por ello deben adoptarse desde una perspectiva de sostenibilidad, pero conciliando:

- Crecimiento de las reservas energéticas para cubrir necesidades crecientes, del orden del 3 por ciento anual en los países en desarrollo.
- Medidas de ahorro y aumento de eficiencia que minimicen las pérdidas energéticas.
- Preservación de la salud pública, reconociendo y protegiendo de los riesgos inherentes a cada fuente de energía.
- Protección de la biosfera y prevención de formas localizadas de contaminación.

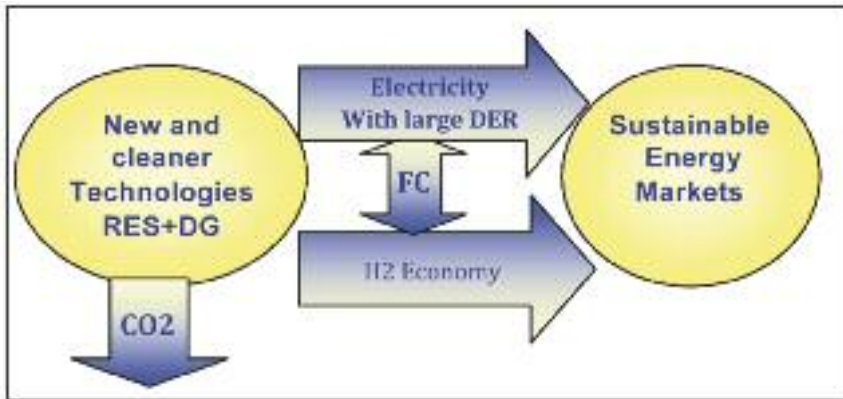
El período inmediato debe contemplarse como de transición desde una época en que la energía se ha utilizado de forma insostenible. No se ha encontrado aún un camino generalmente aceptado para un futuro energético sostenible, y no parece que este dilema se haya abordado por la comunidad internacional con el suficiente sentido de urgencia y desde una perspectiva global.

La búsqueda de la sostenibilidad energética implica cambios no solo cuantitativos en el consumo de energía sino, y fundamentalmente, cualitativos en la forma en que dicho consumo es planteado y resuelto. Es preciso encontrar nuevos escenarios que permitan reducir la magnitud de los problemas citados anteriormente y cubrir las necesidades de forma sostenible. Es necesario reducir la dependencia de los combustibles fósiles, especialmente del petróleo en el sector del transporte, generar más electricidad y hacerlo de forma limpia, lo que conlleva el desarrollo de las energías renovables de forma tecnológicamente fiable y económicamente rentable, y abrir el debate de si es posible prescindir de la energía nuclear o si es inevitable contar con ella para alcanzar la sostenibilidad energética.

La Unión Europea liga su objetivo de asegurar el suministro energético, mediante la reducción de la dependencia de los combustibles fósiles y la emisión de GHG, al desarrollo de la generación distribuida y la generación de electricidad a partir de las energías renovables. El escenario se basa en electricidad e hidrógeno como los dos elementos principales, con las pilas de combustible como interfaz (figura 11).

Esta estrategia tiene una primera etapa, a corto, en el escenario 20/20/20 propuesto por la Comisión Europea que tiene como objetivos para el año 2020 alcanzar una contribución del 20 por ciento de las energías renovables respecto al consumo total de energía primaria; conseguir un ahorro energético del 20 por ciento, y reducir en igual porcentaje las emisiones de CO<sub>2</sub> respecto a los valores que se tendrían en el escenario actual. Estos objetivos no garantizan la sostenibilidad del sistema energético. Son solo un primer paso en una estrategia que debe contemplar un cambio en profundidad del sistema energético europeo, dentro del contexto global en que la energía se mueve.

Figura 11. Esquema de la estrategia europea para la sostenibilidad energética



En conclusión, puede afirmarse que conseguir la sostenibilidad energética está ligado a cambios estructurales profundos en los aspectos tecnológicos, económicos y sociales, y representa un importante desafío para la sociedad global. El futuro sistema energético será múltiple en sus fuentes, complejo en su estructura y exigirá un coste real para la energía dado que, entre otros elementos, el desarrollo de las renovables depende de una aproximación racional al precio de la energía.



¿Quién es quién?



## Rafael Blasco Castany

Actualmente es el coordinador del Grupo Valenciano del Capítulo Español del Club de Roma. Es licenciado en Derecho por la Univesidad de Valencia donde posteriormente obtendría el grado de doctor, título en el que recibió la máxima calificación, sobresaliente *cum laude*. En su formación universitaria destacan, entre otras titulaciones, el máster en «Administración, contabilidad y auditoría del sector público», el *magister artis* en Administración Pública de la Universidad Complutense de Madrid y el título de posgrado en «Política y gobierno» por la Universidad Autónoma de Barcelona-ESADE.



Este es el tercer libro correspondiente al tercer ciclo sobre el futuro de las energías, que ha coordinado tras *La medicina del futuro* y *El desafío de la inmigración*. Las ponencias aquí recogidas se impartieron en el curso 2010-2011 dentro del ciclo «Energía, sostenibilidad y estado del bienestar».

Su vocación política le ha llevado a dirigir hasta siete consejerías del Gobierno valenciano (Presidencia; Obras Públicas, Urbanismo y Transportes; Empleo; Bienestar Social; Territorio y Vivienda; Sanidad, y Solidaridad y Ciudadanía) desde 1982. Actualmente es el portavoz del Grupo Parlamentario Popular en las Cortes Valencianas, responsabilidad que ya ejerció entre 2009 y 2011. En este mismo campo de la política ha sido diputado autonómico en cuatro legislaturas (1983-1987; 1987-1991; 2003-2007, y 2007-2011). Durante esta trayectoria ha impulsado treinta y cinco leyes que constituyen una parte fundamental del armazón político-administrativo de la Generalitat, así como su adaptación a las actuales dinámicas sociales. Otra de sus facetas en el campo de la política se ha basado en la elaboración de programas políticos así como estrategias electorales.

Su dedicación a la política, en los más diferentes ámbitos, le ha llevado a escribir más de 150 artículos y a ser conferenciante en universidades y organismos públicos y privados.

## Rolf Tarrach Siegel



Nació en Valencia en 1948. Es catedrático español de física teórica, rector de la Universidad de Luxemburgo y antiguo residente del Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

Doctor por la Universidad de Barcelona, fue catedrático de física teórica en las universidades de Valencia y Barcelona, donde ha desempeñado numerosos cargos académicos. Ha sido también asesor en materia científica de la Generalitat de Cataluña y del Congreso de los Diputados. Está especializado en teoría cuántica de campos, teoría de partículas elementales, mecánica cuántica y teoría cuántica de la información.

Fue presidente del CSIC entre 2000 y 2003, y desde 2005 es rector de la Universidad de Luxemburgo.

Está en posesión de la Cruz de la Orden de Alfonso X el Sabio y de la Encomienda de la Orden de Isabel la Católica, ha sido galardonado con numerosos premios nacionales e internacionales, y es doctor *honoris causa* por la Universidad de San Petersburgo.

## Vaclav Smil

Vaclav Smil se dedica a la investigación interdisciplinaria en el ámbito de la energía, cambio medioambiental y de población, producción de alimentos y nutrición, innovación técnica, valoración de riesgos y políticas públicas.

Ha publicado más de treinta libros y cuatrocientas publicaciones sobre estos temas. Se graduó en la Facultad de Ciencias Naturales de Carolinum, Universidad de Praga y en la Facultad de Ciencias Terrestres y Minerales de la Universidad del Estado de Pensilvania. Hasta 2011 fue un profesor distinguido de la Facultad de Medio Ambiente en la Universidad de Manitoba. Es miembro de la Royal Society de Canadá (Academia de Ciencias); la primera persona no americana que recibía el premio de la Asociación Americana para el Avance de la Ciencia en la categoría Comprensión Pública de la Ciencia y la Tecnología. En 2010 fue incluido por la Política Exterior en la lista de los cien pensadores globales. Ha trabajado como asesor para instituciones de Estados Unidos, Unión Europea y otros organismos e instituciones internacionales. Ha sido invitado como ponente a cerca de trescientas conferencias y talleres en Estados Unidos, Canadá, Europa, Asia y África. Ha sido conferenciante en universidades de América del Norte, Europa y del este de Asia. Su mujer Eva es física y su hijo David es químico especializado en orgánica sintética.



## Ángel Pérez-Navarro Gómez



Doctor en Ciencias Físicas por la Universidad Complutense de Madrid. En la actualidad es catedrático de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Politécnica de Valencia y jefe del Grupo SAVIE (Sistemas Avanzados en Ingeniería Energética) del Instituto de Ingeniería Energética de dicha universidad, dedicado a I+D+i en sistemas renovables, simples e híbridos, de hidrógeno como vector energético y transmutadores de residuos nucleares.

Director del Instituto de Ingeniería Energética (IIE) de la Universidad Politécnica de Valencia (UPV), desde su creación, en 2001 hasta 2009. Director general de la empresa LAESA (Zaragoza, España), dedicada al desarrollo de transmutadores de residuos radiactivos de larga vida basados en sistemas subcríticos mantenidos con acelerador de protones y a las aplicaciones médicas, industriales y científicas de los aceleradores.

Colaborador en el Laboratorio Europeo de Altas Energías, CERN (Ginebra, Suiza) del Premio Nobel Carlo Rubbia en las investigaciones sobre sistemas ADS para la transmutación de residuos radiactivos de larga vida. Estancias en CERN para participar en los experimentos de viabilidad científica del concepto.

Miembro del grupo europeo encargado de la definición del programa de desarrollo de la transmutación en sistemas ADS.

Ha sido jefe del Área de Fusión del CIEMAT (Madrid, España) y responsable del proyecto TJII, un proyecto preferencial de Euratom para el desarrollo de Fusión por Confinamiento Magnético. Miembro del CCFP, Comité Rector del Programa Europeo de Fusión, que coordina las actividades en este campo de los estados miembros e la Unión Europea, incluidos los dispositivos comunes: JET e ITER.

Investigador visitante en el Laboratorio Europeo de Investigación Nuclear (CERN), Max-Planck Institute for PlasmaPhysik (Alemania), Oak Ridge National Laboratory (Tennessee, EE.UU.), MIT (Boston, Massachusetts), PPPL (Princeton, New Jersey) y UCLA (Los Ángeles, California).

Director de cursos de verano sobre fusión de la Universidad Menéndez Pelayo y de la Universidad Complutense de Madrid.

Ha publicado más de sesenta artículos en revistas internacionales y ha presentado alrededor de cien ponencias en congresos internacionales.

## Josep Maria Felip i Sardà

Nacido en Reus en 1950 y domiciliado en Valencia desde 1959, casado, con una hija. Es licenciado en Ciencias Políticas y Económicas por la Universidad de Valencia; Máster en Administración Pública por la Universidad Complutense de Madrid; doctor en Derecho en la especialidad Derecho Público por la Universidad de Valencia; PhD por la Nort-West London University.

Desde 1978 ha desarrollado cargos de responsabilidad en el Gobierno autonómico y la Administración Local de la Comunidad Valenciana, entre ellos: secretario general de la Presidencia del Consell del País Valencià; director del Gabinete del Presidente de la Generalitat; asesor de la Comisión Mixta de Transferencias Consell-Estado; concejal y teniente de alcalde del Ayuntamiento de Alfafar; director general de Ciudadanía e Integración, director general de Inmigración; director general de Inmigración y Cooperación al Desarrollo de la Generalitat Valenciana, y director general de Integración y Cooperación de la Conselleria de Justicia y Bienestar Social.

Por concurso-oposición, es técnico de Administración General de la Generalitat; censor jurado de Cuentas, y profesor de Derecho Constitucional de la Universidad de Valencia.

En su obra escrita e investigadora destaca la de historia política de la Comunidad Valenciana, así como la seguridad y la defensa o la inmigración. Destacan entre ellas: Políticas y políticos valencianos. 1975-2000; Así se construyó la Comunidad Valenciana. 1960-1982; La transición política en la Comunidad Valenciana; «Inteligencia y seguridad nacional»; «Políticas europeas de seguridad y defensa»; «Políticas de integración en España y EE.UU.»; «Gestión del binomio inmigración y diversidad religiosa»; «Identidad e integración, los casos de Quebec, Cataluña y Comunidad Valenciana».

Está en posesión de las medallas de plata y oro de Cruz Roja Española y Cruz Roja del Mar. Pertenece a la nobleza pontificia, es caballero de las Órdenes Sacras y Militares del Santo Sepulcro de Jerusalén y Constantiniana de San Jorge.



## Guillermo Sánchez Plaza



Actualmente director de Tecnología del Centro de Tecnología Nanofotónica de Valencia, donde además lidera el área de investigación de Fotónica para Fotovoltaica.

Inicia su carrera profesional en el Laboratorio de Semiconductores de la Universidad Autónoma de Madrid, donde se licenció en Ciencias Físicas en 1988. En 1990 se une a la empresa AT&T Microelectronics como tecnólogo, donde se formó en los laboratorios Bell en Allentown, Pennsylvania. En esta empresa, que posteriormente pasa a ser Lucent Technologies, adquiere distintas responsabilidades puramente técnicas al principio y más ligadas al final a la búsqueda de oportunidades de negocio para la compañía.

En 2002 realiza diversas gestiones en coordinación con la Universidad Politécnica de Valencia para adquirir las infraestructuras y conseguir la financiación necesaria para la constitución del Centro de Tecnología Nanofotónica de esta universidad.

Es también socio fundador y consejero de las empresas de base tecnológica DAS photonics y Resenergy.

## Pedro Fernández de Córdoba Castellá

Pedro Fernández de Córdoba nació en Valencia en octubre de 1965. Terminó los estudios de Física (especialidad Física Teórica) en 1988, en la Universidad de Valencia, donde se doctoró en 1992. Fue becario predoctoral del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, con destino en el Instituto de Física Corpuscular (centro mixto del CSIC y la Universidad de Valencia). Posteriormente defendió un segundo doctorado, en Matemáticas, en la Universidad Politécnica de Valencia, en 1997.

Su actividad investigadora durante más de veinte años se centró inicialmente en el desarrollo de modelos y simulaciones numéricas de problemas nucleares, para las que usó las potentes técnicas Monte Carlo. Posteriormente amplió sus intereses al área de la óptica no lineal.



Más tarde impulsó otras líneas de investigación, aunque todas ellas con un denominador común: el desarrollo de modelos matemáticos y su simulación computacional, generalmente con altas exigencias de cálculo numérico. Esta actividad, focalizada en el modelado de diferentes problemas y el desarrollo de las técnicas numéricas necesarias para su resolución, le ha conducido a impulsar el Grupo de Modelización Interdisciplinar, InterTech ([www.intertech.upv.es](http://www.intertech.upv.es)), un equipo que se basa en la colaboración entre investigadores de diferentes áreas y especialidades para generar nuevas ideas de interés científico y tecnológico. Con la iniciativa de creación del grupo (formado por matemáticos, físicos, ingenieros y biólogos) se han establecido sinergias que han permitido desarrollar investigaciones en campos que incluyen la óptica no lineal, la biotecnología (en particular, la prometedora biología sintética,

Estos esfuerzos se han materializado, no solo en aportes teóricos, sino en su transferencia a la sociedad, incluyendo la creación Energesis Ingeniería ([www.energesis.es](http://www.energesis.es)), una empresa de base tecnológica nacida en el seno de la Universidad Politécnica de Valencia. Junto al profesor Javier Urchueguía, es impulsor y socio fundador de dicha empresa que, además de implantar sistemas geotérmicos en su entorno, apuesta por una fuerte presencia del I+D+i entre sus actividades, centrándose, fundamentalmente, en el ahorro energético en la edificación y en el uso del suelo como foco de intercambio térmico. Ambos campos requieren el despliegue de sofisticados modelos de simulación numérica, tanto de los intercambios energéticos en edificios como de la transmisión de calor en suelos.

En la actualidad es catedrático de universidad del Departamento de Matemática Aplicada en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales e investigador del Instituto Universitario de Matemática Pura y Aplicada de la Universidad Politécnica de Valencia.

Además, es miembro correspondiente de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales y miembro de la Junta Directiva de la Red Española Matemática-Industria.

## Javier F. Urchueguía Schölzel



Nacido en Stuttgart (Alemania) en 1963, Javier Fermín Urchueguía Schölzel estudió Física en las Universidades de Gotinga (Alemania) y Valencia, donde se licenció en la especialidad de Física Teórica. En 1993 se doctoró en Ciencias Físicas por la Universidad Politécnica de Valencia (UPV), con una tesis centrada en la aplicación de métodos ópticos basados en láser para la caracterización de la fluidodinámica de motores térmicos. Desde entonces su carrera como investigador se ha centrado en áreas como la energía (motores de combustión interna alternativa, refrigeración y bombas de calor, bombas de calor geotérmicas, técnicas de mejora energética en edificación...), métodos ópticos aplicados a la fluidodinámica. En otros trabajos se ha ocu-

pado también de aspectos más teóricos de cierto tipo de láseres y, en los últimos años, en la aplicación de conceptos de ingeniería y modelización a los sistemas biológicos para producción de energía.

Su carrera docente comenzó en 1991, hasta alcanzar, en el año 2003, la plaza de catedrático de universidad en el departamento de Física Aplicada de la Universidad Politécnica de Valencia. Es miembro de varias sociedades (Real Sociedad Española de Física, Sociedad Americana de Ingenieros Energéticos (American Society of Energy Engineers), editoriales de revistas científicas (*The Open Mechanical Engineering Journal*, *Mechanical Engineering Reviews*, *Open Mechanical Engineering Letters*).

Junto al profesor Pedro Fernández de Córdoba impulsó el Grupo de Modelización Interdisciplinar, InterTech ([www.intertech.upv.es](http://www.intertech.upv.es)), centrado en la colaboración entre investigadores de diferentes áreas y especialidades para generar nuevas ideas de interés científico y tecnológico. Estos esfuerzos se han materializado, no solo en aportes teóricos, sino en una transferencia a la sociedad, incluyendo la creación de Energesis Ingeniería ([www.energesis.es](http://www.energesis.es)), una empresa de base tecnológica nacida en el seno de la Universidad Politécnica de Valencia. También junto a Pedro Fernández de Córdoba, es impulsor y socio fundador de dicha empresa que, además de implantar sistemas geotérmicos en su entorno, apuesta por una fuerte presencia del I+D+i entre sus actividades, centrándose, fundamentalmente, en el ahorro energético en la edificación y en el uso del suelo como foco de intercambio térmico.

En el campo específico de la geotermia, ha impulsado además otras organizaciones y sociedades, como la sección de geotermia de baja entalpía de APPA (Asociación de Productores de Energías Renovables), la plataforma española de la geotermia (GEOPLAT), donde lidera el grupo de Formación, y el Panel Europeo de la Geotermia (European Geothermal Panel) que en la actualidad preside. Este último se incardina en la European Technology Platform for Renewable Heating and Cooling, que pretende impulsar a nivel europeo el I+D+i en todas las tecnologías que proveen energía térmica de carácter renovable.

## Juan José Gómez Cadenas

Nacido en Cartagena, en 1960. Reside en Valencia y trabaja en el Instituto de Física Corpuscular, un centro mixto de la Universidad de Valencia y el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (<http://ific.uv.es>).

Doctor en Ciencias Físicas por la Universidad de Valencia (1986). Realizó estudios de posgrado en la Universidad de Stanford (Laboratorio del Acelerador Linear, SLAC) merced a una beca Fulbright. Posteriormente trabajó como asociado posdoctoral en la Universidad de California en Santa Cruz. En 1990 se incorporó a la plantilla del Laboratorio Europeo de Física de Partículas (CERN), donde trabajó hasta 2000. Ha sido profesor visitante en las universidades de Harvard, Massachusetts (Amherst) y Ginebra, así como en el laboratorio nacional de física de partículas de Japón (KEK). En la actualidad es catedrático excedente de Física Atómica y Nuclear y Profesor de Investigación del Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Dirige el experimento NEXT, cuyo objetivo es el estudio de la naturaleza intrínseca del neutrino y la búsqueda de materia oscura (<http://next.ific.uv.es/next/>). NEXT será instalado en el laboratorio subterráneo de Canfranc, una instalación singular del Ministerio de Ciencia e Innovación y está financiado por un proyecto CONSOLIDER-INGENIO-2010.



Además de su actividad profesional, cultiva una faceta literaria y de divulgación de la ciencia. Ha publicado una novela cuya trama se desarrolla en el CERN (*Materia extraña*, ed. Espasa) y un libro de ensayo divulgativo sobre energía nuclear (*El ecologista nuclear*, Espasa).

Es miembro del Club de Roma.

## **Teresa Mendizábal Aracama**



Nacida en Vitoria, en 1940, es doctora en Física. Vicepresidenta del Capítulo Español del Club de Roma (desde 1994) y actualmente asesora de la Dirección del Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas, CIEMAT, del que ha sido secretaria general (2009-2010) y directora de su Departamento de Medio Ambiente (2004-2008).

Es profesora de investigación del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), del que fue asesora de la Presidencia (1996-2004), Vicepresidenta (1980-1981) y vicesecretaria general (junio 1976-mayo 1979). Asimismo, fue subdirectora general de Coordinación de Política Científica del Ministerio de Universidades e Investigación (julio

1979-octubre 1980).

Fue Miembro del Panel Internacional de Expertos del Comité Intergubernamental de la ONU que preparó la Convención de Lucha contra la Desertificación (1993-1994), Presidenta de la 1ª Conferencia sobre Desertificación en la Región Norte del Mediterráneo, Almería (1995).

Fue directora general de Acción Social, del Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, que conllevaba las direcciones del Instituto Nacional de Asistencia Social y del Instituto Nacional de Servicios Sociales, así como la vicepresidencia del Consejo del Protectorado de la Organización Nacional de Ciegos de España (diciembre 1981-febrero 1983).

Ha dirigido numerosos proyectos, entre ellos cabe destacar la Dirección del «Plan de Rehabilitación de las zonas afectadas por el accidente nuclear en Palomares (Almería)» (2004-2010), del proyecto «Alerta temprana y seguimiento de la desertificación en España», CICYT (2000-2003), así como del proyecto «Estudio integrado de la degradación del medio natural en las rañas de la región central y medidas tendentes a su conservación», CAICYT (1985-1988).

Es autora de unos cien artículos científicos y varios capítulos de libros entre los que se cita: Puigdefábregas, J., Mendizábal, T.: *Prospects for desertification impacts in Southern Europe. Environmental Challenges in the Mediterranean (2000-2050)*. Ed.: A. Marquina. Kluwer Academic Publishers. NATO Science Series. (2004), y T. Mendizábal and Puigdefábregas, J.: *Population and Land-use Changes: Impacts on Desertification in the Southern Europe and in the Maghreb*. Ed.: H.G. Brauch et al. Springer-Verlag, (2003). Es co-editora junto Juan Puigdefábregas del libro: *Desertification and Migrations*, Ministerio de Asuntos Exteriores, (1998).

Está en posesión de la Encomienda del Mérito Civil. Es Presidenta de Honor de la Federación Española de Mujeres Directivas, Ejecutivas, Profesionales y Empresarias, FEDEPE, de la que fue Co-fundadora. Fue Premio «Científica Progresista 1994» por la Federación de Mujeres Progresistas y Premio Nacional de Investigación del CSIC sobre Biología y Ciencias Agrarias Antonio J. Cavanilles, 1971.

## Manuel Toharia Cortés

Nació en Madrid el 3 de agosto de 1944. Estudió los bachilleratos francés (Bacc. Mathématiques Élémentaires) y español (PREU de Ciencias) en el Liceo Francés de Madrid, y cursó estudios de Ciencias Físicas, especialidad de Física del Cosmos, en la Universidad Complutense de Madrid. Perteneció como funcionario de carrera al Servicio Meteorológico Nacional (Ministerio del Aire) entre 1969 y 1975.

Como profesional de la comunicación, su actividad se ha centrado desde 1970 en el periodismo y la divulgación científica, en prensa, radio, televisión y museos interactivos. Entre 1970 y 1979 fue redactor científico del diario *Informaciones de Madrid*. A partir de 1980 dirigió y presentó diversos programas culturales y científicos en TVE, donde trabajaba como redactor científico y *hombre del tiempo* desde 1971. Fue asimismo redactor científico del diario *El País* en 1980-81. Participó en el lanzamiento de la revista *Muy Interesante* en 1981, y en 1983 fundó la revista científica *Conocer*, que dirigió hasta 1988. Desde entonces ha trabajado en la producción de vídeos y programas televisivos de divulgación científica, y en el diseño conceptual de exposiciones y museos interactivos de ciencia, tecnología y medio ambiente. Mantiene asimismo desde 1980 espacios frecuentes sobre temas de actualidad científica en diversas emisoras de radio, y colabora habitualmente en diarios y revistas. Es conferenciante asiduo por toda España, con cerca de un centenar de intervenciones cada año. Profesor de periodismo científico del Máster de Periodismo de la Universidad Autónoma UAM-El País y del Instituto Español de la Energía. Ha sido director del Museo Interactivo de la Ciencia ACCIONA (1995-96), en Madrid, y del Museo de la Ciencia de la Fundación La Caixa, en Alcobendas (Madrid) (1997-99). Desde septiembre de 1999 fue director del Museo de las Ciencias Príncipe Felipe de Valencia y actualmente es director científico de la Ciudad de las Artes y las Ciencias de Valencia.

Es Miembro de la Asociación Española de Comunicación Científica (y representante español en EUSJA, Unión Europea de Asociaciones de Periodismo Científico), Miembro de la Junta Directiva de ECSITE (Asociación Europea de Museos de Ciencia y Tecnología), presidente de Honor de la Asociación Cultural Hispano-Francesa Saint-Exupéry, socio fundador del Club Español de la Energía, del Club Español de los Residuos, de la Sociedad Micrológica de Madrid y de la Asociación Meteorológica Española, académico fundador de la Academia de las Ciencias y las Artes de Televisión de España, y Magister ad Honorem de la Escuela Superior de Informática.

Ha escrito 32 libros de divulgación; los últimos han sido *Meteorología popular* (1988, Ed. El Observatorio), *El libro de las setas* (1989, Alianza), *Tiempo y clima* (1990, Salvat), *El clima* (1993, Orbis), *El desierto invade España* (1994, Instituto de Estudios Económicos), *Astrología: ¿ciencia o creencia?* (1995), y *Micromegas: del dinosaurio amaestrado al agujero de ozono* (1996), ambos en McGraw-Hill, *Medio ambiente, alerta verde* (1997, Acento Editorial, junto con Francisco Tapia),



*El colesterol* (1998, Acento Editorial), *El futuro que viene* (1999) e *Hijos de las estrellas* (2000), ambos en Temas de Hoy, y recientemente *El clima, calentamiento global y futuro del planeta*, en la Editorial Debate (2006, Random House Mondadori), *El mito de la inmortalidad*, junto a Bernat Soria, en la Editorial Espejo de Tinta (2007), y *Confieso que he comido (mis memorias metabólicas)*, en la editorial Le-pourquoi-pas (2008).

Ha recibido, entre otros, el Premio de Periodismo Científico del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), el Premio de Vídeos de Divulgación Científica de la Casa de las Ciencias (La Coruña), el premio SIMO a la divulgación científica en televisión, el Premio al Fomento del Ahorro Energético (Ministerio de Industria), la Medalla de Honor al Fomento de la Invención (Fundación García Cabrerizo) y el Premio Prisma 2004 a toda una trayectoria de divulgación, del Ayuntamiento de La Coruña.

## Juan Vicente Sánchez-Andrés

Médico y MBA, doctor en Medicina, catedrático de Fisiología y director del Departamento de Medicina en la Universidad Jaume I. Director de los Programas de Emprendedores y Creación de Empresas en la Escuela de Organización Industrial (EOI). Miembro del Comité de Emprendedores de la European Foundation for Management Advancement (EFMD).

Se licenció en Medicina en la Universidad de Valencia y se doctoró en Neurociencia, en la Universidad de Alicante. Realizó su formación posdoctoral en los National Institutes of Health (NINDS-NIH) en Bethesda (Maryland, EE.UU.) donde desarrolló estudios sobre memoria y aprendizaje. A su retorno a España desempeñó sus funciones en el Instituto de Neurociencias de Alicante, en el Instituto de Bioingeniería de la Universidad Miguel Hernández y en el Instituto de Tecnologías Biomédicas de la Universidad de La Laguna en Tenerife.

Ha publicado más de cincuenta trabajos en revistas internacionales, más de cien comunicaciones a congresos y ha impartido en torno a un centenar de conferencias. Es especialista en Gestión Clínica en Salud Mental por la Universidad de Deusto y codirector del máster *on line* en Neurociencia (Universidad Pablo de Olavide) y del Máster Internacional en Psicobiología y Neurociencia Cognitiva (Universidad Autónoma de Barcelona).

Colabora en medios de difusión general (*El País*, *Cinco Días*, *Expansión*, etc.). Sus temas de especialidad son la memoria y los comportamientos colectivos, el análisis de inversiones en biotecnología y el emprendimiento.

Además, es director asociado de la *Revista de Neurología*, director médico de Viguera Editores, asesor de la Clínica Mediterránea de Neurociencias y vicepresidente del patronato de la Fundación Mediterránea de Neurociencias y miembro correspondiente de la Academia Norteamericana de la Lengua Española (ANLE).



## Millán Millán-Muñoz



Es BASC. (1968, Aeronautical Engineering), MASC. (1969, Aerospace Science), Ph.D. (1972, Atmospheric Physics), en la Universidad de Toronto, doctor ingeniero industrial (1985, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Bilbao).

En 1966 inicia su experiencia profesional en Barringer Research Ltd, Toronto, donde diseña las bobinas electromagnéticas utilizadas en las puertas detectoras de metales de los aeropuertos.

En 1968-1970, financiado por la NASA, diseña el COSPEC (CORRELATION SPECTROMETER) para la medida de gases en la atmósfera. Por él recibe el Best paper of the Year 1970 del IEEE y el premio IR-100 «a uno de los 100 mejores diseños instrumentales del año 1970», concedido por un panel de premios Nobel en Boston.

En 1972 entra en el Servicio Meteorológico de Canadá (Environment Canada), y en 1974, es nombrado asesor de la Comisión de la Comunidades Europeas en Medio Ambiente y Clima, y optimiza las redes de sensores de contaminación atmosférica de Holanda, Bélgica y Alemania (Federal), diseña los estudios de transporte de contaminantes entre Holanda, Alemania, Polonia, Checoslovaquia, y las seis campañas de medida de contaminantes atmosféricos de la CCE entre 1974 y 1983, como apoyo a la elaboración de las directivas europeas de calidad del aire.

En 1990, la Comisión Europea (DG XII) le propone para dirigir el Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo (CEAM), creado en 1991 por la Generalitat Valenciana, Bancaja, la Secretaría de Estado de Universidades e Investigación, y la Comunidad Europea. Desde 1991, el CEAM ha dirigido o participado en más de 57 proyectos europeos. Desde el 1995 estudia los efectos climáticos de los mecanismos de retroalimentación entre los usos del suelo, y la recirculación vertical de vapor de agua y contaminantes (p. ej., ozono) sobre el Mediterráneo, que explican la pérdida de tormentas de verano en el área mediterránea, el aumento de temporales en otoño en las costas mediterráneas, y el aumento de las inundaciones de verano en el Centro y Este de Europa. Estos tópicos se han incorporado en el 6º y 7º PM de la CE.

Desde el 1974 al 2006, con nombramiento *ad personam*, ha participado en varios comités y grupos asesores de la Comisión Europea definiendo las prioridades científicas en el 1º, 2º, y 3º Programas de Medio Ambiente y, en el área de Medio Ambiente y Clima del 3º, 4º, 5º, 6º y 7º Programas Marco de Investigación de la CE. Así mismo, sus trabajos han sido presentados en el Parlamento Europeo y en las reuniones del COP (Moscú, Hyderabad-India, Nairobi) del Programa ONU sobre el Cambio Climático.

Es autor de más de cien publicaciones científicas, y doctor *honoris causa* por la Universidad Miguel Hernández de Elche, Alicante.

## Juan Manuel Badenas Carpio

Nació en Valencia el 14 de marzo de 1965. En la actualidad es el rector de la Universidad Internacional Valenciana (VIU). Anteriormente fue director general de la Agència Valenciana d'Avaluació i Prospectiva de la Generalitat. Su vida profesional ha transcurrido los últimos veinte años en cuatro campos de actuación, a saber: la universidad, la magistratura, los medios de comunicación y la Administración Pública. Respecto del primer campo, el de la universidad, en la actualidad es catedrático de Derecho Civil, después de ser profesor titular de Derecho Civil en las universidades de La Laguna (Tenerife) y Jaume I (Castellón). Licenciado en Derecho y premio extraordinario de licenciatura por la Universidad de Valencia, en 1989. Obtuvo el grado de doctor con sobresaliente *cum laude* en la Universitat Jaume I, en el año 1992. También ha sido profesor de la Universidad de Montpellier (Francia). En la faceta investigadora cabe destacar que es autor de nueve libros monográficos sobre distintos temas jurídicos, coautor de diecinueve libros sobre temas de Derecho Privado y autor de más de treinta artículos publicados en revistas científicas de reconocido prestigio. Además ha sido director de tres tesis doctorales y ha realizado estancias de investigación en prestigiosas universidades extranjeras, entre las que cabría señalar: Harvard, La Sorbona, Bolonia, Perpiñán y Múnich. Todo ello, junto con otros méritos accesorios le han valido el reconocimiento de tres sexenios por parte de la CNEAL, dependiente del Ministerio de Educación español.



Respecto de campo del ejercicio de profesiones jurídicas, ha sido magistrado suplente de la Audiencia Provincial de Castellón entre los años 1992 y 1998 y de la Audiencia Provincial de Valencia entre 1999 y 2001. Ha sido también vicepresidente de la Corte de Arbitraje de la Cámara de Comercio de Castellón, vocal de la Comisión de Codificación Civil Valenciana, presidente de la Unión de Consumidores de Castellón y del Foro de Consumidores. Actualmente es presidente del Foro de Opinión Cívico de la Comunitat Valenciana.

En el ámbito de los medios de comunicación, ha sido tertuliano de Radio Castellón Cadena Ser entre 1999 y 2007, de Onda Cero Castellón de forma discontinua desde el año 1999 hasta la actualidad, de Canal Nou rtvv, desde 2008 hasta la actualidad, de Localia Castellón entre 2003 y 2006, columnista de la revista semanal *Valencia 7 Dias* desde 2005 a 2008 y ha pronunciado más de setenta conferencias sobre diversos temas jurídicos y no jurídicos en España y en el extranjero.

En el ámbito de la Administración Pública con anterioridad a su nombramiento como director general de la Agència Valenciana d'Avaluació i Prospectiva (AVAP), ejerció de coordinador asesor de la Conselleria de Presidencia de la Generalitat entre los años 2006 y 2007, así como de vocal del Observatorio de Derecho Civil Valenciano desde el año 2002 hasta el 2007.

## Antonio Sánchez Andrés



Profesor en la Facultad de Economía de la Universidad de Valencia desde 1987 y doctor desde 1991 con una tesis sobre las reformas económicas en la Unión Soviética durante el período de Mijail Gorbachov. A partir de ese momento concentró su atención en investigaciones relacionadas con la economía rusa (política económica, industria de defensa, energía, política exterior y relaciones comerciales hispano-rusas).

Ha escrito más de un centenar de trabajos científicos publicados en medios españoles e internacionales, al tiempo que ha presentado ponencias en un centenar de congresos tanto en España como en el extranjero. Ha realizado más de medio centenar de estancias en Rusia en centros científicos repartidos por casi toda la geografía de ese país (destacando las de Moscú, San Petersburgo, Kazaní, Ekaterinburg y Novosibirsk), así como otras varias en diversos países occidentales, como Gran Bretaña y Francia.

Es director de un grupo científico especializado en transición económica en la Universidad de Valencia y miembro de varias asociaciones internacionales científicas. Asimismo ha acometido labores de consultoría para empresas que han pretendido introducirse en el mercado ruso. También ha realizado diversas colaboraciones en prensa de ámbito nacional como se trata de los diarios económicos *Expansión* y *Cinco Días*, así como con periódicos de grupo Vocento.

## Antonio Cejalvo Lapeña

Nacido en Valencia, el 7 de julio de 1965. Es ingeniero superior Industrial por la Universidad Politécnica de Valencia especialidad en Técnicas Energéticas (1990). Máster en Gestión de Calidad y Ambiente por la Escuela de Organización Industrial y posgrado en Sistemas de distribución de fluidos a presión en la Universidad Politécnica de Valencia.

Becario en la Central Nuclear de Cofrentes en 1990, y en el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene del Ministerio de Trabajo en 1991.

Ingresa en la Administración Pública en 1992 como funcionario de carrera, número 1 de su oposición a nivel nacional en el grupo de ingenieros industriales. En la Administración Pública desarrolla su trabajo en el Ministerio de Trabajo, en el Ministerio de Fomento y en la Generalitat Valenciana.

En 2002 es nombrado director de la Agencia Valencia de Energía, y desde 2003 es director general de Energía de la Generalitat Valenciana y director de la Agencia Valenciana de la Energía.

Ha sido vicepresidente primero ejecutivo de la Asociación Nacional de Agencias de Energía (ENERAGEN) y en la actualidad es vicepresidente de Políticas Regionales de la Federación Europea de Agencias de Energía (FEDARENE).

Miembro de los consejos consultivos de Electricidad e Hidrocarburos de la Comisión Nacional de la Energía y vicepresidente del Instituto de Tecnológico de la Energía.

Miembro de la Comisión Técnica Interdepartamental de Coordinación de Políticas de Prevención ante el Cambio Climático y de la Comisión Asesora del RITE.

También es miembro del Consejo de la Agencia Valenciana de la Movilidad.

Ha participado en numerosos proyectos europeos y eventos de abastecimiento energético, eficiencia energética y energías renovables.





# Energía



# **La energía fotovoltaica como motor del desarrollo**

GUILLERMO SÁNCHEZ PLAZA

Director de tecnología del Centro de Tecnología Nanofotónica de Valencia

## **El paradigma actual de la energía**

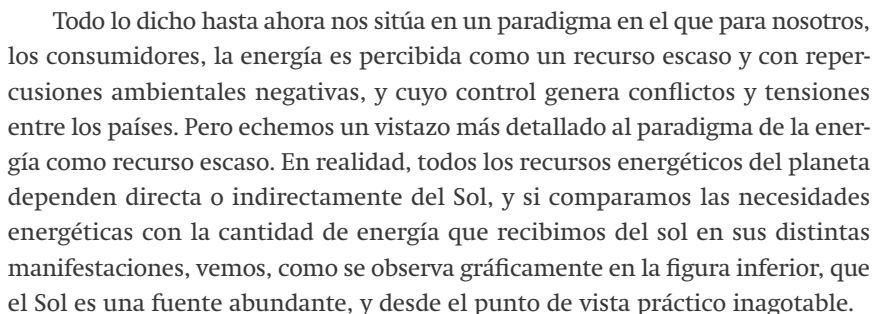
La mayoría de los países del mundo desarrollado cubren sus necesidades de energía utilizando un porcentaje elevado de combustibles fósiles, principalmente petróleo, carbón y gas natural. Estos combustibles se traen desde los países productores y se queman en grandes centrales donde se transforman en electricidad que, a su vez, se transporta mediante las redes eléctricas hasta los puntos de consumo.

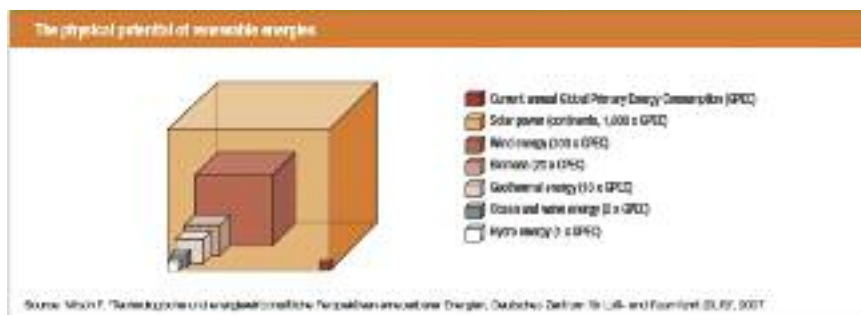
Este sistema ha venido funcionando desde hace mucho tiempo y sigue siendo válido en nuestros días, en la medida en que nos cubre las necesidades sin que los usuarios tengamos que preocuparnos mucho y a un precio que no parece muy elevado en nuestra lista de gastos habituales. Sin embargo, cada vez nos van llegando más noticias que empiezan a preocuparnos y que nos hacen pensar en la necesidad de ir haciendo algunos cambios en el modelo.

En primer lugar, los combustibles fósiles son escasos, y no van a durar siempre, a no ser que reduzcamos tanto su consumo que este se sitúe por debajo de la velocidad a la que se regenera, y estamos muy lejos de eso. Hay cierta controversia sobre este tema, ya que nadie se atreve a decir con exactitud cuánto combustible nos queda en la Tierra. Lo que sí que no hay ninguna duda es que los combustibles fósiles baratos se han acabado, y que lo que queda va a costar cada vez más extraerlo y que por lo tanto su precio no puede hacer otra cosa sino subir. Y ya que hablamos de esto, hay un efecto interesante sobre el precio que es el efecto de la botella medio vacía. Es cierto que los expertos no se ponen de acuerdo sobre la cantidad total de las reservas en el mundo, ni en cuántos años nos van a durar, pero lo que sí parece que están de acuerdo es en que en los próximos años se va a alcanzar el punto en el que se habrá agotado la mitad de las

Además, estos recursos están localizados en unos cuantos países, y la dependencia de los países desarrollados, tanto de la continuidad del suministro como de la dependencia del precio que fijen los países productores, crea tensiones que se ven reflejadas en conflictos violentos de mayor o menor intensidad.

Los combustibles fósiles además, cuando se queman producen residuos como el  $\text{CO}_2$ , cuya acumulación en la atmósfera se ha correlacionado con el llamado *efecto invernadero*, responsable a su vez del efecto de calentamiento global del planeta.





## Eficiencia

De acuerdo, acabamos de ver que tenemos radiación solar de sobra para cubrir nuestras necesidades energéticas, pero solo podremos utilizarla si sabemos cómo transformar dicha radiación en algo útil, y este es el caso de la energía solar fotovoltaica, que transforma directamente en electricidad la radiación solar, sin necesidad de ningún proceso intermedio, y sin producir ningún subproducto o residuo. Desde este punto de vista es seguramente la forma de producción de energía más limpia e inocua, ahora bien, cabe preguntarse hasta qué punto va a ser capaz de cubrir nuestras necesidades, y en esos sentidos podemos preguntarnos cuál es la eficiencia de esta tecnología; es decir, la cantidad de energía eléctrica que podemos producir por unidad de energía solar recibida. Y nos preguntamos también cuál es esa eficiencia por unidad de superficie, para tener una idea de si por ejemplo con la superficie del tejado de una vivienda unifamiliar seremos capaces de cubrir las necesidades energéticas de la familia que vive allí. Y finalmente, y para completar las cuestiones prácticas sobre si el interés de esta tecnología, nos preguntamos por el precio actual y las perspectivas futuras.

Sin ánimo de resultar excesivamente técnico si que tenemos que comentar un poco cómo funciona esto de la conversión fotovoltaica para entender la eficiencia que podemos esperar de esta tecnología. La conversión fotovoltaica se basa en hacer incidir la luz del sol sobre un material semiconductor. Este material, se llama precisamente semiconductor porque está a medio camino entre las propiedades de un conductor y de un aislante, y esto es así, porque de alguna forma los electrones están ligados a sus átomos, en un nivel energético en el que no les es posible moverse libremente por el material, sin embargo, con cierto aporte de energía, si que pueden pasar a un estado de conducción. Pues bien, la energía de la luz del Sol es capaz de aportar esa energía, y hacer que los electrones se puedan utilizar para generar corriente eléctrica. Pero la energía del Sol nos llega en forma de fotones de distintas energías, y la máxima eficiencia que podemos obtener de un único material semiconductor está limitada por esta razón. A efectos prácticos, para un semiconductor como el silicio, que es el más utili-

zado en fotovoltaica, la eficiencia máxima que se puede conseguir es del 29 por ciento.

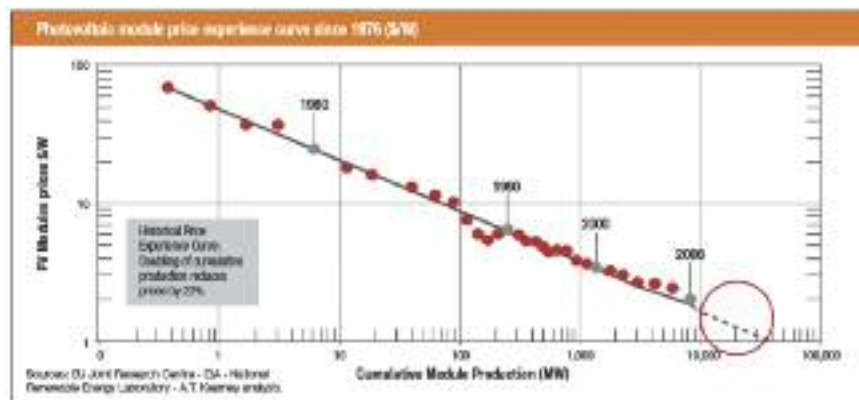
No estamos muy lejos de conseguir esas eficiencias ya que en un laboratorio se han conseguido valores del 25 por ciento, y en producción a gran escala se consiguen eficiencias de hasta el 21 por ciento. Esto, si lo traducimos a la potencia que podemos obtener por metro cuadrado de superficie, se traduce en aproximadamente 210 vatios de potencia por metro cuadrado. Si pensamos que una vivienda unifamiliar necesita una potencia instalada de unos 3 kilowatios, vemos que con una superficie de 20 metros cuadrados de paneles fotovoltaicos podríamos cubrir estas necesidades, paneles que podríamos por ejemplo instalar sobre el techo de la vivienda.

Llegados a este punto puede ser ilustrativo pintar por ejemplo sobre el mapa de Estados Unidos, la superficie total que sería necesario cubrir para satisfacer todas las necesidades de suministro eléctrico del país.



Hasta aquí he pretendido mostrar que la producción de energía mediante paneles fotovoltaicos puede cubrir nuestras necesidades de una forma limpia, y ocupando un espacio menor que el que utilizamos para nuestras viviendas. Pero al final, esto será una solución práctica si lo que nos cuesta esta instalación es menos que lo que nos cuesta pagar todos los meses el recibo de la luz. Pues bien, actualmente no lo es, aunque casi, pero es en lo que está trabajando aceleradamente la industria fotovoltaica, que es lo que se ilustra en la siguiente

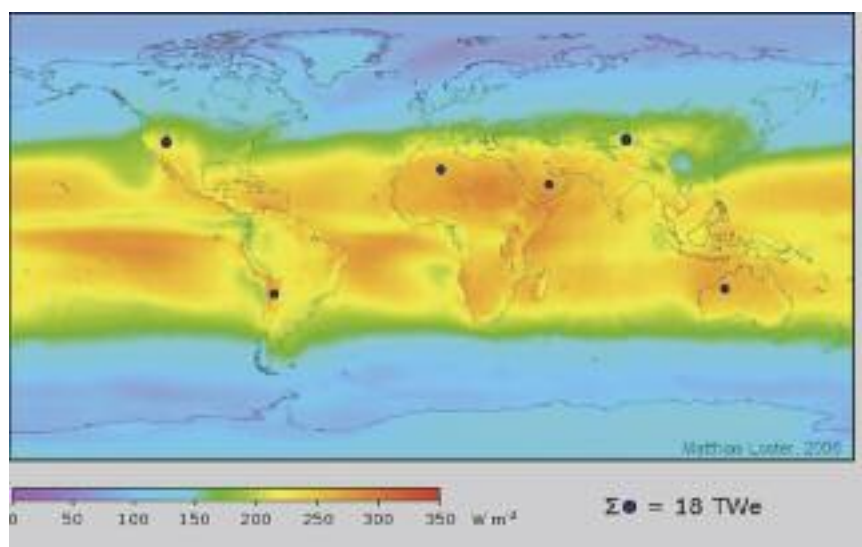
gráfica, y que podemos resumir diciendo que el precio se está consiguiendo reducir a un ritmo del 22 por ciento cada vez que la producción de paneles se dobla.



Esto es lo que ha conseguido la política de subvenciones de países como Alemania, gracias a la cual vamos a conseguir que dentro de cuatro o cinco años sea más barato invertir en un sistema fotovoltaico para producir electricidad que por ejemplo en una central que funciona a base de quemar gas natural. Si nos vamos al caso de una vivienda, una instalación de 4 kW nos costará aproximadamente 8.000 euros y nos durará por lo menos veinticinco años, que sería el equivalente a un recibo de 26,66 euros al mes.

### La situación en los países menos desarrollados

Hasta aquí lo que está pasando en la energía fotovoltaica en países como Alemania; pero ¿cuál es la situación en países menos desarrollados? Me refiero a países en los que no existe un suministro estable de energía porque no hay recursos para abordar las grandes infraestructuras que son necesarias, tanto en centrales de producción como en redes de distribución, pero que por el contrario tienen Sol abundante durante todo el año. De hecho, si miramos el mapa de la distribución de irradiación solar en el planeta observamos que precisamente muchas de las zonas de mayor intensidad son alguna de las zonas menos desarrolladas del planeta, lo que nos plantea una gran oportunidad: la posibilidad de ayudar al desarrollo utilizando una fuente de energía que es abundante para estos países: el Sol.



### La analogía con la telefonía móvil

La telefonía móvil se ha desplegado de manera imprevisible en los países menos desarrollados, y esto ha sido en gran parte debido al bajo coste relativo de las infraestructuras necesarias, y a la rapidez con la que se producen los retornos económicos que permiten amortizar rápidamente estas inversiones.

De forma análoga, la energía fotovoltaica permite abordar un modelo de energía distribuida en forma de pequeñas instalaciones que estén próximas a los puntos de consumo. De esta forma las inversiones son mucho menores y pueden escalar gradualmente, y no son necesarias las grandes inversiones en infraestructuras de transporte.

Para darnos cuenta de cómo esto ayudaría al desarrollo de los países donde se pusiera en marcha, pensemos que el hecho de tener un punto de conexión eléctrica en cualquier lugar, por remoto que sea, significa tener acceso a multitud de servicios de primera necesidad como son poder instalar puestos sanitarios, poder extraer el agua de un pozo, y poder potabilizarla después. Luego esta agua puede utilizarse para regar y cultivar alimentos, y para cocinar, y también puede utilizarse la electricidad para calentar y cocinar los alimentos, y para iluminar las viviendas o el exterior de estas, lo que aumenta la seguridad, o para iluminar las escuelas y hacer que sea posible la educación fuera de la jornada laboral. Y en otro orden de cosas nos va a habilitar el acceso a sistemas de comunicaciones, y acceso a radio, televisión e internet, con lo que nos va a propiciar el acceso a la cultura. Y finalmente, disponer de un suministro regular de energía es la base para la puesta en marcha de multitud de pequeños negocios que desarrollen la economía.

Evidentemente todo esto se está produciendo ya. Numerosas ONG están promoviendo este tipo de instalaciones, si bien el despliegue se produce muy lentamente, limitado por la disponibilidad de recursos económicos.

### **Crear riqueza en lugar de gastar en comprar combustible**

Si recapitulamos por un momento lo visto hasta ahora, hemos dicho que muchos de los países en desarrollo disponen de abundante radiación solar, y que las instalaciones de energía fotovoltaica son una alternativa adecuada de suministro eléctrico, que además ofrece ventajas adicionales ligadas a la sostenibilidad. Pues bien, hay un nuevo concepto que es útil introducir aquí. La energía que producimos a partir de combustibles fósiles no solo cuesta por lo que ha costado poner en marcha la central, nos cuesta también y sobre todo por el precio del combustible que, como hemos visto, va ser cada vez más caro. Pues bien, como en el caso de la energía fotovoltaica, la fuente, el «combustible» es el Sol, esto no nos cuesta nada, y lo que nos cuesta al final la energía que producimos es lo que nos ha costado producir los paneles. Pero esos paneles, los han producido personas, y tenemos que al final cuando estemos pagando el precio de un panel estaremos pagando en una buena parte el trabajo de las personas que lo han producido.

En definitiva, lo que un país paga por los combustibles que necesita importar, es dinero que va a otro país, y cuyo comercio no está exento de tensiones internacionales. Sin embargo, todo ese coste puede traducirse en riqueza para el país, en la medida en que el propio país se involucre en la producción de los paneles. Esto, el hecho de que países poco desarrollados puedan involucrarse en los procesos de fabricación de paneles fotovoltaicos, que hace unos años sería impensable, es cada vez más posible gracias a la propia evolución de la industria fotovoltaica, que está poniendo en marcha sistemas de producción llave en mano que facilitan significativamente la producción, y la acercan a posibles inversores aunque estos no estén especialmente preparados técnicamente.

En las fábricas «llave en mano» el cliente asume unos compromisos de pago, aporta los terrenos donde ubicar la fábrica y contrata al personal. En el plazo de aproximadamente dos años, el suministrador se compromete a poner en marcha todos los equipos y procesos hasta alcanzar el nivel pactado de producción y con una eficiencia estable y garantizada. Una vez alcanzado esto, el proveedor se involucra también en la transferencia de este conocimiento a los empleados de la fábrica.

### **La lógica económica**

El despliegue de la energía fotovoltaica en países en desarrollo está limitado por la disponibilidad de recursos económicos, de manera que si queremos promover que este despliegue se lleve a cabo a mayor velocidad tendremos que en-

contrar una lógica económica que lo sustente. Veamos cómo podemos construir dicha lógica.

El dinero está al final de la cadena, en la explotación de las instalaciones (los usuarios pagan por la luz). La cuestión ahora es encontrar la manera en que este dinero puede ir retroalimentándose en la cadena de valor de manera que pueda ir cubriendo las necesidades de financiación de las inversiones. El riesgo se va trasladando consecuentemente a los plazos de entrega y a la calidad de los productos entregados. Es decir, alguien tiene que poner el dinero por adelantado, y es ahí donde está el riesgo, y en la medida en que ese riesgo sea alto será también alta la rentabilidad que se espere de esa inversión.

Precisamente es en la reducción de ese factor de riesgo donde interviene el concepto de «fábricas llave en mano», ya que los proveedores de estas *fábricas* asumen esos riesgos o por lo menos los reducen significativamente, y son flexibles en cuanto a los plazos de los pagos, de forma que el riesgo se puede ir desplazando también a lo largo de la cadena de valor.

Con los plazos y garantías ofrecidas por los proveedores de fábricas «llave en mano», se pueden firmar contratos de instalaciones fotovoltaicas a dos años y a precio cerrado. Este y otros contratos pueden poner en marcha todos los mecanismos de financiación necesarios para abordar las inversiones necesarias.

La situación de estabilidad jurídica, la demanda, y el nivel de desarrollo tecnológico de cada país determinará el volumen de las inversiones y en qué eslabón de la cadena de fabricación es más conveniente abordarlas. Cualquiera que sea el nivel de la inversión, tendrá un beneficio para la población y para su desarrollo tecnológico-industrial.



También podemos deducir de estas gráficas que, alcanzado cierto nivel de consumo energético, ya no existe mejora sino probablemente derroche, con lo que se deja espacio para un ahorro energético en los países desarrollados que vendría muy bien para aquellos que se encuentran todavía en vías de desarrollo y, más aún, para los que sufren subdesarrollo.

España se encuentra en el nivel óptimo de consumo: es decir, el necesario para tener el mejor nivel en alcanzado hasta la fecha en ambos indicadores, sin caer en valores de consumo de energía que sugieran un derroche excesivo.

### **Necesidad de un desarrollo energético sostenible**

El Club de Roma ya previno en 1972 de la necesidad de poner unos «límites al crecimiento»<sup>1</sup> en el sistema económico mundial y se constataba, de este modo, la inviabilidad de continuar de forma indefinida con el modelo en vigor. Las Naciones Unidas en 1987 confirmó esta denuncia en el extenso informe «Nuestro futuro común»<sup>2</sup> que cubría muy distintas áreas de actividad, entre ellas la energía que quedaba recogida en su capítulo 7. En este sentido argumentaba para todas ellas la necesidad de un *desarrollo sostenible* que permitiese «satisfacer nuestras necesidades actuales sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer las suyas.»

En el campo de la energía la búsqueda de un desarrollo sostenible es aún más difícil que en otros campos de la actividad humana, dado que los recursos energéticos son finitos y su utilización, a lo largo de toda la cadena (generación, almacenamiento, transporte, conversión a energía útil y utilización), produce en la actualidad un excesivo impacto ambiental que es necesario minimizar. Estos dos aspectos: disponibilidad de suficientes recursos energéticos y control del impacto ambiental del sector energético, son esenciales en la búsqueda de una sostenibilidad energética, y no solo pensando en garantizar a las generaciones futuras que puedan cubrir sus necesidades sin dificultad y con un medio ambiente no deteriorado, sino también en poder alcanzar estos objetivos en el presente, porque ya representan un problema para la generación actual que carece de energía en una fracción importante de población del planeta y que se enfrenta a la urgente necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero que podrían generar un cambio climático de consecuencias muy graves para la vida en el planeta.

1 «Los límites al crecimiento» (1972) Informe del Club de Roma, <http://www.clubderoma.net/>

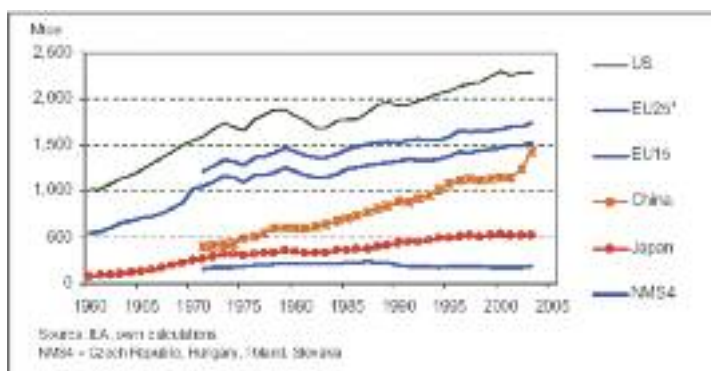
2 «Nuestro futuro común» (1987-1988) Informe de Naciones Unidas, <http://www.un-documents.net/wced-ocf.htm>.

## El problema energético

El problema energético al que nos enfrentamos en la actualidad tiene cuatro causas fundamentales:

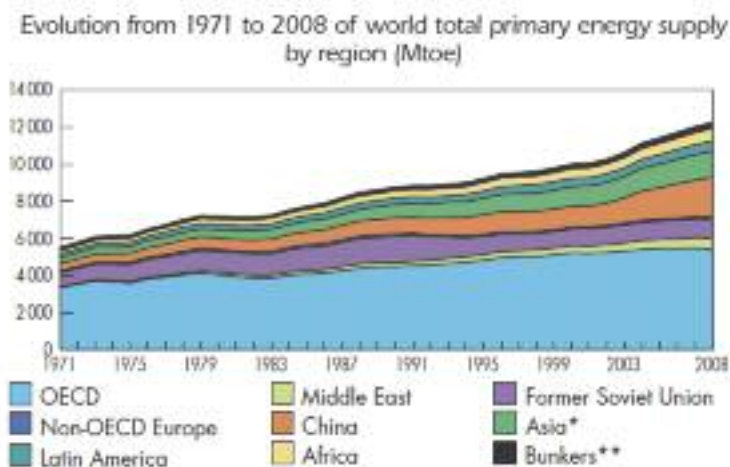
- a) El crecimiento de la demanda de energía, especialmente en los países en vías de desarrollo (figura 2).

Figura 2. Evolución de la demanda energética de diferentes países



Un crecimiento que seguirá produciéndose de forma inevitable, ya que el consumo de dichos países está muy por debajo del consumo de los países desarrollados, que concentran la mayor parte de la demanda energética en los países englobados en la OCDE (figura 3).

Figura 3. Demanda energética por áreas



Las políticas de ahorro y mejora de la eficiencia de los procesos energéticos no han conseguido invertir la tendencia de crecimiento, como se deduce de los datos presentados. Únicamente han conseguido reducir el ritmo de crecimiento de dicha demanda que en promedio es actualmente del 1 por ciento anual en los países de la OCDE y del 3 por ciento en los restantes

- b) La existencia de una cantidad finita de reservas energéticas y, por tanto, de un número limitado de años en que sea posible su utilización, duración que en la mayoría de las fuentes actuales está por debajo de los cien años, aunque estas cifras solo tienen en cuenta las reservas existentes, no los recursos posibles, y los ritmos actuales de consumo.

Figura 4. Evolución de la disponibilidad de petróleo durante el siglo xx



La figura 4 muestra la evolución a lo largo de todo el siglo XX de la estimación del número de años en que podría contarse con el petróleo: cuarenta años al comenzar el siglo, que seguían siendo cuarenta al concluirlo. El hecho se explica por el descubrimiento de nuevos yacimientos y tecnologías de extracción, así como por un mayor precio que ha hecho rentable la extracción en yacimientos inicialmente descartados.

Independientemente de la duración que se considere, el hecho es que los combustibles fósiles tienen una duración limitada y un coste creciente que obliga a replantearse su papel dominante en el consumo energético actual.

- c) La localización de la fuentes de energía primaria más utilizadas: petróleo y gas, en zonas geopolíticamente inestables.

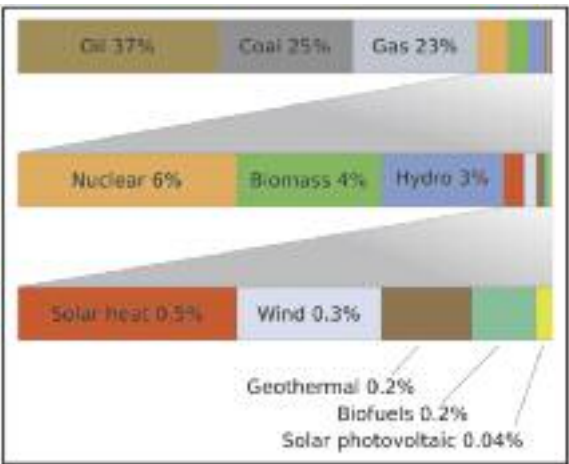
Así, Rusia y el Norte de África alimentan la impresionante red de gasoductos que posibilitan el uso de gas natural en la Unión Europea (figura 5). Una situación similar se da en el caso de petróleo

d) Un excesivo impacto ambiental de las tecnologías y usos energéticos actuales, debido a la dependencia de los combustibles fósiles que representan, sumadas las contribuciones del carbón, petróleo y gas natural, el 85 por ciento del total de los recursos energéticos utilizados (figura 6).

Figura 5. Red de gaseoductos para la Unión Europea



Figura 6. Distribución por fuentes del consumo mundial de energía primaria

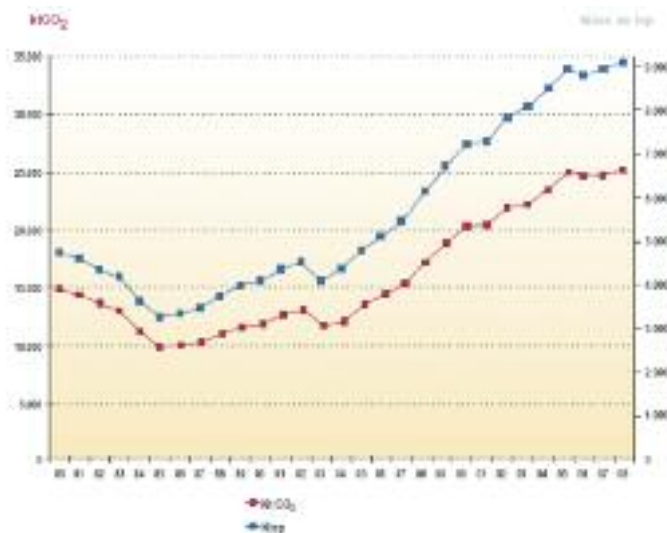


El esquema energético de la Comunidad Valenciana adolece de todas las causas anteriores. Situación, por otra parte, muy común en casi todo el primer mundo y muy especialmente en el promedio de la Unión Europea.

- excesiva dependencia exterior en su suministro de energía primaria;
- fuerte dependencia de los combustibles fósiles;
- aumento constante de las emisiones de gases de efecto invernadero.

Todo ello debido a que el 74 por ciento de su consumo de energía primaria se cubre con combustibles fósiles (42 por ciento con petróleo y 32 por ciento con gas natural) mientras que las energías renovables solo cubren el 3 por ciento. El resto se cubre con energía nuclear (17 por ciento) y con el saldo eléctrico (5 por ciento), como puede deducirse de los datos publicados anualmente por la Agencia Valenciana de la Energía.<sup>3</sup> En su último informe, correspondiente a los datos energéticos del año 2008, se incluye el diagrama que resume el consumo de energía y su utilización por los distintos sectores de demanda: industria, transporte, agricultura y pesca, servicios y residencial..

**Figura 7. Consumo de energía primaria y emisiones de CO<sub>2</sub> en la Comunidad Valenciana**



También en dicho informe se presenta la evolución histórica, desde 1985, de la demanda de energía primaria y las emisiones de CO<sub>2</sub> (figura 7) que muestran la tendencia creciente de ambas, pese a los compromisos adquiridos de re-

<sup>3</sup> Datos energéticos de la Comunidad Valenciana, AVEN, 2010, [http://www.aven.es/pdf/balance/datos\\_energeticos\\_2008.pdf](http://www.aven.es/pdf/balance/datos_energeticos_2008.pdf).

ducir las emisiones de CO<sub>2</sub> a los niveles de 1990, con un incremento máximo de un 15 por ciento. Una situación, por otro lado, análoga a la media de la Unión Europea que presenta incrementos del 30 por ciento sobre los valores que el compromiso de Kyoto le asigna.

Como conclusión, es evidente que son necesarios cambios cualitativos importantes para garantizar la solución a los problemas anteriormente citados. Esto es, es necesario:

- a) disponer de suficiente energía para cubrir una demanda creciente, amortiguando dicho crecimiento mediante medidas adecuadas de ahorro y mejora de la eficiencia energética;
- b) disponer de los recursos energéticos, garantizando dicha disponibilidad, y a ser posible el autoabastecimiento, para prolongados periodos;
- c) diversificar las fuentes de suministros para evitar el impacto de conflictos o políticas de cartel en los países productores,
- d) reducir el impacto ambiental del sector energético, manteniendo cuasi constantes los niveles de emisión de gases de efecto invernadero.

Todas estas condiciones podrían lograrse si fuese posible potenciar el papel de las energías renovables en el *mix* energético futuro hasta el nivel más elevado posible; de este modo se conseguiría un esquema energético sostenible. Y este es el papel que pueden, y deben, jugar los desiertos como fuentes de electricidad a partir de la abundante energía solar que reciben y su elevada extensión geográfica.

### **El potencial energético de los desiertos**

El Sol es la fuente de prácticamente todas las energías renovables, salvo la geotermia (origen terrestre), las mareas (origen gravitacional) y los residuos sólidos urbanos (origen humano). La conversión directa de la radiación solar puede permitir la generación de electricidad mediante paneles fotovoltaicos o por generación térmica por concentración, siendo este último método más compatible con el almacenamiento, y, por tanto, con mayor fiabilidad del suministro, al basarse en el almacenamiento de calor que es mucho más viable y masivo que el almacenamiento de electricidad. Por ello, la energía eléctrica termosolar (figura 8) está cobrando un desarrollo muy notable en todo el mundo con cerca de 2.000 megavatios (MW) en fase de operación o instalación. En este ámbito de desarrollo España es líder en la actualidad.

Pero volvamos al caso que nos ocupa. En la Comunidad Valenciana la demanda de electricidad en 2008 alcanzó los 27.200 gigavatios/hora (GWh), de los que un 74 por ciento fue cubierta por la electricidad generada en la Comunidad con los 6852 MW de potencia nominal existente. De dicha potencia 975 MW corresponden a energías renovables y, gracias a ellos, se cubrió

el 3,5 por ciento de la demanda total. Si quisiéramos subir dicha contribución al 35 por ciento sería preciso un nivel de generación de aproximadamente 10 gigavatios (gw) y, en el caso virtual de que pudiese cubrirse sin problemas de fiabilidad toda la demanda con renovables, el requerimiento en potencia alcanzaría los 30 gw.

Figura 8. Planta solar termoeléctrica



Los modelos de planificación energética que consideran la penetración del coche eléctrico como alternativa para disminuir la dependencia del petróleo en el sector del transporte, y la correspondiente reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub>, dan previsiones de duplicar la demanda de electricidad para el año 2030, con lo que se precisaría unos 60 gw en un escenario de generación eléctrica basada exclusivamente en renovables.

Si planteamos cubrir esta demanda con energía solar termoeléctrica, y asumimos una radiación de 1 kW/m<sup>2</sup> y un rendimiento del orden del 15 por ciento, se necesitaría una superficie de captación de dicha energía del orden de 420 km<sup>2</sup>, lo que implicaría un 2 por ciento del territorio de la Comunidad. Si extrapolamos estos cálculos a España y la Unión Europea, las necesidades en superficie para dicho escenario con electricidad basada exclusivamente en la energía termosolar serían 10.000 y 83.000 km<sup>2</sup> respectivamente. La cuestión es dónde podemos disponer de estas extensiones de terreno y, a la vez, tener un valor de radiación solar alto y continuo. La respuesta es inmediata: ¡en el desierto! Así el del Sahara, con sus 9.065.000 km<sup>2</sup> y su alta radiación solar, podría con menos de un 1 por ciento de su superficie cubrir todas las necesidades de energía eléctrica de la Unión Europea (figura 9). No existe problema en disponer de energía

primaria para cubrir nuestras necesidades actuales y futuras. Existe mucha más de la que se necesita y está en el desierto. El problema es cómo encontrar soluciones tecnológicas que hagan viable su captación, transformación en energía final y distribución a los puntos de consumo.

**Figura 9. Potencial del desierto para cubrir necesidades energéticas**  
**El proyecto Desertec**



El hecho de que la energía solar que se recibe en los desiertos de las zonas ecuatoriales tiene potencial para cubrir ampliamente las necesidades de energía primaria, junto a la preocupación por conseguir un desarrollo sostenible que ya explicitó de forma pionera en 1972, motivó al Club de Roma a crear la red TREC (Trans-Mediterranean Renewable Energy Cooperation) junto con la Fundación de Hamburgo para la Protección del Clima y el Centro Nacional de Jordania de investigación en el campo de las energías renovables (NERC).

La red TREC considera que el suministro de energía desde los desiertos a la red europea sería un complemento a las energías renovables en Europa y una forma de acelerar la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> e incrementaría, al mismo tiempo, la seguridad del abastecimiento de energía. Ello traería consigo, para la población en Oriente Medio y en África del Norte (MENA), aparte del propio abastecimiento eléctrico sostenible, el aumento de puestos de trabajo, de ingresos, la mejora de las infraestructuras y la posibilidad de desalinización de agua sin emisiones de CO<sub>2</sub> y como medio para lograr el objetivo de esta iniciativa se ha propuesto el concepto DESERTEC, basado en la cooperación entre Europa, Oriente Medio y África del Norte (EUMENA) para la producción de electricidad y agua

desalinizada mediante centrales termosolares y sistemas de concentración, junto a parques eólicos, en los desiertos de la región MENA. Estas plantas pueden cubrir la demanda creciente de electricidad y de energía para la desalinización de agua en la región MENA y, además, producir energía limpia que podría ser transportada mediante Líneas de Corriente Continua (HVDC) hasta Europa con unas pérdidas inferiores al 15 por ciento.

Figura 10. Iniciativa TREC



Ahora la red TREC trabaja para llevar adelante este concepto con políticos, la industria y el mundo financiero. Para ello se ha puesto en marcha la fundación DESERTEC<sup>4</sup> y el consorcio industrial Dii.

La tecnología necesaria para realizar este proyecto está disponible y ha estado en uso durante varias décadas, aunque no a los niveles que aquí se plantean.

- a) Las centrales termoeléctricas son idóneas para producir electricidad que pueda ser gestionada. Estas centrales utilizan espejos para concentrar la energía solar que es absorbida por los fluidos que discurren por los tubos absorbedores para, posteriormente generar el vapor que propulsa las turbinas para producir la electricidad. La energía térmica recogida en el campo solar durante el día puede almacenarse (por ejemplo tanques de sales fundidas) para generar electricidad por la noche o aportar energía adicional cuando haya puntas de consumo. En caso de un largo período sin sol, con diseños de plantas híbridas se puede garantizar el abastecimiento eléctrico con las mismas turbinas, utilizando petróleo, gas o biomasa para generar el vapor, sin tener que duplicar la inversión en nuevas turbinas o alternadores. Otros subproductos, de gran interés para la población de esta región, serían la desalinización de agua y la producción de frío.

<sup>4</sup> Desertec Foundation [www.desertec.org](http://www.desertec.org).

Figura 11. Proyecto DESERTEC



- b) Líneas de transporte en corriente continua de alto voltaje con capacidad de hasta 3 gw a larga distancia vienen siendo construidas desde hace muchos años. En julio 2007 Siemens fue adjudicatario de un concurso para la construcción de un sistema de 5 gw en China.
- c) Los parques eólicos son ya una realidad, con España en posiciones de liderazgo en el caso *on-shore*, y alcanzan una potencia total instalada cercana a los 20.000 mw.

Respecto a la viabilidad económica del proyecto, está condicionada por el actual coste no competitivo de las energías renovables, aunque el coste creciente de los combustibles fósiles y la reducción de los costes de la renovable con la economía de escala que en este proyecto alcanza un nivel impresionante, permite pensar que a largo plazo el proyecto resultará rentable, aparte de su indudable rentabilidad medioambiental. Para hacer atractiva la apuesta del sector privado en estos ambiciosos planes es necesaria una ayuda inicial por parte de los gobiernos. De esta forma hasta el año 2050 se podría lograr una capacidad de 100 gw para la exportación (que equivale a la electricidad de cien plantas nucleares) en los países de la región MENA, descontando ya la demanda propia. Según los datos del DLR, con un apoyo de menos de 10 billones de euros en total, podría lanzarse este programa que haría posible antes de 2020 que esta forma de ge-

neración eléctrica compitiera con la generación de electricidad a partir de combustibles fósiles sin más subvenciones.

### Conclusiones

La necesidad de un desarrollo energético sostenible está agravada por la existencia de un problema actual en la disponibilidad de suficientes recursos energéticos, ya que los combustibles fósiles, además de tener un impacto medioambiental inaceptable si se utilizan de forma mayoritaria, son escasos y excesivamente localizados. Sin embargo, es posible disponer de energía primaria suficiente para cubrir sobradamente las necesidades actuales y futuras, al mismo tiempo que se reduce el impacto medioambiental del sector energético, acudiendo a la depositada por el sol en las zonas desérticas ecuatoriales.

El Club de Roma, que ya alertó al comienzo de los años setenta del pasado siglo de la necesidad de un desarrollo sostenible, promueve ahora la utilización de la energía del desierto del Sahara para la producción de energía y la obtención de agua potable en África y Oriente Medio, pero generando suficientes excedentes como para potenciar el *mix* energético de la Unión Europea con una substancial fracción de energías renovables.

Las tecnologías requeridas (centrales solares termoelectricas, eolicas y líneas de transmisión de corriente continua) están disponibles. La viabilidad económica del proyecto requiere de un esfuerzo inicial de los gobiernos, pero se espera que, al igual que está ocurriendo con la eólica, la economía de escala haga el proyecto competitivo con las energías de origen fósil cuando se alcancen potencias del orden de decenas de gw.

# Geotermia para la edificación

## Panorama europeo y evolución en España

PEDRO FERNÁNDEZ DE CÓRDOBA CASTELLÁ

Catedrático de la Universidad Politécnica de Valencia, socio fundador de Energesis

JAVIER F. URCHUEGUÍA SCHÖLZEL

Catedrático de la Universidad Politécnica de Valencia, socio fundador de Energesis

### Las diferentes variantes de la geotermia

Para ofrecer en general una visión de la situación de la energía geotérmica somera en Europa y más concretamente en España, así como sobre el estado actual de esta tecnología, es interesante empezar definiendo la energía geotérmica. La *geotermia* es la energía almacenada en forma de calor bajo la superficie terrestre.

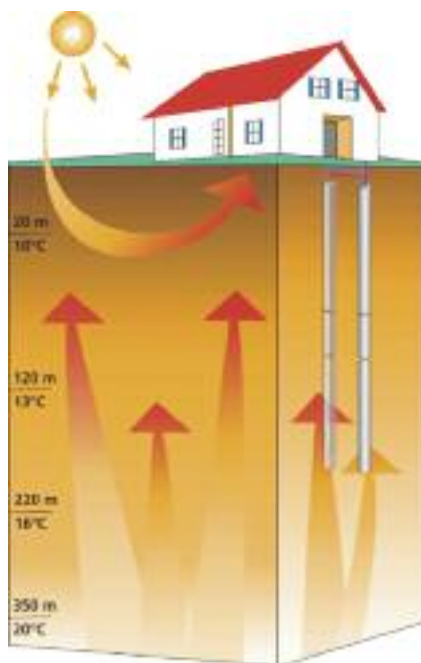
Así, ya se acepta en el ámbito europeo como geotermia el aprovechamiento del terreno como un recurso térmico. Esta ponencia va a tratar de desvelar cómo la geotermia, una de las fuentes de energía renovable menos conocidas, posee al mismo tiempo un importante potencial para la generación de energía térmica y eléctrica.

Estas posibilidades no se limitan, como habitualmente se cree, a zonas con condiciones geológicas favorables. También existen usos y tecnologías que permiten utilizar recursos geotérmicos a temperaturas bastante inferiores a las que se necesitaban años atrás, y que se hallan presentes en zonas muy amplias.

Partiendo de esta base es importante diferenciar dos grandes sectores de aplicación y tecnológicos:

- La geotermia para producción de electricidad en yacimientos de alta temperatura (superiores a los 100-150° C), propia de zonas con unas determinadas características geológicas.
- Los usos térmicos en los sectores industrial, servicios y residencial, para temperaturas por debajo de los 100° C ya sea en la modalidad de uso directo (calentamiento de distrito, balnearios, acuicultura, etc.) o a través de bomba de calor geotérmica (calefacción y refrigeración) para temperaturas del terreno muy bajas (por debajo de los 25° C). Esta vertiente se suele clasificar como energía geotérmica somera, de muy baja entalpía o geotermia me-

diente bomba de calor. En este sentido, la bomba de calor constituye el elemento que nos permite hacer un uso eficiente de las temperaturas del terreno. A día de hoy, se trata de una tecnología que se encuentra en auge en nuestro país, emergente y de claro interés industrial.



### Principios básicos

La bomba de calor es uno de los elementos fundamentales para la climatización en la edificación mediante energía geotérmica. Este es un dispositivo que permite refrigerar espacios cuando la temperatura exterior es cálida y calentar espacios cuando la temperatura exterior es fría.

En resumen, termodinámicamente podríamos decir que la bomba de calor establece un flujo de calor de cierto foco frío hacia uno caliente gracias a un consumo de trabajo llevado a cabo en un compresor. De esta forma, cuanto mayor sea la diferencia de temperaturas entre focos, peor será el rendimiento energético, generalmente denominado *COP* (*coefficient of performance*), de la máquina.

En el caso concreto de una bomba de calor aplicada a la geotermia, se busca establecer el flujo de calor entre el subsuelo y el lugar a acondicionar según interés. Dicho subsuelo y el lugar que se quiere acondicionar juegan el papel de foco frío o caliente, independientemente de que se opere en condiciones de verano (refrigeración) o invierno (calefacción).

Por ejemplo, en Valencia en verano la temperatura interior deseable es de unos  $24^{\circ}\text{C}$ . Si utilizásemos como foco de la bomba de calor el aire que rodea el edificio (sistema conocido como aerotermia), este podría encontrarse a unos  $35^{\circ}\text{C}$  y el esfuerzo de la máquina deberá compensar unos  $11^{\circ}\text{C}$  de diferencia. Sin embargo, el subsuelo en Valencia se encontraría a unos  $20^{\circ}\text{C}$  de temperatura (temperatura media anual de la zona). Así, podríamos evacuar el calor del edificio al terreno, el cual en realidad estará a algo más de  $24^{\circ}\text{C}$  en la zona de inyección de calor (afectación térmica del terreno).

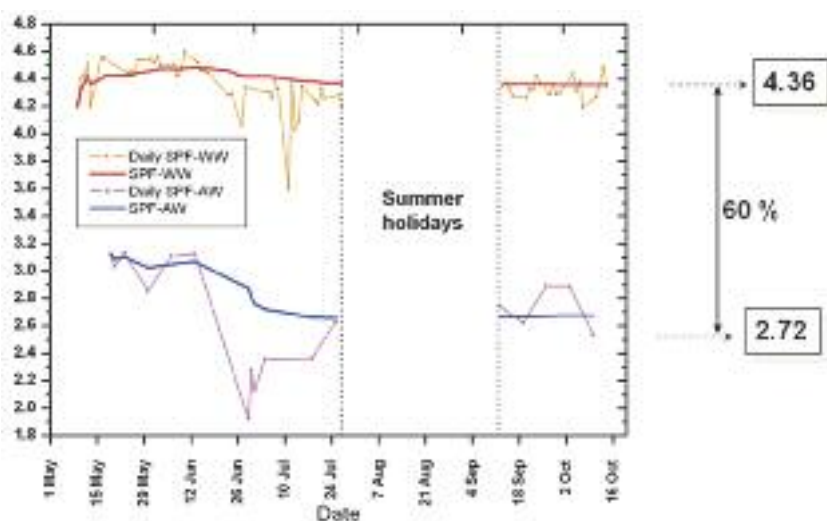
En cualquier caso, el salto de temperaturas es potencialmente mucho menor, de modo que el rendimiento de la bomba de calor (COP) sería notablemente mayor. A pesar de ello, la bomba de calor utiliza elementos tecnológicamente muy parecidos a los usados en un sistema de acondicionamiento convencional.

El verdadero reto tecnológico de esta tecnología renovable consiste en limitar el fenómeno de la afectación térmica del terreno. Esto consiste en minimizar la modificación de las temperaturas del suelo de manera limitada y controlada a fin de no penalizar el rendimiento del sistema. Esto implica la elaboración de un cuidadoso diseño del conjunto de la instalación que habrá de tener en cuenta el conjunto de los flujos energéticos del edificio y las características térmicas del terreno, entre otros. En definitiva, se dice que una bomba de calor geotérmica es una bomba de calor que utiliza el suelo para funcionar en condiciones de temperatura más favorables comparadas con el aire, lo que permitirá un ahorro sustancial de energía (alrededor de un 50 por ciento), siempre que el sistema haya sido diseñado correctamente para que el suelo absorba o ceda el calor adecuadamente.



## Geotermia somera: Panorama europeo y español

A nivel europeo son muchos los proyectos geotérmicos llevados a cabo ante el demostrado interés de la tecnología. En la siguiente gráfica podemos ver la comparación en un proyecto de investigación europeo (GeoCool) que buscaba comparar un sistema de climatización convencional con uno geotérmico, observándose la enorme mejora en el COP obtenido mediante la geotermia somera.



Dentro de España, se están empezando a dar pasos significativos a través de diferentes proyectos llevados a cabo satisfactoriamente. Ejemplos de ello son el primer edificio de España con climatización híbrida (Gandía, Valencia), el Museo del Agua de Torrent (Torrent, Valencia), bloque de viviendas en Morella (Castellón), entre otros.

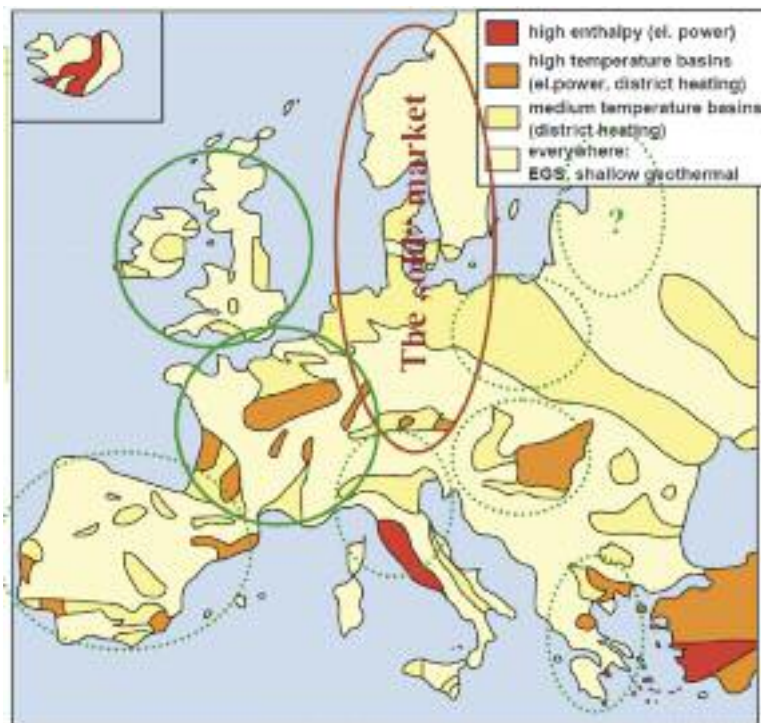
La Directiva Europea ha marcado recientemente un hito importante en el camino de la implantación de la energía geotérmica, al permitir que se defina una serie de conceptos que antes estaban siempre confusos y bajo discusión.

Así, la energía geotérmica ha pasado a formar parte del inventario de energías renovables de los diferentes países, lo que nos sitúa en la obligación de hacer un recuento de los recursos aprovechables.

El estado de la geotermia en Europa se resume muy gráficamente en el siguiente mapa:

En primer lugar, cabe destacar lo que se denominan *mercados asentados*. En este grupo se incluyen a los países escandinavos, así como a Alemania, Austria y Suiza, donde llevan ya muchos años trabajando con esta tecnología. Por otra parte, países como Francia o Gran Bretaña son mercados que han demostrado durante la última década una importante expansión. Finalmente, los mercados

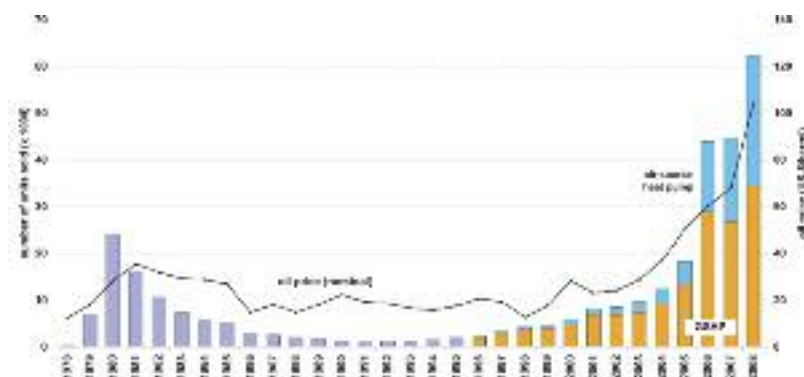
señalados en línea discontinua serían los emergentes, de tal manera que ni siquiera se conoce muy bien en qué grado cuantitativo de desarrollo se encuentra la geotermia somera.



En cuanto a previsiones sobre cómo puede evolucionar el mercado de la geotermia, Europa se ha planteado un reto ambicioso, pero realizable a la vista de cómo ha sido la evolución hasta ahora, ya que se ha conseguido mantener siempre una evolución por encima de las previsiones.

Si el 70 por ciento de las bombas geotérmicas están situadas en Suecia, Alemania y Francia, sería interesante responder a la siguiente pregunta: ¿por qué la geotermia no ha evolucionado más en España? La única respuesta plausible está en las inadecuadas políticas energéticas que el país sigue al respecto. Es decir, tenemos todavía que lograr el contorno regulador y político adecuado para permitir el desarrollo de la energía geotérmica de baja entalpía en España.

La gráfica más ilustrativa al respecto es la que representa la evolución de Alemania. A finales de los años setenta hubo un repunte de la energía geotérmica al hilo de la crisis del petróleo. Sin embargo, a lo largo de la década de los ochenta, el número de instalaciones comienza a decrecer.



Una de las causas fue el hecho de que muchas instalaciones eran inadecuadas a las necesidades del momento (por ejemplo, instalaciones de bomba de calor que sustituyeron a calderas sin un ajuste preciso de las temperaturas interiores de los radiadores), motivo por el cual se perdió la confianza de muchos posibles usuarios.

En el año 1996 se creó la norma técnica alemana (VDI 4640) que permitió definir una serie de estándares técnicos fundamentales para el sector, lo cual supuso el punto de disparo en el número instalaciones. El ejemplo de Alemania supone, por lo tanto, un ejemplo acerca de cómo las instalaciones bien ejecutadas y la existencia de una política que lo apoye, supone un impulso determinante al desarrollo de esta energía, y en esta línea es en la que España deber ponerse a trabajar.

# Energía ‘new-clear’

JUAN JOSÉ GÓMEZ CADENAS

Catedrático de Física Atómica y Nuclear y profesor de investigación del CSIC

Nuestra sociedad consume cantidades extravagantes de energía cuyo origen, mayoritariamente, se encuentra en los combustibles fósiles. Para mantener girando los engranajes de nuestra civilización industrial, quemamos anualmente cerca de siete mil millones de toneladas de carbón, más de treinta mil millones de barriles de petróleo y otros treinta mil millones de metros cúbicos de gas natural. En total, el 85 por ciento de la tarta energética se extrae hoy día de unos recursos escasos y cuyo consumo poluciona el medio ambiente. El otro 15 por ciento se reparte, más o menos a partes iguales, entre la energía nuclear y las energías renovables. La contribución de estas últimas está todavía dominada por la energía hidráulica, si bien es cierto que la contribución de la energía eólica ha aumentado durante la última década y seguirá haciéndolo, previsiblemente, en los próximos años.

Son muchos los argumentos que apuntan a la necesidad de una transición energética que mitigue nuestra dependencia del carbón y el petróleo. El primero es un recurso escaso y el segundo, el combustible fósil que más contamina, incluyendo las emisiones de  $\text{CO}_2$ , indudablemente ligadas al efecto invernadero, podría provocar importantes disrupciones en el clima del planeta. En cambio, es probable que sigamos quemando durante décadas, quizá siglos, cantidades ingentes de gas natural, más abundante que el petróleo y menos contaminante que este y que el carbón. Pretender que sea posible cortar radicalmente nuestra dependencia de los combustibles que definen, literalmente, nuestra sociedad, es una ingenuidad que suele venir acompañada de otra no menos pueril: imaginar que es posible sustituirlos –a corto plazo– por una combinación de energía renovable, eficiencia energética y ahorro.

La nuestra ha sido, durante toda su historia (a excepción del último siglo y medio) una sociedad solar. Desde la Edad de Piedra hasta la revolución industrial,

hemos vivido de las energías renovables, quemando madera, hojarasca y bosta para calentarnos, ayudándonos de molinos de agua y viento para moler grano y explotando el músculo de hombres y bestias para producir trabajo.

Pero esas sociedades solares que nos antecedieron carecían de televisión, cirugía por láser, *airbuses*, calefacción central, automóviles, dentistas, Ipad, Google, ordenadores, electrodomésticos y, por supuesto, de la electricidad que anima casi todos estos dispositivos. Las pirámides se construyeron con un consumo medio por persona y día de unos 20 kilovatios hora. Las catedrales europeas con menos de 50. El ciudadano medio español consume 120 y el norteamericano 250. Por otra parte, los países más poblados del mundo, notablemente China y la India están todavía en la Edad Media de la energía. Y tienen prisa por alcanzar el nivel de confort que nuestras ricas sociedades dan por descontado.

La consecuencia es que la tendencia mundial, catástrofes aparte, va a ser seguir consumiendo más y más energía, a medida que una parte de los miles de millones de personas que hoy viven en el mundo en la miseria, vayan saliendo de ella. Suponga el lector que fuera posible negociar un honrado valor medio energético en el cual los habitantes de países como España o Francia se resignaran a vivir con dos terceras partes de la energía que consumen hoy, mientras los norteamericanos renunciaran a las dos terceras partes de la que consumen (a cambio chinos, indios, brasileños y todo el continente africano tendría derecho a llegar a ese valor medio de unas 80 kilocalorías por persona y año). Incluso en ese improbable caso –un mundo justo y frugal– se consumiría más energía que hoy. El secreto de la abundancia en la que vivimos el 25 por ciento de la población mundial, consiste en condenar a la pobreza al otro 75 por ciento.

¿Podemos regresar a una sociedad solar? La respuesta es no, si tenemos siete mil millones de habitantes ávidos de una vida mejor. No, mientras no seamos capaces de desarrollar sistemas masivos de almacenamiento de energía y redes eléctricas inteligentes. No, posiblemente, en ausencia de una superestructura política que permita la racionalización de recursos –que haga posible explotar el sol del Sahara, el viento de Finisterre o los saltos hidráulicos de Noruega–. No, en todo caso, mañana, ni el año que viene, ni en una década ni en tres.

¿Podemos entonces sustituir los recursos fósiles por energía nuclear? Tampoco es una hazaña que podamos realizar a corto plazo. Las centrales nucleares producen electricidad de manera fiable y continua –no dependen de los avatares del clima, y utilizan un combustible cuya densidad energética es muy superior a la del carbón o el gas natural, no digamos ya el viento o la radiación solar–. Pero en el mundo hay unos trescientos cincuenta reactores en funcionamiento, muchos de ellos de un diseño vetusto, como la hoy tristemente famosa central de Fukushima.

¿Es posible multiplicar, digamos por diez, el número de reactores actuales? *A priori* podría contestarse que sí. Después de todo llevamos sesenta años construyendo estos ingenios y el diseño dominante (el reactor de agua ligera, o LWR de sus siglas en inglés) ha evolucionado a lo largo de las décadas hasta dar lugar a modelos como el EPR francés que de nuevo *a priori* podrían utilizarse como base para expandir la energía nuclear por un orden de magnitud.

El EPR, al igual que otros modelos de la llamada generación III+, incorpora toda la tecnología actual a sus sistemas de seguridad, mucho más sofisticados que los disponibles hace dos, tres o cuatro décadas. Un EPR habría resistido, muy probablemente, el maremoto que provocó el tristemente célebre accidente de Fukushima, al igual que resistiría otras catástrofes similares. El nivel de seguridad estimado para estos ingenios es del orden de un accidente por reactor cada cien mil años. O en otras palabras, una flota de cinco mil EPRs podría operar durante doscientos años sin que ocurriera un nuevo Fukushima.

*A priori*, claro está. Porque lo cierto es que el EPR sigue siendo un reactor de agua ligera con el mismo talón de Aquiles, a pesar de todos sus sistemas de seguridad, que el de las centrales de Fukushima.

El diseño de base de un LWR es una vasija de acero que contiene agua a alta presión –unas 150 atmósferas en el caso del EPR– y a una temperatura en exceso de 300 grados centígrados. El agua, en un LWR juega el papel de *refrigerante* –permite evacuar el intenso calor generado por las reacciones de fisión en el combustible– y de *moderador* –frena los neutrones energéticos producidos en las fisiones, a fin de que estos puedan inducir nuevas fisiones y continuar la reacción en cadena–. El combustible del LWR son pastillas de óxido de uranio encerradas en largas varillas de zirconio, un metal con buena conductividad térmica. El uranio que forma el combustible está enriquecido en el isótopo fisible U-235, cuya abundancia en las pastillas es del 3 por ciento en lugar del 0,7 por ciento en el uranio natural. Conceptualmente, un reactor nuclear es un dispositivo muy simple –por el contrario, es una de las máquinas más complejas que el hombre ha construido en su realización práctica–. La reacción de fisión en el interior de las pastillas de uranio produce enormes cantidades de calor que se transfiere al agua a presión que circula por el reactor. Esta agua se transforma, a menudo a través de un circuito secundario, en vapor a alta presión que mueve una turbina.

Es muy improbable que un LWR sufra un accidente como el que destruyó el reactor de Chernobyl; aquello fue una reacción en cadena descontrolada (excursión de criticidad o de potencia en el discreto argot del campo). Esto se debe a la presencia de poderosos bucles retroalimentados negativos en la operación del reactor. Un bucle retroalimentado negativo es un mecanismo que se opone al efecto que lo crea y tiende a mantener el sistema en equilibrio. Si calentamos

café en una gélida noche de invierno y olvidamos la taza en el escritorio, no tardará en enfriarse hasta alcanzar la temperatura del cuarto. Si, por el contrario, nos preparamos un helado en una tórrida tarde de verano y olvidamos tomarlo a tiempo, acabaremos con un batido a la tibia temperatura ambiente. El café caliente no se calienta más cuando lo retiramos del fuego, ni el helado sigue enfriándose fuera de la nevera. En ambos casos, un bucle retroalimentado negativo tiende a devolver la temperatura de los líquidos a la del ambiente que los rodea.

En un LWR existen varios bucles retroalimentados negativos, de los cuales mencionaré dos. El llamado efecto Doppler y el llamado coeficiente negativo de vacío. El primero se da debido a la mezcla entre U-235 (el isótopo fisil del uranio) y U-238, que no se fisiona con neutrones lentos pero es capaz de capturarlos, eliminándolos así de la reacción en cadena. Sin entrar a describir la física subyacente, podemos imaginarnos el efecto Doppler como un mecanismo que aumenta la probabilidad de que los neutrones rápidos emitidos en la fisión del U-235 sean capturados por el U-238 antes de que tenga tiempo de perder la suficiente energía como para inducir una nueva fisión. Este mecanismo se acelera a medida que la temperatura aumenta. En un reactor nuclear, el efecto Doppler está *afinado*, por decirlo así, de tal manera que a la temperatura normal de operación permite que la cantidad justa de neutrones se *enfríe* (pierda su energía) lo suficiente para que se mantenga la reacción en cadena. ¿Pero qué ocurre si la reacción en cadena comienza a descontrolarse? Por un lado aumenta el número de neutrones. Por otro, aumenta la temperatura, ya que la energía liberada es mayor con una reacción de fisión más intensa. Pero al aumentar la temperatura el efecto Doppler dispara la probabilidad de capturar neutrones del U-238. Como consecuencia, el exceso de neutrones en la reacción desaparece y la temperatura baja. Cuando ha bajado lo suficiente, la probabilidad de capturar neutrones del U-238 baja de nuevo y se vuelve a las condiciones iniciales de la operación.

Un efecto similar ocurre con el llamado *coeficiente de vacío*. Aquí, el mediador del bucle retroalimentado negativo es el agua que ejerce de moderador (freno) de los neutrones rápidos. Si la reacción en cadena se descontrola, aumenta la temperatura y si la temperatura se incrementa el agua se evapora. Pero sin agua, los neutrones rápidos emitidos en la fisión, no encuentran núcleos de moderador contra los cuales chocar y perder energía. En consecuencia el número de fisiones disminuye y la reacción vuelve a su curso.

El talón de Aquiles de los LWR no es por lo tanto el control de la reacción de fisión, sino la necesidad de refrigerar continuamente el núcleo del reactor. En los reactores de Fukushima la reacción de fisión se detuvo inmediatamente cuando golpeó el terremoto. Si este no hubiera venido acompañado de un tsunami, no habría ocurrido, posiblemente, nada digno de ser contado –el caso de otros reactores cercanos–. Pero la combinación de terremoto y maremoto in-

utilizó los sistemas autónomos necesarios para bombear continuamente agua fresca en el reactor. Incluso con la reacción de fisión detenida, el núcleo de estas máquinas es un infierno radioactivo que produce, en el instante de detenerse la reacción, casi tanto calor como el debido a esta, cortesía de la desintegración de los núcleos inestables producidos en la fisión. Este calor va disminuyendo a medida que los radioisótopos desaparecen, pero lo hace de manera muy lenta. Durante un largo tiempo tras la parada de la reacción, es imprescindible refrigerar continuamente el núcleo del reactor con un flujo continuo de agua fresca. Si ese flujo no está disponible, las varillas de metal se van calentando hasta que llega un momento en que se funden. Si eso ocurre, el interior del reactor se convierte en un cocido de metal fundido y elementos radioactivos capaz de indigestársele a cualquiera.

Esta situación –la fusión del núcleo– estuvo a punto de darse –o para ser exactos se dio parcialmente– en el reactor de Harrisburg, hace más de tres décadas y se ha producido finalmente, con toda su gravedad, en los reactores de Fukushima. Nadie duda de la magnitud de la catástrofe, aunque diversos observadores la evalúan de diferente manera. Lo que es innegable es que, pese a que el número de víctimas directas ha sido prácticamente nulo –algo que ya ocurrió en Chernobil pero que en el caso de Fukushima se pone aún más de manifiesto cuando uno compara con las más de veinte mil tragedias humanas que habrá costado el maremoto–, las consecuencias ecológicas, sociales y económicas serán muy serias.

¿Puede la energía nuclear permitirse un accidente –un Fukushima– cada dos o tres décadas? Lo dudo. ¿Es el EPR, o modelos similares de la generación III+ la fórmula que se necesita para una expansión sostenible (léase segura) de la energía nuclear, al nivel de miles de reactores? No estoy seguro. Al margen de otros argumentos que darían de sí para muchas páginas –coste, disponibilidad del combustible, complejidad tecnológica– el argumento clave, al menos en nuestra hipocondríaca sociedad, vuelve a ser el de la seguridad. Un EPR, al igual que cualquier LWR no está exento del riesgo de sufrir una fusión del núcleo. Y si se quiere ser puntilloso, toda la tecnología de último grito que utilizan será obsoleta en las cinco o seis décadas de vida que se espera extraer de estas bestias. Parte del desastre en Fukushima está relacionado con la explotación de reactores cuyos estándares de seguridad ya no se correspondían (al ser muy antiguos) con las exigencias actuales. Pero dados los costes astronómicos y el impacto ambiental de una central nuclear es imposible pretender que estas no funcionen durante muchas décadas.

Curiosamente, el LWR no prosperó hasta alcanzar su papel preponderante como solución industrial casi única de la energía nuclear, por ser el mejor reactor disponible hace cincuenta años, sino por una combinación de circunstancias

entre las cuales habría que citar los intereses del complejo industrial-militar estadounidense. El LWR es, en esencia, el motor de un submarino nuclear, varado en tierra y rodeado por una cúpula de hormigón. Claro que un submarino nuclear dispone de todo el océano para refrigerarse en caso de problemas, mientras que cuando se construye un monstruo de 1600 MW de potencia como el EPR es necesario, valga la licencia poética,<sup>1</sup> traerse el océano al reactor.

¿Existen alternativas? Ciertamente, y ninguna de ellas es nueva. Veamos un ejemplo, el reactor de bolas de billar (o PBR, de sus siglas en inglés).

Para visualizar un PBR, imagine el lector una máquina de chicles, de las que todavía pueden encontrarse en funcionamiento a la puerta de cualquier bar. Los chicles son esferas, apretados en el interior del recipiente de vidrio. Se introduce una moneda, se gira una manilla y sale una esfera de colores por la parte inferior del recipiente.

Cambiamos ahora las bolas de goma de mascar por esferas (del tamaño de una bola de billar) de carbón pirolítico, en cuyo núcleo hemos insertado partículas de óxido de uranio, de medio milímetro de diámetro. Las esferas de este combustible, llamado TRISO, llenan el reactor, al igual que las boyas de chicle llenan la botella de la máquina dispensadora, maximizando el cociente entre superficie y volumen. Para entender la idea, imagine el lector que llenamos el reactor (o la máquina de chicles) de cubos, en lugar de esferas. Los cubos tienden a apretarse formando paredes compactas, mientras que las esferas insisten en mantener una considerable distancia entre ellas. Pero cuanto mayor es la superficie que un cuerpo ocupa con respecto a su volumen, más fácil le resulta enfriarse.

El PBR se refrigera, en la mayoría de sus versiones por gas. En caso de una excusión de potencia, el efecto Doppler aparece, más fuerte incluso que en el caso del LWR para abortar la reacción descontrolada. De ahí que un PBR no pueda sufrir una explosión como la de Chernobil. Pero en caso de un maremoto que deja al sistema sin potencia, y esta es la gran diferencia con el LWR, el PBR se enfría solo. Al igual que en el LWR, los productos radioactivos, una vez detenida la fisión, empiezan a calentar las esferas de combustible. La diferencia es que las esferas de grafito resisten mil grados más que las varillas de zirconio antes de empezar a perder su integridad. Pero por otra parte, un cuerpo caliente radia energía con la cuarta potencia de su temperatura. Una esfera a una temperatura de dos mil grados emite dieciséis veces más calor que una esfera a mil grados. Si estas esferas están distribuidas en una gran superficie, como es el caso del PBR, el resultado es que, cientos de grados antes de llegar al punto en el que el com-

<sup>1</sup> Que debo, entre otras muchas ideas a mi amigo, Rogelio Palomo Pinto, de la Universidad Politécnica de Sevilla.

bustible pierde integridad, el reactor comienza a enfriarse por convención natural. Opera también aquí un bucle retroalimentado negativo, que se opone a que el reactor se caliente en exceso y acaba por estabilizarlo.

En resumen, en el PBR es el efecto Doppler el responsable de cortar la reacción en cadena cuando esta se descontrola y es la convención natural la que se ocupa de enfriarlo en caso de pérdida de refrigeración. Por supuesto, un PBR dispone de todo tipo de sistemas de seguridad y alarma como cualquier otro reactor, pero son los poderosos bucles retroalimentados negativos los que garantizan su estabilidad a largo plazo.

A este tipo de sistema se les llama, en mi opinión, con poco fortuna, «sistemas pasivos». Son pasivos en el sentido de que no necesitan una intervención activa. Pero sería preferible llamarlos «sistemas físicamente estables». Son las leyes de la física y no la ingeniería humana, las que permiten controlarlos.

El PBR es solo un ejemplo de este tipo de reactores, interesante por su simplicidad conceptual y también por su avanzado diseño de ingeniería. Es plausible construir PBR en menos de diez años y sería más creíble, según creo, una expansión nuclear basada en este tipo de sistemas.

Querría mencionar por último, sistemas aún más avanzados, como el reactor de sales fundidas (MSR), que utiliza un ciclo de torio y añade a la seguridad pasiva cuyo fundamento ya hemos descrito, el uso de un combustible —el torio—, mucho más abundante que el uranio y que produce muchos menos residuos radioactivos de larga vida. El MSR no produce plutonio, a diferencia de cualquier reactor que use uranio, ni apenas ningún otro de los indeseables residuos conocidos como actínidos. Se trata de un reactor que utiliza un principio diferente al convencional. En el MSR el combustible está disuelto en el refrigerante (sales de flúor). No existe un núcleo que pueda fundirse y el sistema es intrínsecamente resistente (de nuevo los bucles retroalimentados negativos) a los problemas que ya hemos comentado.

¿Cuánto tiempo haría falta para industrializar los MSR? La idea es tan antigua como la del LWR, pero la tecnología de hace medio siglo no estaba al nivel (por ejemplo en lo que se refiere a la resistencia de materiales) de la actual. Con suficiente inversión, investigación y voluntad política sería concebible desarrollar los MSR en unas cuantas décadas.

El mundo tiene gas natural (y carbón) para bastante tiempo. Una expansión nuclear lo bastante importante como para contribuir apreciablemente a disminuir el consumo de origen fósil requiere la construcción de miles de reactores e impone que estos reactores no sufran ni accidentes como el de Chernobil ni accidentes como el de Fukushima. Requiere, en suma, una energía *new-clear*, nueva y limpia, cuya primera encarnación podría ser un PBR industrial, en operación a la vuelta de una década y en expansión en dos o tres y cuya segunda ole-

ada podría venir en forma de MSR construyéndose de forma industrial antes de finales de siglo. No son plazos cortos, no existen plazos cortos en el desarrollo de grande sistemas energéticos. La energía *new-clear* va a necesitar, incluso si nos la tomamos en serio hoy, un mínimo de dos décadas para empezar, y cuatro o cinco antes de generalizarse. Son los mismos plazos –posiblemente son más cortos– que los necesarios para implantar sistemas renovables no intermitentes (por ejemplo centrales temosolares), redes eléctricas inteligentes, o sistemas de almacenamiento energético a gran escala.

El debate actual sobre la conveniencia o no de usar energía nuclear podría tener el efecto positivo de reconducir la industria hacia fórmulas más seguras y sostenibles. Pero también puede –es lo más probable– estancar el desarrollo de esta fuente alternativa, haciéndonos perder un tiempo precioso en una carrera contra reloj, en las que, mucho me temo, llevamos las de perder.

# La I+D+i en el campo energético

TERESA MENDIZÁBAL ARACAMA

Asesora de la Dirección del Centro de Investigaciones Energéticas,

Medioambientales y Tecnológicas, CIEMAT

Profesora de Investigación del CSIC

## Una mirada global

Para iniciar esta reflexión sobre la investigación, el desarrollo tecnológico y la innovación en el campo de la energía sugiero en primer lugar contemplar el mapa nocturno del mundo elaborado por la NASA en base a fotografías obtenidas de satélites (figura 1). Esta visión deja patente las grandes diferencias que, en cuanto a consumo de electricidad, existen entre los diferentes países del planeta y la gran injusticia social que este hecho representa. Vemos una banda central, que se extiende por el norte de América, Europa, parte de Oriente Medio, norte y centro de Rusia, sureste asiático, este de China y Japón, la costa atlántica de Suramérica, el sur de África y la costa este australiana, donde se concentra la riqueza del planeta. Para el resto del mundo la noche es muy oscura y muy dura la vida.

Figura 1. Mapa nocturno del mundo en base a fotografías del satélite. NASA



## **La energía, el desarrollo sostenible y la pobreza**

La energía es central para el desarrollo sostenible y es imprescindible para reducir los efectos de la pobreza. Afecta a todas las facetas del desarrollo –social, económico y medioambiental– incluyendo la subsistencia de las personas, el acceso al agua, la productividad agraria, la salud, los niveles de vida de la población y las cuestiones relacionadas con el género.

Ninguno de los Objetivos del Desarrollo del Milenio –objetivos acordados en la Cumbre del Milenio en el año 2000, para luchar contra la pobreza, sus causas y sus manifestaciones– podrán ser alcanzados sin una mejora en la calidad y cantidad de los servicios de la energía en los países en desarrollo.

El Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) apoya con fuerza la reducción a un 50 por ciento el número de las personas que vivirán en pobreza extrema para el año 2015. El PNUD, a través del fomento de un desarrollo integrado, está ayudando a crear estructuras políticas adecuadas para favorecer las capacidades locales y promover servicios de consulta que faciliten el acceso de la gente pobre a la energía.

Podemos decir que la energía es un bien estratégico, imprescindible para el desarrollo humano, básica para la lucha contra la pobreza y la exclusión, y clave para la seguridad de las naciones. La energía está situada en el núcleo de la lucha contra el cambio climático y el desarrollo sostenible.

Hay que resaltar, asimismo, que la energía es estrictamente necesaria para el desarrollo de la humanidad y que su escasez afecta fundamentalmente a los países más pobres.

## **El consumo de electricidad en el mundo**

Nos encontramos en una situación energética difícil con un aumento sin precedentes a nivel mundial del consumo de energía asociado al desarrollo económico y con alarmantes desigualdades entre los países. Finlandia y Canadá consumen doscientas veces más electricidad que Nepal y Tanzania, y España consume doscientas cincuenta veces más que Haití. El consumo medio de electricidad de los ocho países más ricos es de 15.651 Kwh per cápita; la media de la Unión Europea se sitúa en 5.750 Kwh per cápita, la media de los países de economías emergentes (BRICS) se sitúa en 3.289 Kwh per cápita y la media de los países más pobres está en 78 Kwh per cápita. Como todos los países tratan de mejorar su calidad de vida, es evidente que el incremento en el consumo de electricidad y por ende de energía continuará imparable en el futuro.

**Tabla 1. Consumo de electricidad, Kwh per cápita (Banco Mundial 2008)**

Finlandia	17.162	Canadá	17.061
Suecia	14.869	Estados Unidos	13.654
Emiratos Árabes Unidos	16.891	Kuwait	16.747
Qatar	15.682	Bahrein	13.144
Corea, República de	8.853	Japón	8.071
Singapur	8.185	Unión Europea	5.750
España	6.315	Federación de Rusia	6.435
Sudáfrica	4.759	China	2.455
Brasil	2.232	India	566
Togo	99	Myanmar	97
Sudán	96	Congo	95
Nepal	89	Tanzania	84
Benin	76	Etiopia	42
Haití	23		

### La dependencia energética

La capacidad de acceso a un suministro seguro y asequible de energía es un indicador del grado de desarrollo social y económico de los diferentes países del mundo. En los países desarrollados, el consumo de energía ha ido de la mano del crecimiento económico, mientras que en los países en desarrollo la mejora de la capacidad de acceder al suministro de energía es crítica para poder alcanzar una calidad de vida mejor junto con un mayor grado de desarrollo económico.

Las tendencias actuales en producción y uso de energía son insostenibles a largo plazo. La utilización de los combustibles fósiles para la producción de energía se reconoce como la mayor fuente de contaminación por el *efecto invernadero*, responsable del cambio climático, unido al agotamiento de los recursos energéticos nacionales se presenta como un problema real para la seguridad energética de muchos países en desarrollo.

El aumento del consumo mundial de energía, unido a los problemas geopolíticos, la inestabilidad de los mercados y el incremento de los precios del petróleo, ha dado lugar a una crisis energética sin precedentes que incide de forma más grave en las economías de los países que no cuentan con recursos energéticos propios para su desarrollo y que necesariamente han de recurrir a países terceros para satisfacer su demanda energética. Este es el caso de España que presenta una tasa de dependencia energética del 80 por ciento, debido a la pobreza de sus recursos energéticos, con un carbón de mala calidad y caro, y la carencia de petróleo y gas natural.

La tabla 2 refleja el consumo de energía primaria en España en el año 2009 en función de las diferentes fuentes energéticas y podemos observar como los consumos en petróleo (48,8 por ciento), gas natural (23,8 por ciento), nuclear (10,5 por ciento) y carbón (7,9 por ciento) suponen un total del 91 por ciento. Son

muy prometedores los datos del 9,4 por ciento debido a las energías renovables, pero nuestra situación de dependencia energética es muy preocupante sobre todo en la situación compleja de la ribera sur de la cuenca mediterránea.

**Tabla 2. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio  
(La energía en España, 2009)**

Fuente de energía	Consumo de energía primaria (ktep)	Consumo %
Petróleo	63.673	48,8
Gas natural	31.104	23,8
Nuclear	13.750	10,5
Carbón	10.353	7,9
Energías renovables	12.325	9,4
Biomasa y residuos	5.088	3,9
Eólica	3.196	2,4
Hidráulica	2.258	1,7
Biocarburantes	1.058	0,8
Solar	716	0,5
Geotérmica	9	0,0
Saldo eléctrico (Import-export)	-697	-0,5
<i>Total</i>	130.508	100

### La encrucijada energética

Hemos resaltado el papel clave que desempeña la energía para el desarrollo humano y cómo cada vez es mayor su demanda. Pero en este punto hemos de distinguir tres posiciones. En primer lugar, la de aquellos países caracterizados por una situación de partida tan desesperada que desean incrementar el consumo de energía sin entrar en discusiones sobre su naturaleza y sus posibles repercusiones negativas sobre el medio ambiente, pues para ellos cualquier mejora significa la vía de avanzar hacia un futuro mejor. En segundo término, se encuentran los países con un nivel medio de consumo energético, que les permite cierto grado de desarrollo económico y social, y que sienten la necesidad de aumentar la demanda si quieren situarse entre las economías avanzadas. A estos, les inquietan las consecuencias de la utilización de fuentes energéticas poco amistosas con el medio ambiente, pero sobre esta preocupación prima la urgencia de proporcionar un cambio rápido a sus sociedades (Brasil, China, India).

Finalmente, nos encontramos con el tercer grupo de países desarrollados que disfrutan de una calidad de vida buena que les permite analizar las ventajas e inconvenientes de las diferentes fuentes de energía pues están en condiciones de modificar sus opciones sin alterar básicamente su calidad de vida.

### Fuentes masivas de energía

Las fuentes masivas de energía actuales en el mundo son los combustibles fósiles (carbón, gas natural y petróleo) que suponen un 80 por ciento del consumo energético y la energía nuclear que representa un 7 por ciento. Estas fuentes, por una u otra razón, están en entredicho.

Podemos decir que todas ellas se caracterizan por dar lugar a impactos indeseados en mayor o menor grado sobre el medio ambiente. Sus recursos son limitados en un horizonte temporal no muy lejano. Los recursos de carbón pueden durar hasta doscientos cincuenta años, los del gas sesenta y los del petróleo alrededor de cincuenta. También, en cincuenta años se estiman los recursos de uranio utilizado en el actual ciclo de la fisión nuclear.

Pero además hay una razón profunda que es el rechazo social que producen estas fuentes energéticas.

### Periodo de transición

Nos encontramos en un período de transición. Además de enfrentarnos a una crisis energética mundial, las fuentes energéticas de que disponemos, exceptuando las renovables, producen rechazo y no disponemos de otras alternativas que puedan sustituirlas. A corto plazo, siguiendo las sugerencias de la Unión Europea, la *cesta energética* debe incluir una combinación de las diferentes fuentes energéticas disponibles, manteniendo la fracción nuclear para la generación eléctrica, aumentando la utilización de algunas renovables, utilizando biocarburantes para el transporte y haciendo un esfuerzo en el ahorro energético. Ante la situación descrita se precisan políticas energéticas audaces y un impulso decidido, público y privado, sobre la I+D+i, a fin de diversificar las fuentes de energía, fortalecer el correcto funcionamiento de los mercados internacionales y desarrollar tecnologías adecuadas.

### La I+D+i en energía

La presión que se está ejerciendo sobre la energía, unida a la escasez de recursos, la inseguridad en el suministro, los problemas medioambientales, el incremento de las emisiones, y la incertidumbre de los precios del petróleo, ha generado una gran expectativa sobre la I+D+i en el campo energético. La comunidad científica internacional está realizando un enorme esfuerzo y son muchas las líneas de investigación abiertas y los desarrollos tecnológicos puestos en marcha.

Durante las décadas de los años sesenta y de los setenta la tendencia dominante era considerar a la ciencia, la tecnología y la innovación, como eslabones de una cadena, al tiempo que se admitía la existencia de una relación lineal entre el conocimiento que se transmitía desde el laboratorio de investigación a la industria y de esta al mercado. Actualmente, sabemos que esto es más com-

plejo por la existencia de una interacción operativa entre la creación de conocimiento y la demanda tecnológica, de tal forma que los procesos no ocurren ni secuencialmente ni separadamente, sino de modo interactivo. En investigación se definen objetivos, se establecen hipótesis de trabajo, pero no se puede predecir la posibilidad de alcanzar un hallazgo importante, como tampoco se prevé el posible desarrollo de una tecnología de ruptura.

En este marco es necesario promover la I+D+i en todas líneas posibles: energía eólica, energía solar, bioenergía, captura y almacenamiento de CO<sub>2</sub>, energía de fusión nuclear, energía de fisión nuclear sostenible, eficiencia energética, sin abandonar ninguna opción conocida, pues en alguna podría conseguirse el avance esperado.

### **Las tecnologías energéticas a medio y largo plazo**

Aunque la situación es difícil, en un medio y largo plazo se podrían obtener resultados positivos en las siguientes áreas:

- Combustión limpia de combustibles fósiles basados en el carbono (particularmente del carbón).
- Empleo más extenso de las actuales fuentes renovables y consolidación de otras.
- Uso de una fisión nuclear sostenible.
- Fusión nuclear por confinamiento magnético o inercial.
- Desarrollo del hidrógeno como medio para el almacenamiento energético.

A continuación se hará una referencia a las principales líneas de investigación, y que a su vez son las más prometedoras, en cada una de estas áreas con referencias concretas a aquellas en las que se trabaja en el CIEMAT.

### **Combustión, gasificación, captura y almacenamiento de CO<sub>2</sub>**

Las tecnologías limpias de combustión tratan de conseguir una eficiencia mayor, con el fin de reducir al máximo las emisiones. Las principales líneas de investigación son:

- El uso de combustibles fósiles, renovables y alternativos, enfocados a su mejor utilización energética y medioambiental.
- Procesos de captura de CO<sub>2</sub> (pre, post y oxicombustión).
- Tecnologías eficientes para la captura selectiva del CO<sub>2</sub>.
- Selección, caracterización y evaluación de almacenamientos para CO<sub>2</sub>. Evaluación de su comportamiento y seguridad.

## **Empleo más extenso de las actuales fuentes renovables y consolidación de otras**

### ***Energía eólica***

La energía eólica es una fuente energética importante aunque no masiva, pero que aún precisa de desarrollos:

- Reducción de costes (generadores, instalación, operación y mantenimiento).
- Optimización (diseños flexibles, reducción de cargas, nuevos materiales).
- Aumento de la eficiencia (nuevos perfiles, palas, velocidad variable).
- Simplificación (orientación libre, integración de componentes).
- Integración en la red
- Almacenamiento energético (predicción, control, almacenamiento, electrónica de potencia).
- Nuevos mercados (*off-shore*, vientos débiles, orografía compleja, sistemas híbridos).
- Aerogeneradores de pequeña potencia.

### ***Energía solar de concentración***

La energía de origen solar es un recurso sostenible, varias de cuyas opciones tecnológicas pueden ser fuentes masivas para la generación de electricidad. Se está trabajando en nuevos desarrollos tecnológicos:

- Producción de electricidad a gran escala mediante: concentradores cilindro-parabólicos, sistemas de torre central, discos parabólicos.
- Nuevos conceptos tecnológicos: generación directa de vapor, almacenamiento térmico, ciclos de alta temperatura con nuevos fluidos.
- Avances en aplicaciones termoquímicas de la energía solar.

### ***Energía fotovoltaica***

La energía fotovoltaica está introducida en el mercado y presenta un gran potencial, pero el coste de electricidad producida es superior al de otras renovables, por ello necesita la introducción de nuevos elementos dinamizadores:

- La fabricación de lámina delgada de silicio.
  - El desarrollo de sistemas fotovoltaicos como elementos en la edificación.
- Además, actualmente se pretende:
- Consolidar los sistemas basados en lentes para concentrar la luz sobre las células fotovoltaicas.
  - Desarrollar nuevos materiales semiconductores.
  - Introducir tecnologías basadas en células orgánicas.

### ***Biomasa***

La biomasa, a través de la producción y uso de biocarburantes, bioetanol o biodiésel, es una de las alternativas actuales al petróleo en el transporte, al reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>. Mediante el biogás se produce calor y electricidad. Además, permite el aprovechamiento de residuos agrarios y desde el punto de vista social favorece la fijación de la población rural al facilitarle un medio de vida.

La I+D+i está orientada a:

- Utilizar cultivos que no compitan con el consumo humano y desarrollar biocombustibles de segunda generación.
- Desarrollar tecnologías que faciliten su integración en la producción de energía.

### ***Fisión nuclear***

La fisión nuclear es una de las fuentes masivas de energía. En el año 2010 supuso en España el 10,5 por ciento de la energía primaria y la producción del 20,21 por ciento de electricidad. El rechazo social a esta energía se basa en cuatro problemas: los residuos, la seguridad, el combustible y el control de la proliferación. Para que pueda integrarse en el desarrollo sostenible es necesario que la I+D+i produzca avances en:

- Mayores niveles de seguridad en las nuevas instalaciones. Seguridad intrínseca.
- Mejor aprovechamiento de los recursos naturales. Utilización de U y Th como combustibles.
- Minimización de la toxicidad residual. Eliminación de residuos de larga vida y alta toxicidad.
- Eliminación el riesgo de proliferación del almacenamiento final.

Las centrales de la llamada *generación IV* que reunirán los condicionantes anteriores ofrecerán una visión de la fisión nuclear muy diferente a la actual.

El CIEMAT participa en el reactor experimental Halden (OCDE, Noruega) y en el reactor experimental Jules Horowitz (CEA, Francia) para el ensayo de materiales de los reactores de la *generación IV*. Asimismo, forma parte de la Plataforma Tecnológica Europea (SNE-TP) para una energía nuclear sostenible.

### ***Fusión nuclear***

La fusión por confinamiento magnético se perfila como una fuente energética a largo plazo. A esta línea de investigación se le está dedicando mucho esfuerzo, y puede decirse que en este momento el más emblemático es el Proyecto de Reactor Termonuclear Experimental Internacional, ITER, basado en el concepto *tokamak*, en el que participan: Unión Europea, Japón, Corea, Estados Unidos, China, India y Rusia. El Laboratorio Nacional de Fusión en el CIEMAT coordina las acti-

vidades de ámbito nacional sobre energía de fusión. España participa también en el Proyecto Internacional de Irradiación de Materiales de Fusión, IFMIF, para el desarrollo de materiales adecuados para ser utilizados en un reactor termónuclear.

Además, el CIEMAT alberga la instalación TJ-II, reactor experimental para fusión por confinamiento magnético, actualmente el único *stellarator* europeo en operación.

### *Hidrógeno y pilas de combustible*

El hidrógeno es un vector energético que constituye una opción a largo plazo. Es una fuente secundaria de energía que necesita energía primaria para su generación. Sus retos tecnológicos están en su producción, almacenamiento y transporte con seguridad y en su utilización (pilas de combustible). Para avanzar necesitaría desarrollar:

- Procesos eficientes para la producción de hidrógeno.
- Materiales para pilas de combustible de baja y alta temperatura.
- Nuevas tecnologías: componentes, módulos y sistemas auxiliares de pilas de combustibles de diferente potencia. Integración de todos los sistemas.
- Utilización de H<sub>2</sub> en aplicaciones móviles o estacionarias basadas en pilas de combustible.

### **Consideraciones finales**

- El período de transición en el que nos encontramos puede extenderse cincuenta años.
- La energía es estrictamente necesaria para el futuro de la humanidad, su escasez afectará fundamentalmente a los países en desarrollo.
- Deben priorizarse las fuentes energéticas que puedan permitir el progreso de los países en desarrollo.
- Hay que hacer un esfuerzo para corregir las causas del rechazo social a las actuales fuentes masivas de energía.
- En la I+D+i no pueden predecirse ni los grandes hallazgos ni la obtención de una tecnología de ruptura. La situación exige un esfuerzo máximo.



# Sostenibilidad



# Energía y medio ambiente: una relación de amor-odio

MANUEL TOHARIA CORTÉS

Director científico de la Ciudad de las Artes y las Ciencias

Los primeros seres vivos que hubo en la Tierra fueron acuáticos: se trataba de células sin núcleo, algunas de las cuales estaban dotadas de una proteína, la clorofila, que posibilitaba la utilización de la energía luminosa procedente del Sol para iniciar una reacción química tendente a asimilar el carbono a partir de uno de los gases atmosféricos, el dióxido de carbono, con el fin de incorporarlo a sus moléculas básicas. Aquellos primeros seres vivos seguramente comenzaron a proliferar hace unos tres mil ochocientos millones de años, y poseían unas estructuras que hoy consideraríamos muy primitivas, constituidas por moléculas complejas en las que los átomos de carbono se encadenaban unos a otros para convertirse en el esqueleto de las cadenas químicas de la vida incipiente. Un proceso que se mantendría, por cierto, en las posteriores y más complejas formas de vida que fueron apareciendo en los mares y, mucho más recientemente, también en tierra firme.

Aquellos organismos marinos elementales, y posteriormente otros seres vivos igualmente monocelulares pero más complejos estructuralmente, fueron durante tres mil millones de años los únicos pobladores vivientes del planeta. A lo largo de una lentísima evolución fueron diferenciándose y haciéndose cada vez más complejos. Y hace unos seiscientos millones de años se hicieron pluricelulares y más tarde iniciaron su asalto a la tierra firme; hasta entonces, la vida había sido exclusivamente submarina.

Muchos de esos primeros seres vivos habían comenzado a absorber carbono, a partir del dióxido de carbono atmosférico, gracias a la acción de la energía solar; este fenómeno de fotosíntesis entrañaba, como resultado final del proceso, la expulsión del desecho correspondiente, o sea, el oxígeno. Un gas ávido por combinarse con muchos otros elementos químicos, a los que *oxida*, e in-

compatible, por tanto, con las formas de vida incipiente que no obstante, bajo el agua, estaban a salvo de su corrosivo efecto.

Mucho después, y tras la conquista lenta y progresiva de la tierra y el aire por algunos seres vivos que hasta entonces habitaban el mar, la faz del planeta cambia de manera radical. Y en los últimos trescientos millones de años, y a pesar de enormes cambios climáticos a la escala de millones de años, el paisaje terrestre tenía ya bastante que ver con el actual: una plétora de biodiversidad, con plantas y animales por doquier, en el mar, como siempre, pero también en tierra firme e incluso surcando los aires.

Hace tan solo cinco millones de años –muy poco en la escala de tiempos que hasta ahora veníamos manejando–, existían ya en algunos lugares de clima propicio, por lo que sabemos quizá solo en el continente africano, unos animales dotados de cuatro manos y un eficaz sistema de contacto e intercambio con el mundo exterior (lo que ahora llamamos *sistema nervioso*), mucho más rico y potente de lo que hasta entonces había sido habitual en otros animales superiores. En una rápida evolución –rápida, una vez más, en términos temporales relativos–, aquellos primates dieron lugar a otros primates, algunos de los cuales fueron los primeros homínidos, de los que surgieron, entre otros descendientes, los actuales *Homo sapiens*.

Aquel ser casi humano que comenzaba su andadura en el planeta hace menos de un millón de años no era solo una especie animal diferente de las anteriores sino que llegaría a ser auténticamente revolucionaria: iba a ser capaz de cambiar la mismísima faz de la Tierra. E incluso podría llegar a poner en peligro no solo su propia subsistencia como especie animal sino la de casi todas las demás especies vivas. Algunos autores –por ejemplo los ecologistas «profundos»– estiman, desde una perspectiva semisacralizada de «lo natural», que la evolución que dio lugar al *Homo sapiens* fue lo más infortunado que pudo ocurrirle nunca a la biosfera del planeta Tierra...

Y el caso es que el ser humano actual, muy similar al de los últimos milenios, no parece gran cosa; como mucho, guarda sin duda una gran similitud con muchos de los monos evolucionados que hoy coexisten con él en la Tierra. Primeros hermanos, genética y morfológicamente...

El *Homo sapiens* nunca destacó ni por su tamaño ni por su fortaleza, ambas más bien de tipo medio. Lo que sí acabó convirtiéndole en un animal revolucionario fue su capacidad de hacer cosas que no estaban programadas en su material genético. Eso que hoy llamamos inteligencia y que, entre otras virtudes, le permitía hacerse preguntas, buscar respuestas y encontrar algún tipo de ventaja en dichas respuestas.

Y es que los seres vivos, desde los más simples hasta los más evolucionados, tienen una facultad esencial grabada en sus genes: la de poder reproducirse para

perpetuar la especie a la que pertenecen. Su material genético incluye siempre ese mensaje básico, además de muchos otros que dan lugar a las diversas facultades que definen su comportamiento general durante el período que media entre el nacimiento y la muerte. Por ejemplo, alimentarse o desplazarse de un determinado modo con el fin de sobrevivir al menos el tiempo suficiente como para poder reproducirse y perpetuar la especie; es decir, transmitir el mensaje genético propio.

En los primeros seres humanos, el material genético incluía, por supuesto, todos esos mensajes de reproducción y supervivencia. Pero el *Homo sapiens* podía *inventar* comportamientos no previstos en sus genes. Por ejemplo, podía *aprender* cosas nuevas; y era capaz, además, de aplicar ese aprendizaje, elaborando instrumentos o almacenando la información para futuros usos. La cultura, tanto intelectual como instrumental, es patrimonio exclusivo de la especie humana...

Ningún animal o vegetal ha sido nunca capaz de defenderse contra un frío ocasional *inventando*, de manera voluntaria, un vestido protector, un sistema calefactor, una defensa apropiada, en suma. El hombre sí; cazó un animal peludo, le despojó de su cubierta protectora y se abrigó con ella; y, además, aprendió a utilizar el fuego para calentarse e iluminarse, para cocer barro y cambiar el sabor de los alimentos. Y luego inventó la calefacción central, los electrodomésticos... Un comportamiento aparentemente simple, pero de desarrollo muy acelerado y que rompía todas las reglas de la evolución. Porque no estaba programado en los genes.

Desde el punto de vista ambiental, no cabe duda de que esta capacidad nuestra de transformar el medio en beneficio propio y al margen del mensaje genético propio de nuestra especie, resulta crucial para comprender muchas de las cosas que hoy tanto nos preocupan respecto al deterioro de nuestro entorno. Porque el impacto de esas transformaciones fue creciendo con el tiempo, y se aceleró extraordinaria y preocupantemente a lo largo del último siglo.

Desde luego, las actividades de los primeros humanos tenían muy poco impacto sobre la naturaleza circundante. En primer lugar, porque esos humanos eran poco numerosos. Además, poseían unos saberes todavía incipientes y sus tecnologías eran más bien rudimentarias.

Aún así, pronto supimos dominar el fuego, un fenómeno que había sido hasta entonces de origen exclusivamente inanimado –rayos de tormentas, erupciones volcánicas–, y mucho más tarde, ya en el período Holoceno posterior a la última glaciación –o sea, en los últimos diez mil años de nuestra historia– tardamos muy poco en practicar algún tipo, todavía primitivo, de agricultura y ganadería. El fuego –y por extensión la energía– y la incipiente modificación no casual –o sea, dirigida– de la flora y de la fauna hicieron ya del *Homo sapiens* de hace unos cuantos milenios un contaminador real, es decir, un transformador

del medio según leyes diferentes a las que hasta entonces habían regido los cambios evolutivos naturales.

En cierto modo, las leyes de la evolución que imperaron en el planeta desde que existe la vida, comenzaron a verse complementadas, y a veces contrarrestadas, por las nuevas leyes de la evolución –no menos naturales, pero sin duda diferentes– que comenzaba a imponer el género humano. Leyes no naturales, en cierto modo, y que aun así resultaría dudoso tacharlas de... ¿artificiales?

Durante muchos siglos, el número de integrantes de la humanidad creció muy lentamente. Y ello a pesar de que los hombres iban sabiendo cada vez más cosas y, de manera casi simultánea, aplicaban dichos saberes a múltiples facetas de su actividad. Desde las que podríamos considerar como «obligatorias» o, más sencillamente, «naturales» –como la reproducción, la lucha por la supervivencia–, hasta las más «abstractas» –por ejemplo, la astronomía, las matemáticas...–, las más «inútiles» –incluidas las artes, o bien los pasatiempos– o incluso las más «artificiales», por oposición a las «naturales» –como la metalurgia, por ejemplo, y en general las tecnologías.

Todas esas actividades humanas tenían algún tipo de impacto sobre el entorno que podríamos considerar *contaminante*. El hombre de unos cuantos siglos antes de Cristo quemaba bosques, atentaba contra la biodiversidad introduciendo monocultivos agrícolas y ganadería extensiva, emitía a la atmósfera gases tóxicos, ensuciaba los ríos, lagos y mares con sus desechos y, en suma, atentaba contra su propio medio ambiente de forma similar a como lo hace hoy día. Pero con notables diferencias respecto a lo que hoy ocurre, que podríamos sintetizar en dos grandes grupos: consumo energético muy moderado y escaso número de seres humanos sobre la faz de la Tierra.

En aquellos tiempos de hace unos pocos milenios la humanidad en su conjunto consumía –es decir, transformaba– energía de manera muy moderada. Y lo hizo hasta el final de la Edad Media. En promedio, el consumo de energía per cápita apenas superaba, *grosso modo*, la cantidad de energía muscular que el propio ser humano es capaz de proporcionar. Es decir, nuestra capacidad de alterar el medio ambiente en esos procesos no debía ser muy alta porque la energía puesta en juego por nuestras actividades no era muy alta. De hecho, las cosas solo comenzaron a cambiar de manera significativa con la llegada de la Revolución industrial, a mediados del siglo XVIII.

Por otra parte, el número total de seres humanos en el planeta era todavía muy reducido. Se estima que hace unos dos mil años la población mundial de humanos era de apenas un par de cientos de millones de individuos. En esos dos milenios el crecimiento total del número de humanos fue lento, y probablemente incluso sufrió algunos retrocesos más que probables, aunque los podamos precisar difícilmente. En todo caso, en el siglo XVII, en la época de la Con-

trarreforma y el Barroco, la población mundial apenas llegaba a los quinientos millones. Y solo en la segunda mitad del siglo XIX, o sea hace siglo y medio, alcanzamos los mil millones de humanos en la Tierra.

Y es que por aquel entonces la Revolución industrial ya había comenzado a incidir, y de manera muy determinante, en ambos factores: el consumo (habría que decir transformación, porque la energía ni se crea ni se consume, solo se transforma) global de energía y el crecimiento de la población mundial. Ambos fenómenos están directamente implicados en el proceso que hoy conocemos como desarrollo económico y que implica obviamente (aunque no exclusivamente, puesto que también aumentan los bienes culturales) un crecimiento imparable de los bienes económicos, casi siempre en detrimento de los bienes *naturales*.

Ese desarrollo que ha sido característico de los últimos dos siglos y que ahora, por razones esencialmente ambientales aunque también de solidaridad, comienza a ser cuestionado muy seriamente, nos ha familiarizado con una curva matemática fácil de visualizar pero difícil de comprender: la exponencial. Si un crecimiento es muy rápido, también lo serán los cambios que ese crecimiento induce. Lo cual hace cada vez más difícil, si es que no lo dificulta e incluso lo impide, la adaptación de los sistemas vivientes a dichos cambios. El desfase que se produce entonces es lo que los autores de los célebres informes al Club de Roma («Los límites del crecimiento», 1971, y «Más allá de los límites del crecimiento», 1991) denominaron «overshoot», lo que puede traducirse por ‘sobrepasamiento’. Por cierto, la tercera versión de esa obra apasionante fue presentada en Valencia («Los límites del crecimiento treinta años después») en el año 2006.

Los actuales atentados ecológicos que denuncian casi a diario los medios de comunicación tienen su origen directo en muchos de los procesos industriales que nos han hecho alcanzar el elevado grado de desarrollo económico y social que disfrutamos los países ricos. Resulta indiscutible, incluso parece obvio, que la industria nació y se desarrolló a expensas de la naturaleza. La Revolución industrial conmocionó el precario equilibrio que se había establecido entre la población humana, en lento pero inexorable aumento, y el entorno natural en el que tenían lugar sus cada vez más diversificadas actividades. Produjo beneficios notables, pero también alteró de manera esencial la relación de intercambio – de materia y energía – entre la especie humana y la biosfera.

Volvamos de nuevo, aunque sea con cierta rapidez, al crecimiento de la población humana porque se trata, sin duda, de uno de los factores esenciales para comprender el actual, y sobre todo el futuro, deterioro ambiental del planeta.

Ya hemos visto que a mediados del siglo XVII la población mundial era de unos quinientos millones, con una tasa de crecimiento del 0,3 por ciento. La población se iba, pues a duplicar, de seguir todo igual, unos doscientos treinta y tres años más tarde. Pero la realidad superó con creces aquella previsión. El desarro-

llo económico que comenzaba a dar sus frutos ya a comienzos del siglo xix originó a su vez un formidable desarrollo científico y tecnológico que repercutió sobre el estado de la salud de las poblaciones, lo que llevó a un incremento significativo y acelerado de la supervivencia de los recién nacidos y, paralelamente, a una disminución progresiva de la mortalidad general.

En el último año del siglo xix, es decir el año 1900, la población mundial era de unos mil quinientos millones de personas. La tasa anual de crecimiento era ya superior a la del siglo xvii: 0,5 por ciento. Eso suponía un periodo de duplicación de ciento cuarenta años lo que significaba –en 1900, recordémoslo– que podía esperarse que la población del mundo llegase a los tres mil millones ciento cuarenta años más tarde, o sea en el año 2041.

¡Craso error! El siglo del desarrollo científico-sanitario no fue tanto el siglo xix como el siglo xx. Hubo una mejoría espectacular de las cifras de mortalidad mientras, de forma paralela, aumentaban –más lentamente, eso sí– las cifras de natalidad, muy rápidamente en el Tercer Mundo y en los países árabes. Y por eso ocurrió que, en lugar del año 2041, fue en 1960 cuando se alcanzaron los tres mil millones de habitantes. En 1975 éramos ya más de tres mil seiscientos millones de habitantes, y la tasa de incremento anual se había disparado hasta el 2 por ciento. Aquello suponía que habría duplicación de la población solo treinta y cinco años más tarde; hubo en esos años quiénes se inventaron un adjetivo muy contundente, aunque sin sentido matemático alguno: el crecimiento «superexponencial»...

En todo caso, en 1990 la población mundial sobrepasaba los cinco mil quinientos millones de personas, y en la actualidad, veinte años más tarde, rondamos ya los siete mil millones. Aquel crecimiento mal llamado *superexponencial* resultó cierto...

Con semejantes tasas de crecimiento, que ahora parecen retroceder (debemos estar en torno al 1,7 por ciento anual), la población humana no va a dejar de crecer, y de manera exponencial; casi podríamos decir que explosivamente. En la actualidad la población mundial sigue aumentando cada año que pasa en un centenar de millones de almas...

Como la tasa de duplicación de la raza humana es actualmente como mínimo comparable a la duración media de la vida de una persona, es posible afirmar, simplemente atendiendo a esos crecimientos exponenciales antes citados, que en estos momentos hay en el planeta más seres vivos que en todas las épocas anteriores de la humanidad... Curiosidades aparte, este incremento de la población mundial supone un incremento global subsiguiente de las demandas que cada individuo exige a lo largo de su vida; demandas inicialmente centradas en la mera supervivencia, como le ocurría al hombre prehistórico, pero que cada vez en mayor medida implican otros consumos diferentes a los alimentarios básicos.

Y muy especialmente, a los consumos energéticos o, más bien, de fuentes de energía.

Ya hemos dicho que con la Revolución industrial aparece, de forma absoluta y casi omnipresente, la actividad económica plena en aquellos países que tuvieron la fortuna de poder embarcarse en la citada revolución. Esa actividad económica no solo produjo el crecimiento exponencial de la población que hemos analizado sino que, sobre todo, incrementó de forma un más acelerada la demanda de energía. La búsqueda y el uso masivo de cada vez más fuentes de energía, y esencialmente los combustibles fósiles, acabó por originar, también muy rápidamente, un impacto creciente y cada vez más insostenible sobre el medio ambiente.

Todo el sistema de desarrollo económico que impera en el mundo actual, y que supone enormes ventajas pero también consecuencias negativas, esencialmente ambientales y, a la larga, generadoras de desigualdades aún más acentuadas entre ricos y pobres, tiene al final una única característica no por conocida menos deseable: un crecimiento imparable de la población y un consumo incontrolado y también crecientemente acelerado de fuentes de energía.

Ya hemos citado, aunque sea de pasada, que la mayor parte de esa energía, algo más del 80 por ciento –aunque este porcentaje depende de quién lo calcule, siempre está en torno a esa cifra–, procede de los combustibles fósiles no renovables: el carbón, los hidrocarburos y sus derivados.

Como son recursos no renovables, obviamente acabarán agotándose porque no pueden ser infinitos. Con las reservas estimadas en cada instante, y conocido el consumo que de ellos hacemos, estos recursos pueden durar mucho... o no. Veamos algunas cifras.

En 1990, el cociente entre la producción de petróleo y las reservas estimadas era de 41, lo que significaba que *quedaban* (con las reservas entonces estimadas y suponiendo que se mantuviese el ritmo de consumo de entonces y que no se encontrasen nuevos yacimientos) solo cuarenta y un años de petróleo. La cifra parecía preocupante, obviamente. Pero los más optimistas expertos en economía afirmaban que no había que alarmarse en exceso, porque veinte años antes, en 1970, ese cociente había sido de solo treinta y uno. Y, sin embargo, parecía haber cada vez más petróleo.

¿Dónde estaba el fallo? ¿Acaso era posible que tuviéramos más petróleo en 1990 que en 1970? Obviamente, no; en esos veinte años habíamos gastado muchos millones de barriles, nada menos que medio billón, que ya nunca podremos devolver a las generaciones futuras. Lo que había variado, y desde luego al alza, era la estimación de las reservas; porque si sube el precio, aparecen nuevas *ofertas* de crudo que antes no se consideraban por su dificultad de extracción y el subsiguiente incremento de precio. Por otra parte, la tecnología tam-

bién mejoró, de tal modo que lo que antes parecía despreciable ahora parecía plenamente posible; o sea, más reservas al conjunto.

Todos esos factores, y algunos más, podrían sin duda volver a darse a partir de 1990. Y de hecho se han dado: hoy, las reservas estimadas de petróleo y gas son superiores a las que se estimaban en 1990. Pero... El *pero* es que esas reservas crecen más lentamente, y muchas de ellas solo podrán convertirse en producción a costes y, por tanto, precios muy elevados. Y, en todo caso, de lo que nadie puede dudar es que, sea cual sea esa estimación, la cantidad total de petróleo existente en la Tierra es finita. Y ese fin comienza a parecer ya alcanzable a corto o medio plazo. Los mejores especialistas calculan que, al ritmo creciente que muestra el consumo actual en todo el mundo, y muy especialmente en los países en rápido desarrollo como India y China, y a pesar de todas las cautelas que se pudieran manejar en cuanto al cálculo de las reservas, nos queda poco petróleo y poco gas natural; es probable que la segunda mitad del siglo actual vea un mundo con hidrocarburos en franca disminución, alcanzando un precio tan elevado que ya no compensará en modo alguno el hecho de quemarlo en los medios de transporte...

El caso del gas natural difiere ligeramente del caso del petróleo. Sus reservas se conocen un poco mejor, y en conjunto hay mucho menos gas que petróleo. Eso sí, su consumo se está acelerando mucho más deprisa. Considerando todos los factores, los cuarenta años del petróleo se convierten en unos cincuenta para el gas natural. O sea que, como su homólogo líquido, el gas fósil se agotará a lo largo de este siglo. Conviene recordar que agotarse no significa acabarse de golpe sino reducir de tal modo la producción que el coste, y, por tanto el precio, ya no compense si se quiere seguir usando como hasta ahora.

El otro combustible fósil, el sólido, muestra un panorama similar, aunque en este caso las reservas de carbón son bastante más cuantiosas. Según los cálculos más recientes, al ritmo actual de consumo tenemos carbón para al menos tres siglos, en el caso de la hulla seca, y para más de cuatro siglos en el caso de la hulla grasa.

De todos modos, todo esto es muy aproximado aunque hay que insistir en que se trata de recursos no renovables, o sea finitos, y que no los tendremos ya a nuestra disposición durante mucho tiempo. Resulta dramático que podamos ser capaces de agotar en apenas un par de siglos una reserva de carbono e hidrógeno fósil, que tardó muchos millones de años en acumularse bajo tierra, y que permaneció allí muchos más millones de años. La humanidad moderna es una auténtica depredadora: el ritmo de utilización –y consecuente agotamiento– de los combustibles fósiles es un millón de veces más acelerado que el ritmo de su producción natural... y por analizar el caso del gas, no es lógico pensar que en el año 2050 ya no quede nada de gas natural en el mundo. Por una parte, se

descubrirán nuevas reservas, lo que significa que habrá más gas disponible. Y por otra se consumirá de manera muy diferente a la actual: en estos momentos muchos países industrializados vuelven sus ojos al gas natural, mucho menos contaminante y más eficiente energéticamente que el carbón. Pero a mediados del siglo próximo, cuando las reservas estén realmente acabándose y no aparezcan nuevos yacimientos, la actividad económica tendrá que buscarle un sustituto al gas; como ahora comienza a hacerlo, con timidez, respecto al carbón.

¿Es el carbón el malo de la película, entonces, desde el punto de vista ambiental? Por supuesto que no; al menos, no es el único. Porque todos los combustibles fósiles (cuya utilización nos provee, recordémoslo, del 88 por ciento de la energía que consumimos) constituyen fuentes energéticas no renovables.

Aunque sea obvio, conviene recordar que cuando quemamos carbón, petróleo o gas natural nunca más podremos utilizarlos como combustibles. Su presencia en el subsuelo terrestre se debe a un lentísimo proceso de millones de años; nuestro consumo en unos pocos decenios –casi instantáneo en la escala geológica de los tiempos– está esquilmando esa riqueza y privando a las generaciones futuras de una eventual utilización más racional.

Además de su condición de recursos no renovables, los combustibles fósiles encierran una segunda *maldad*: al quemarlos se convierten en óxidos de carbono e hidrógeno (esencialmente dióxido de carbono y vapor de agua), y en muchos otros productos (óxidos de otros elementos y moléculas orgánicas de todo tipo) que constituyen una enorme cantidad de desechos sólidos, líquidos y gaseosos con los que no se sabe qué hacer y que, además, suelen ser muy dañinos para los seres vivos.

Los combustibles fósiles, o sea la fuente de casi toda la energía que requiere el mundo desarrollado, no solo son renovables sino que, además, alteran e incluso envenenan la biosfera.

De todos modos, el problema no estriba en el hecho de que el mundo se quede sin gas natural, petróleo o carbón, sino de que la mayoría de los incrementos de consumo sean tan rápidos. Los economistas deberían saber –pero, ¿lo *saben* realmente?– lo que supone el crecimiento exponencial. Y el actual incentivo al consumo de gas, por razones esencialmente ambientales más que económicas –y eso sí que es un cambio de tendencia significativo–, no puede ser más que un recurso de emergencia a la espera de otras soluciones más realistas. Porque si no el mundo industrializado estaría comportándose como un avestruz que entierra la cabeza para no enterarse de lo que va a pasar.

¿Cuáles podrían ser esas soluciones más realistas? Obviamente, la búsqueda de recursos energéticos sostenibles, renovables. Los problemas ambientales –y económicos– actuales se deben al hecho de que la energía que consumimos se basa en unos combustibles no sostenibles, no renovables y limitados; sobre todo

si son utilizados, como hasta ahora, de forma exponencial. Dicen los autores de *Más allá de los límites del crecimiento* (1991) que «en la escala de la historia humana, la era de los combustibles fósiles será un leve parpadeo». Nada más obvio; y sin embargo, el mundo industrializado sigue comportándose exactamente igual que si el petróleo, el carbón o el gas fueran inagotables.

Ahora bien, ¿qué energías inagotables tenemos a nuestra disposición? Y antes incluso de preguntarnos eso, ¿qué pasaría si consiguiéramos una fuente energética limpia, abundantísima y muy barata?

El caso de la famosa fusión fría, que luego se convirtió en una serpiente de verano, nos hizo vislumbrar un futuro inmediato con esas características. Es obvio que si de verdad hubiéramos llegado a disponer de una energía prácticamente inagotable, nada contaminante y de precio sumamente asequible, los crecimientos exponenciales se habrían apoderado de ella de manera mucho más apetente aún que en la actualidad. Ese indudable crecimiento superexponencial del consumo energético habría supuesto, debido sencillamente al segundo principio de la termodinámica, un incremento enorme de la contaminación térmica. En no mucho tiempo, se llegarían a introducir en el sistema climático cantidades de calor comparables a las que aporta la radiación solar. Lo que supondría un cambio climático absolutamente indudable, por la vía más directa posible; el famoso cambio climático que se teme para el próximo siglo a causa del incremento del efecto invernadero, por causas muy indirectas ligadas a la presencia de unos determinados gases traza, sería una especie de broma al lado del que estamos comentando, nada quimérico si de veras llegáramos a disponer de una energía así de barata y abundante. El espectro de la entropía desbordada surge con aterrador realismo...

Al margen de especulaciones científicas, no desdeñables pero todavía en el limbo de los laboratorios –como la ya citada fusión fría–, lo cierto es que la naturaleza nos ofrece una pista inmejorable: la energía que ha permitido, desde hace tres mil quinientos millones de años, que la vida exista y se desarrolle en el planeta. O sea, la energía del Sol, directa o transformada. De hecho, los combustibles fósiles son, indirectamente, energía solar condensada gracias a la fotosíntesis de innumerables vegetales en un pasado remoto. Pero ese proceso es demasiado lento, frente a la rapidez con la que ahora consumimos dichos combustibles.

La búsqueda de energías renovables basadas en la energía solar no parece difícil. Algunas de ellas, bien conocidas hoy día, pueden no ser rentables en estos momentos –y aun esto es discutible, sobre todo si se internalizan los costes ecológicos en los puramente económicos–, pero el mundo moderno posee resortes tecnológicos más que suficientes para investigar nuevas formas que resulten

mucho más eficaces y que, a la larga, puedan ir sustituyendo a los combustibles fósiles.

Una forma de *producir* más energía es ahorrar buena parte de la que ahora malgastamos. De hecho, las tecnologías de la eficiencia energética ya se van instalando en el mundo moderno de manera bastante rápida. Y todos los expertos están de acuerdo en que el mundo desarrollado podría hacer exactamente lo mismo que hace hoy, a un coste similar o incluso inferior, consumiendo la mitad de energía de la que consume; y ello utilizando tecnologías perfectamente asequibles y conocidas ya en la actualidad. Los analistas más optimistas opinan incluso que la eficiencia energética podría mejorar mucho más con un pequeño esfuerzo tecnológico, hasta reducir el consumo hasta la cuarta parte del actual, e incluso más, con las mismas prestaciones.

¿Son cantos de sirena del mundo económico para tranquilizar a una opinión pública inquieta? De hecho, ¿por qué está inquieta la opinión pública? Nunca habíamos vivido más y mejor: la esperanza media de vida se ha multiplicado por dos en un siglo, en España y en los demás países industrializados. Por otra parte, la calidad de vida ha mejorado espectacularmente, en la juventud y en la madurez, pero sobre todo en la vejez (hay quien habla ya de «cuarta edad» para personas ancianas que conservan sus facultades físicas y mentales).

No obstante, es evidente que la sociedad desarrollada está inquieta, los medios de comunicación transmiten constantemente una sensación precatastrófica, alentada por grupos ecologistas cada vez más activos y apocalípticos. La inquietud social actual no tiene, pues, mucho que ver con el hecho de que vivamos más y mejor... Si el siglo xx comenzó con una euforia científica y tecnológica que invitaba al optimismo, lo cierto es que está terminando en plena debacle existencial, en un ambiente psicológico tan degradado como el medio físico en el que, y del que, vivimos. Aunque probablemente no sea para tanto, la percepción de la supuestamente inminente «catástrofe ambiental» se une a otras valoraciones igualmente negativas de la realidad mundial y los valores humanos (por ejemplo, la corrupción generalizada entre los que desempeñan algún tipo de poder).

La nueva filosofía industrial no puede ser, no obstante, demasiado revolucionaria. Quizá basten cambios aparentemente sutiles, pero de enorme trascendencia incluso a corto plazo. Por ejemplo, incluir los costes ambientales en las estructuras productivas. No se trata ya de costear la corrección ambiental de los desaguisados *a posteriori*, sino de incluir esos costes *a priori*. ¿Da lo mismo? Por supuesto que no. Si una industria ha de pagar, y mucho, por gestionar convenientemente sus residuos, ella misma se preocupará de reducir esa cantidad de residuos; sencillamente, porque saldrá ganando, y no porque se lo imponga una ley, generalmente fácil de burlar.

En esencia, la internalización de los costes ambientales tendrá como consecuencia una mayor eficiencia de los procesos productivos. Y esa eficiencia conduce a los beneficios, tanto los económicos como los ecológicos, y evita los costos que ahora hay que considerar cuando se trata de corregir desaguisados.

En todo caso, el núcleo básico del problema no reside tanto en la adopción de esta nueva filosofía industrial verde como en su generalización a todo el mundo. Porque en países como Alemania y Japón ya se han dado tímidamente los primeros pasos de esa nueva revolución industrial que, con escaso esfuerzo y sacrificio, podría ser introducida igualmente en el resto de Europa y, aunque ya con más dificultades por su desaforado consumismo, también en Canadá y Estados Unidos. Pero, ¿cómo convencer a los países que ya han iniciado un desarrollo rápido, según las mismas pautas que el que iniciara Europa en el siglo XIX (incluidas, por tanto, la agresión ambiental descontrolada y la explotación del trabajador a causa de una mano de obra abundantísima y barata)?

China, es una vez más, el ejemplo básico; pero hay muchas otras potencias del Segundo Mundo, no el exsocialista (aunque también) sino el que comienza a explotar sus enormes recursos humanos y naturales: desde Brasil hasta la India, pasando por los llamados «países dragones» en Asia. Estos países han salido ya de la miseria, pero en el proceso de crecimiento económico están cometiendo los mismos errores que los europeos y los norteamericanos hace un siglo. Con el agravante de que la tecnología que hoy consideramos ya insostenible se la vendemos a ellos precisamente los países ricos; los que, paradójicamente, hacemos ese diagnóstico ambiental pesimista.

Esta contradicción de los países desarrollados a la hora de ayudar al Segundo Mundo en su rápido crecimiento deben resolverla precisamente los países ricos, y no descargar responsabilidades sobre los pobres que quieren dejar de serlo. No se puede proscribir de Estados Unidos una industria química inaceptablemente contaminante, y exportarla a la India para que, luego, ocurran tragedias como la de Bhopal.

Ese cambio de filosofía debe ser general en el Primer Mundo. Si no, de nada servirán las medidas, muy loables pero después de todo limitadas a escala mundial, que adoptemos los europeos o los americanos. ¿De qué servirá que regulemos nuestras emisiones de CO<sub>2</sub> o que fomentemos en los consumidores la utilización de los productos *premiados* con ecoetiquetas si luego el mercado mundial va a poner a nuestro alcance máquinas y servicios mucho más baratos –porque han sido obtenidos, en Asia, por ejemplo, con absoluto desprecio al medio ambiente y a los derechos de los trabajadores– y si, además, la industria china, por repetir de nuevo el ejemplo, va a seguir quemando su carbón (aproximadamente un tercio de las reservas del mundo) de manera tan ineficiente y sucia como lo hemos estado haciendo nosotros hasta ahora?

Volvamos de nuevo a la energía. ¿Cómo compaginar la necesidad creciente de energía –no ya del mundo desarrollado sino, sobre todo, del que está en vías de desarrollo– con la imprescindible reducción del impacto ambiental que entraña la mayoría de las fuentes utilizadas hoy?

La realidad se impone: seguiremos quemando carbón, petróleo y gas natural. Seguramente el mundo no *debería* seguir haciéndolo, pero no es realista plantearlo en esos términos, sencillamente porque el intento está condenado al fracaso. Partiendo de esta premisa inapelable, solo nos queda minimizar el impacto de esas combustiones mediante dos grandes grupos de actuaciones. En primer lugar, la adopción de toda clase de medidas limitadoras de la contaminación emitida: utilización de combustibles menos contaminantes, mejoras técnicas en los motores y calderas, potenciación de los combustibles orgánicos renovables en detrimento de los fósiles, etc. Y en segundo lugar, la potenciación de muchas otras formas de energía: ante todo, estimular el ahorro energético en la producción (origen) y, sobre todo, en el consumo (destino) –ahorrar energía es la forma más sencilla y barata de producirla–, pero también diversificar las fuentes y apoyar decididamente las renovables, incluyendo la combustión de hidrógeno.

Dentro de este segundo apartado podríamos citar determinadas fuentes todavía no disponibles pero capaces, al menos en teoría, de ofrecer a corto o medio plazo una energía prácticamente inagotable (aunque no necesariamente barata): la energía nuclear de fisión «inteligente» o «limpia», y la energía termonuclear de fusión.

Algunos especialistas –incluso procedentes del mundo ecologista, como el francés Bruno Comby– abogan por una nueva energía nuclear «inteligente» frente a lo que hasta ahora podría denominarse energía nuclear «basura». Esta cuestión, que defienden igualmente, bajo premisas distintas, algunos físicos del CERN, capitaneados por el Premio Nobel Carlo Rubbia y los físicos españoles Juan Antonio Rubio y Cayetano López, es mucho más realista de lo que parece y quizá pudiera estar disponible, con los avances tecnológicos correspondientes, en uno o dos decenios.

En cuanto a la energía de fusión, se trata de una tecnología muy novedosa que solo ha demostrado sus posibilidades, aunque no su rentabilidad, en el laboratorio; su disponibilidad a escala industrial, si todo sale muy bien, requerirá aun por lo menos tres o cuatro decenios.

Ninguno de los dos sistemas (fisión menos «basura» que la actual y fusión termonuclear) está exento de riesgos ambientales, aunque parece que serían muy inferiores a los de la energía nuclear actual: se producirá una cantidad menor de residuos radiactivos, y un accidente trágico al estilo de Chernobil resultará mucho más improbable aún que en la actualidad (la tentación de hablar de ac-

cidentes imposibles es grande, pero nunca habrá un riesgo nulo, incluso en un futuro de progreso tecnológico inimaginablemente superior al de hoy día).

En cuanto a los consumos actuales, si no podemos borrar de un plumazo el uso de los combustibles fósiles, es obvio que sí es posible, en cambio, reducir de manera muy notable las emisiones contaminantes que se producen al quemarlos. De hecho, se trata de un proceso que ya se ha iniciado y que es menester proseguir e intensificar.

El carbón es, hoy por hoy, el más abundante de todos estos combustibles – recordemos que las reservas estimadas actualmente dan para más de tres siglos, en el caso de la hulla seca, y más de cuatro siglos en la hulla grasa, con un consumo similar al actual– pero también el más contaminante debido a las impurezas que contiene y a los sistemas utilizados para quemarlo. Entre la mera combustión de un lignito pardo tal y como sale de la mina, y la utilización de un gas obtenido de ese mismo mineral, después de todo un complejo proceso tecnológico de transformación, hay una diferencia cualitativa básica, aunque el origen sea común: en el primer caso, se producen residuos sólidos –cenizas, escorias– y volátiles –toda clase de gases contaminantes– en enormes cantidades, y además la eficiencia de la combustión es muy baja. En el segundo caso, la eficiencia es muy elevada y las emisiones contaminantes se reducen de manera notable; eso sí, el coste es muchísimo mayor.

O sea, que cualquiera que sea el procedimiento utilizado para quemar carbón de manera más limpia, será imprescindible un determinado tratamiento – desde el simple lavado de desulfuración hasta el lecho fluido o la gasificación– que encarecerá indudablemente el proceso. Conclusión: la electricidad, si se trata de una central térmica, será más cara.

¿Es eso malo? En el mundo capitalista, no es bueno sin duda que los costes aumenten, porque aumenta el precio final del producto o servicio. Pero, en el fondo, la pregunta no tiene mucho sentido. ¿Malo, o bueno, en función de qué? Probablemente, las medidas tendentes a quemar carbón de manera cada vez menos contaminante son, en conjunto, realistas. Por ejemplo, al hablar de costes de producción, suele ponerse el ejemplo de las centrales térmicas de carbón como instalaciones baratas; y lo son si se quema el carbón tal cual sale de la mina de al lado. Pero si el carbón viene de lejos, porque el propio es malo, o bien si hay que limpiarlo o tratarlo de manera más o menos sofisticada, entonces los cálculos del coste final del kilovatio/hora ya no son tan favorables. Y la diferencia con el coste de otros kilovatios/hora más recomendables ambientalmente (por ejemplo, los eólicos) resulta ser cada vez menos abismal si hay que hacer con el carbón tratamientos aún más sofisticados, como por ejemplo gasificarlo.

Porque quemar carbón es, y va a seguir siendo, inevitable. Lo que podemos hacer es, pues, quemarlo de la mejor forma posible. De modo que, aunque el proceso resulte mucho más caro, las emisiones contaminantes se reduzcan al mínimo.

Lo mismo cabe decir del petróleo. El proceso, iniciado ya, de mejora en la eficiencia de los combustibles que de él se obtienen –esencialmente, gasolinas y gasóleos– debe proseguir de tal modo que las emisiones sean cada vez menos cuantiosas y nocivas. Medidas protectoras ya generalizadas para los vehículos de motor, como el catalizador, suponen una clara ventaja respecto a la situación anterior. La mejora en la eficiencia de los motores es otra vía para reducir el consumo de gasolinas y gasóleos. Los fabricantes deberían empezar por dar ejemplo alabando las cualidades economizadoras de combustible de sus motores en lugar de destacar las prestaciones puras, con tufillo deportivo, de los coches.

En cuanto al gas natural, hay que recordar que es el combustible, fósil o no, más limpio; y además produce un 40 por ciento menos de  $\text{CO}_2$  por unidad de energía que el carbón. Lo más recomendable parece, pues, la utilización del gas natural, o sea metano, como combustible casi general. Tanto si es de procedencia fósil –lo cual tendrá un límite temporal no demasiado lejano, como ya vimos– como, lo que sería mucho mejor, si tiene un origen orgánico –por ejemplo, a partir de la digestión anaeróbica de los purines de la ganadería–, ya que entonces estaríamos considerando un combustible renovable. El inconveniente, una vez más, es el precio; pero ¿todavía hay a estas alturas quien piense que podemos enderezar la situación sin coste suplementario alguno?

Ya que hemos abordado la cuestión del metano renovable procedente de los desechos agropecuarios, conviene aclarar que se podrían utilizar, sin demasiados problemas –salvo, una vez más, el precio– otros combustibles orgánicos prácticamente igual de limpios y eficientes; esencialmente, aceites vegetales procedentes de cultivos intensivos de colza, girasol y otras plantas, o bien alcohol obtenido de la caña de azúcar o de la remolacha. En todos estos casos, el combustible produce muy poca contaminación residual, y además el  $\text{CO}_2$  emitido es de ciclo cerrado –el carbono fue absorbido por la planta y es devuelto al aire, en cantidades aceptablemente similares, con la combustión–, por lo que no hay aumento del efecto invernadero. Ni tampoco se producen cambios en el balance energético global, por lo que no hay inyección de calor externo al sistema actual.

Ya se han hecho ensayos en diferentes países: con aceite de colza en Francia, aceite de girasol en España, y otros vegetales en Israel; también está en marcha, desde hace años, un ambicioso proyecto de bioalcohol en Brasil, procedente de la caña de azúcar. Pero en todos estos casos los precios son incomparablemente más altos que los de las gasolinas y gasóleos fósiles, al menos si se man-

tiene la misma fiscalidad. Las soluciones no son difíciles de poner en práctica: o bien se reduce esa fiscalidad –los gobiernos son reacios, y solo lo han hecho con la gasolina sin plomo porque se trataba de una reducción nimia–, o bien se gravan los combustibles fósiles con una tasa suplementaria –la famosa «ecotasa»– con que se consiga la internalización de los costes ambientales que supone su uso. En todo caso, los combustibles serán mucho más caros que ahora. Una vez más, los precios finales suben.

Estas y otras acciones son posibles; algunas incluso están ya en marcha, aunque sea de manera tímida. Sólo necesitan un apoyo político, y antes que nada social, para ir imponiéndose. Los esfuerzos de los ecologistas, que movilizan enormes dosis de imaginación y generosidad para alcanzar a la gente todavía poco concienciada, ¿no deberían dirigirse prioritariamente hacia estos fines? Y no porque nos parezca mal defender a las ballenas azules, por ejemplo, sino porque los emblemas, emblemas son. Y en cambio este tipo de medidas lo son todo menos míticas o utópicas: son realistas, y se pueden poner en práctica con escaso esfuerzo colectivo.

En cuanto al ahorro, ya hemos comentado que constituye una fuente energética de primer orden. El Parlamento alemán encargó un estudio, allá por 1987, para evaluar cómo y cuánto se podía ahorrar con medidas baratas, incluso rentables, y también con medidas más costosas, en los diferentes sectores industriales y de consumo. Los resultados fueron espectaculares, y uno se pregunta cómo, sabiendo eso, todavía seguimos sin hacer nada para acercarnos a tan lisonjeros resultados. Es más, ni siquiera se suele hablar de ello...

La utilización racional de la energía en los edificios ya existentes o de nueva construcción puede ahorrar desde un 70 por ciento (con medidas baratas y fácilmente instalables) hasta un 95 por ciento (aquí habría que aplicar además tecnologías bastante más costosas). Naturalmente, a base de aislamientos, construcciones más adaptadas al clima del lugar, racionalización del uso energético en toda la casa, etc.

En los aparatos electrodomésticos, en los pequeños consumos y también en los automóviles y aviones el ahorro podría oscilar entre el 40 por ciento, con medidas relativamente sencillas y no muy costosas, y el 75 por ciento, utilizando tecnologías sofisticadas y caras.

Para el calentamiento de agua, de nuevo los aislamientos, y también el uso de sistemas más eficientes, permitirían ahorrar entre un 10 por ciento y un 50 por ciento, según la inversión que se utilizase para ello.

Y, finalmente, en el transporte, la industria, las refinerías, la obtención de energía eléctrica y demás sistemas a gran escala, el ahorro podría oscilar entre un 10 por ciento y un 20 por ciento, en función de la inversión destinada a ello.

En promedio, el estudio alemán estimaba un ahorro, con muy pocos gastos suplementarios –pero, eso sí, con mucha concienciación– del orden del 30 por ciento. Y si las inversiones, esencialmente estatales, eran suficientes, esa cifra podía subir, también en promedio global, hasta el 45 por ciento. No está mal, ¿no?

Y quedan, claro, las energías renovables. Supongamos que se consigue –ya hemos visto que no es difícil; otra cosa es que haya voluntad política de hacerlo en todos los países– reducir en un 30 por ciento el consumo de energía sin demasiados costes. Paralelamente, pensemos en un incremento notable de la energía renovable: hidroeléctrica, solar, eólica, biomasa... Si la proporción actual de estas energías es del 20 por ciento (en España, la hidroelectricidad supone como mínimo un 15 por ciento, incluso en años secos), simplemente con ahorrar un 30 por ciento del total, la proporción de las renovables habrá pasado casi al 30 por ciento. La cifra está lejos de ser desdeñable; si además se instala un programa, poderosamente apoyado y fomentado por las autoridades y los ecologistas, de generalización de energías renovables, ¿sería tan difícil acercarse al 50 por ciento? Claro que la intensificación de los programas de energías renovables no tiene mucho sentido mientras sigamos con el despilfarro actual. Aunque lo cierto es que, por su propia esencia de energías más bien dispersas, las renovables debieran incitar más fácilmente a la moderación y al mejor reparto del recurso.

En todo caso, y puesto que estamos en el mundo capitalista, habrá que utilizar, y de manera inteligente y firme, el mejor instrumento del capitalismo: los precios. Nadie va a cambiar nada por bondad, generosidad o solidaridad. Las cosas son así, y no hay que darle más vueltas: todos aceptamos y asumimos esos bellos conceptos, individualmente; pero jamás colectivamente.

Las autoridades deben rebasar el nivel actual de normativas reguladoras, limitadoras y sancionadoras, que las más de las veces se quedan en agua de borrajas. Y deben implantar un sentido más natural del precio de las cosas, o sea gravando aquello que consuma más energía y contamine más el medio ambiente, para sustituir el sistema de precios más artificioso que ahora admite (¿incluso impone?) el mercado consumista en función de cosas tan discutibles como las modas o el fomento del clasismo y la envidia.

Es fácil de decir, pero en realidad no hay precedentes, en el mundo capitalista –el de la sacrosanta libertad de mercado–, de una cosa así. Los estados han podido, en el mejor de los casos, actuar con medidas fiscalmente morigeradas –como en el ejemplo de la gasolina sin plomo.

Lo que nos impone la nueva Revolución industrial verde es una auténtica revolución en los precios, por múltiples vías pero que, a la larga, incidirán sobre los consumos y la eficiencia, reduciendo el actual desperdicio. El reto estriba en que el proceso no se lleve por delante las economías más débiles...



# La calidad de vida y el desarrollo energético

JUAN VICENTE SÁNCHEZ-ANDRÉS

Catedrático de Fisiología, ULL

Director del Programa Creación de Empresas y Emprendedores, EOI

Calidad de vida y desarrollo energético convergen en una encrucijada con una diversidad de variables de alto impacto mediático que dificultan un análisis sereno. Entre estas variables es forzoso reseñar algunas por ser ilustrativas: seguridad energética, calentamiento global, sostenibilidad, etc. Todas son objeto frecuente de portadas en los medios de comunicación pareciendo que centran la atención de un debate sin que resulten claras las concatenaciones causales y los puntos críticos sobre los que puede ser efectiva una acción pública o privada. No son extrañas a esta confusión las opiniones sesgadas ideológica o interesadamente, o simplemente apasionadas desde convicciones legítimas. Tal confusión no oculta que, al final, los extremos de ese ovillo tienen precisamente los ámbitos que abordamos en este capítulo: el desarrollo energético ha posibilitado mejoras en la calidad de vida con efectos secundarios o peajes que se antojan inevitables. Desarrollo energético y tecnológico vienen de la mano y conducen a acciones sobre la climatología y los ecosistemas que permiten cuestionar la sostenibilidad de este progreso al menos en una proyección extrapolada de lo acontecido en los últimos siglos, más aún si el incremento demográfico que ha posibilitado el acceso a los niveles de calidad de vida de los países occidentales. Vemos en este último párrafo una forma plausible de concatenar las distintas variables en juego. Abordaremos, pues, los fundamentos de esta concatenación para valorar hasta qué extremo está basada en evidencias, y trataremos de poner sobre la mesa los distintos argumentos que pueden orientar hacia visiones realistas del futuro.

## Un toque previo de optimismo

Con frecuencia se aborda esta temática desde cierto pesimismo –a veces catastrofismo– como si el análisis y la reflexión fueran forzados por la observación

de acontecimientos que parecieran arrastrar a la humanidad a su perdición en un aquelarre de ambición desmedida por la opulencia y a caballo de la explotación de los recursos de los más pobres que devienen aún más pobres. Conviene adelantar que ese escenario no se compadece con los hechos. La renta por habitante se ha multiplicado por 8,9 entre 1800 y 2000, cuando no hubo crecimiento durante el primer milenio y se incrementó en un 0,05 por ciento entre el año 1000 y el 1800. Si se repara en la demografía, durante el primer milenio se pasó de 231 a 268 millones de personas (37 millones de incremento), pero en el segundo milenio se pasó de 268 a 6055: es decir en el primer milenio la población se multiplicó por 1,17 y en el segundo por 22,59. También ha aumentado la esperanza de vida: en el mundo, la esperanza media de vida es de sesenta y seis años. Gran parte de estos progresos han tenido lugar en los dos últimos siglos. Si se observa la renta, hacia el año 1000 no había diferencias entre la renta europea y la africana, todos eran pobres. Pero en el año 1500 la renta de Europa occidental era el doble que la africana. En 1800 la triplicaba, y a primeros del xx se multiplicaba por nueve. Hoy es veinte veces superior. Conviene advertir que en el siglo xx, la renta per cápita en África se ha multiplicado por 2,5, mientras que la población se ha multiplicado por 6,1 por lo que se puede concluir que ha habido una dilución de la renta en África (Tortella, 2007). Pero incluso en África se están realizando progresos a un ritmo superior que las expectativas (Pinkovskiy y Sala-i-Martin, 2010).

En conjunto, parece que el éxito de la civilización posindustrial es poco cuestionable. Nunca antes ha vivido tanta gente en el planeta Tierra y nunca tantas personas han vivido mejor. No hay dudas de que se mantienen situaciones de pobreza y que sería deseable su corrección, pero se viene, históricamente de situaciones peores. Pero esta nueva situación aboca a nuevos desafíos mientras los estándares de bienestar son deseables y deseados, en pura lógica, por esa masa de terrícolas que, además, prometen incrementar su número sobre la base de las mejoras en salud.

Este apartado, además de centrar la cuestión, nos lleva a enfocar la vertiente demográfica de la tesitura que abordamos y que veremos que es central.

### **Enunciando el problema**

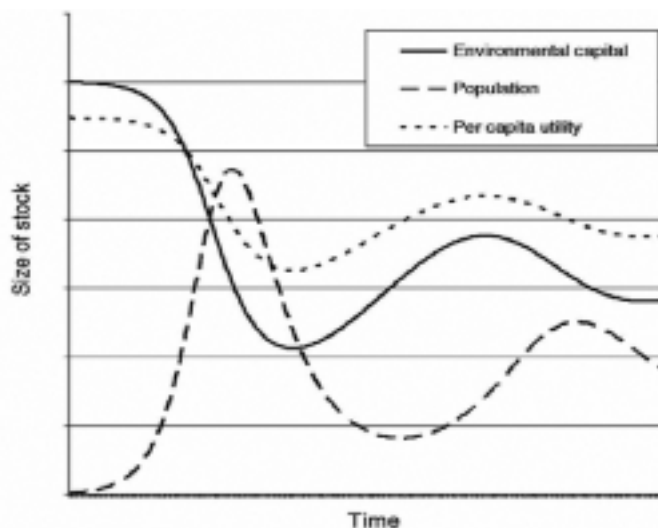
El eje de la preocupación por la sostenibilidad de la calidad de vida radica a) en la evolución demográfica; b) en la existencia de grandes desigualdades planetarias; c) en la expectativa de que la globalización en las comunicaciones posibilite los flujos no controlados, y d) naturalmente, en que esos flujos lo sean de personas que aspiran a disponer de los mismos estándares que los actualmente residentes en los países que disfrutan del llamado Estado del bienestar. Por tanto, es una preocupación en y desde estos estados que se suscita desde la óptica de

la solidaridad o desde la de percibir el resultado como un juego de suma cero donde el acceso de los actualmente pobres se produzca a expensas de los niveles de calidad de vida de quienes actualmente los disfrutaban altos. No es una preocupación exclusiva del ámbito energético pero sí directamente asociada a esta, porque la energía se encuentra en el eje del progreso. En estas afirmaciones hay varias premisas que es preciso demostrar. No obstante, hay aspectos sobre los que se puede hacer poco más que especular, cual es el caso de la consideración de esa dinámica de suma cero que no tiene por qué ser cierta aunque haya razones para su presunción. Veremos que, por otro lado, hay dificultad en manejar algunos conceptos, resbaladizos, que se prestan a su interpretación e incluso manipulación ideológica a los que la población es extremadamente susceptible sea por motivación hacia la solidaridad o por la expectativa de pérdida de logros adquiridos en el tiempo.

### La proyección demográfica es preocupante

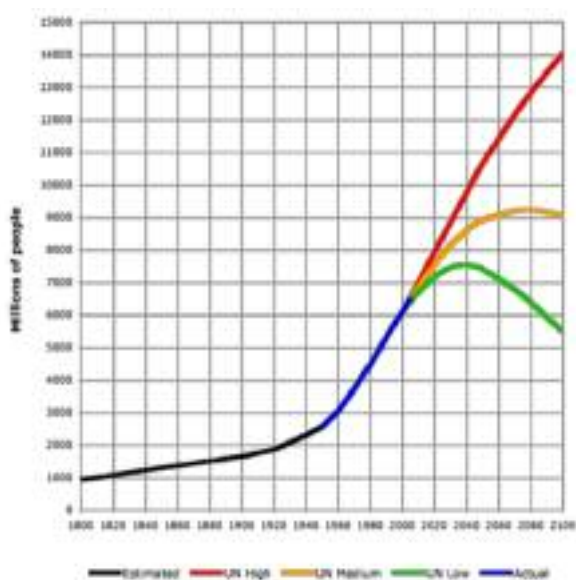
En el primer epígrafe se aludía al componente de éxito para el sistema global, a pesar de las desigualdades; lo que significa que el planeta alberga actualmente más gente que nunca en su historia. A fuer de ser esto cierto, también lo es que se trata de una situación que nos puede abocar a una trampa neomalthusiana. Para explicar esta idea observemos la figura 1 (Brander, 2007) que muestra un modelo de correlación de la población con los recursos que se obtienen del medio ambiente y la utilidad promedio que los ciudadanos extraen de tales recursos.

Figura 1. Ciclo malthusiano (fuente: Brander, 2007)



La población aumenta, y con ello se consumen recursos que proporcionan utilidad a las personas. Puede no ser relevante mientras no se produzca un incremento suficientemente grande en la población, en cuyo caso se podrá llegar al extremo de que no pueda abastecerse a esa masa que tenderá a reducirse probablemente por guerras, enfermedades y hambrunas. Este escenario no es otro que el tradicional que planteara Malthus cuando profetizó una debacle poblacional con el advenimiento de la sociedad industrial. Es habitual bromear sobre Malthus porque su profecía no se cumplió, pero se trata de bromas improcedentes. Malthus tenía muy fundamentada su teoría en el análisis de los precedentes humanos. Se ha podido constatar que este resultado se cumple en comunidades animales. Lo que Malthus no pudo imaginar es que el escenario no sería de suma cero, porque el desarrollo industrial (y el acceso a otras fuentes cuyo análisis escapa al ámbito de este capítulo) posibilitó que los recursos aumentaran y los nuevos nacidos no vinieron a competir por su uso con los habitantes previos de la Tierra.

Figura 2. Expectativas de crecimiento de la población terrestre



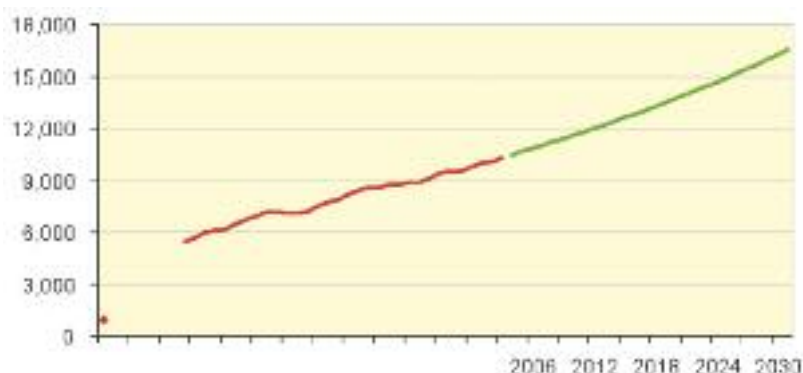
El hecho (figura 2) es que parecemos encontrarnos en una situación de ascenso rápido de la demografía que podría pasar de los seis mil millones de habitantes actuales a una cifra que, según algunas estimaciones estaría entre siete mil y diez mil millones. No es extraño que se produzcan planteamientos que cuestionen que, si el juego es de suma cero, la Tierra no podría sustentar a esa masa

y entraríamos en una trampa neomalthusiana. Más problemático aún sería si nos encontráramos en un escenario peor en el que los recursos naturales estuvieran en declive por su consumo y consunción. En este caso la trampa neomalthusiana se activaría más precozmente, y, como consecuencia, se activa de inmediato el debate sobre la sostenibilidad.

### La evolución del consumo energético

Es evidente que cualquier motivo de preocupación debe estar asociado a evidencias de que el consumo de los recursos energéticos puede abocar a su insostenibilidad. Para esbozar si un escenario de estas características sería posible, tiene sentido observar la figura 3 que muestra el consumo de energía en su equivalente en millones de toneladas de petróleo durante los pasados cuarenta años y la proyección de la misma variable para 2030.

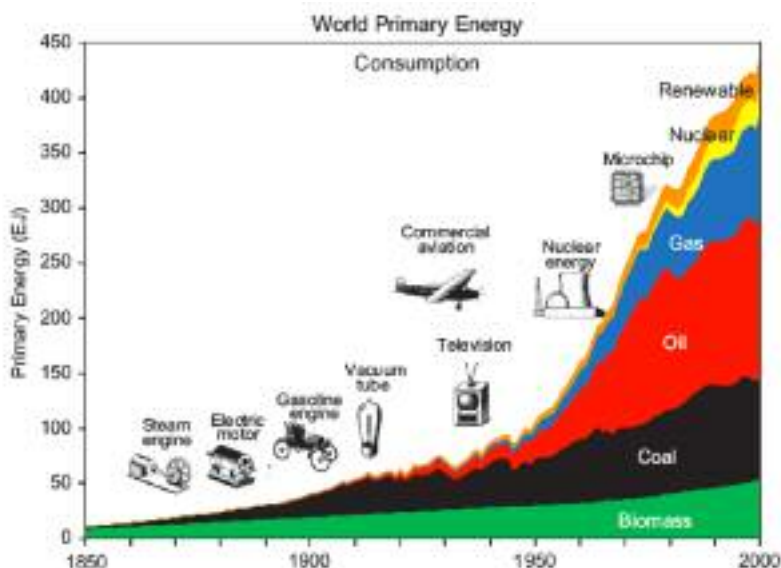
Figura 3. Presente y futuro del consumo energético



En sí, estos datos solo son indicativos del consumo creciente de energía que crecería parejo con la evolución demográfica si la disponibilidad fuera ilimitada. Por otro lado, hay que reparar en el hecho de que la energía no puede considerarse como un recurso más, sino como un recurso generador de recursos; de manera que se produce un círculo tal que en los entornos avanzados, el consumo energético desarrolla tecnología y aumenta la productividad que, asimismo, conducen a un mayor consumo energético.

En ambientes especializados se debate si el origen de ese círculo es la energía o la tecnología, pero se trata de una discusión que con frecuencia adquiere tintes académicos sobre una evidencia práctica (figura 4). Naturalmente, este círculo nos conduce a plantear al menos dos cuestiones relevantes. Una hace referencia a si es precisa la energía para el desarrollo. La otra es si se trata de una espiral imparable. La respuesta a la primera es, esencialmente, sí. Las evidencias

Figura 4. Asociación entre el consumo energético y el desarrollo tecnológico



más potentes vienen de la mano de estudios que ponen de manifiesto que no se produce crecimiento en aquellas economías donde se depende energéticamente de combustibles tradicionales. Y esta afirmación nos daría una respuesta parcial a la segunda: también sería sí; con un techo en el punto en el que se alcanzase un nivel estacionario de desarrollo. Por tanto, este sí es muy parcial porque deja en el aire aspectos esenciales como la definición del desarrollo esperable: ¿será el resultado de la convergencia de las economías actualmente subdesarrolladas con las desarrolladas? ¿el desarrollo será, en realidad, ilimitado manteniéndose las diferencias y, por tanto, a caballo de las economías desarrolladas? ¿es tal escenario posible en el marco de la globalización? ¿tendrán capacidad las actuales economías desarrolladas de mantener su hegemonía o se producirán cambios en el escenario geopolítico?

### Calidad de vida

Aunque parezca que acumulamos más preguntas que respuestas, de lo anterior se deduce fácilmente uno de los temas centrales de este capítulo cual es el de la calidad de vida. No es preciso construir un pesado argumentario para admitir que los niveles altos de calidad de vida se asocian al desarrollo que, a su vez, están relacionados con el empleo de tecnología y el consumo energético. Aunque en este momento pueda resultar una trivialidad, no siempre se ha visto con la misma contundencia. Es a partir de principios del siglo xx cuando empiezan a

aparecer opiniones en esta dirección desde distintas perspectivas. En un ejercicio de simplificación pueden resaltarse las obras (títulos entre paréntesis) de varios autores relevantes: W. Ostwald (*The modern theory of energetics*, 1907), F. Soddy (*Matter and energy*, 1912), A. Lotka (*Elements of physical biology*, 1925), V.G. Childe (*Man makes himself*, 1936) y G. Clark (*From savagery to civilization*, 1946) sentaron ciertas bases. Pero es fundamentalmente desde la antropología, y sobre todo a mediados del siglo xx, donde aparece con nitidez el vínculo entre energía y desarrollo con la contribución de Fred Cottrell (*Energy and society*, 1955) cuando afirmaba que «la energía a disposición del hombre limita lo que puede hacer e influye en lo que hará», y de Leslie White (*The evolution of culture*, 1959) que planteó que «la cultura avanza como consecuencia de la capacidad del hombre para aprovechar la energía y ponerla a trabajar». En la figura 4 se ponía de manifiesto el incremento del consumo de energía junto a los desarrollos tecnológicos que actualmente forman parte de nuestro estilo de vida y de los que pocos cuestionarían su impacto en la calidad de vida. Uno tras otro, los ingenios introducidos aportan al hombre elementos de liberación del trabajo físico, opciones de desarrollo del trabajo intelectual e incremento en el radio de su acción con lo que se contribuye a la mejora en la calidad de vida. Tampoco esta afirmación ha sido reconocida como generalmente consensuada hasta tiempos muy recientes. Fue en 1978, cuando Laura Nader y Estephen Beckerman publicaron un artículo seminal («Cómo se relaciona la energía con la calidad y el estilo de vida») en el que argumentaban convincentemente esa relación y –no menos importante–, discriminaban el concepto de calidad del de estilo de vida. Estos dos conceptos se confunden con facilidad y es útil un ejemplo de otro ámbito para su clarificación: el de la obesidad en Estados Unidos. Según datos de la BRESS (1985-2009) la obesidad viene comportándose en Estados Unidos como una epidemia de modo que en 1985 el índice de masa corporal (IMC) superior a 30 se encontraba por debajo del 10-14 por ciento en todos los estados. En la actualidad se ha extendido de forma que, en todos los estados el IMC, es superior a 30 en al menos 20-24 por ciento de la población. Solo un estado está en el intervalo del 15-19 por ciento y hay al menos diez estados en los que se supera el 30 por ciento de la población. Se trata de una dinámica en la que claramente un estilo de vida *opulento* conduce a una reducción en la calidad de vida ya que la obesidad es un factor de riesgo de diversas patologías, pero, además, resulta incapacitante en la vida diaria incluso para el sujeto sano.

Esta diferenciación entre estilo y calidad de vida fueron centrales en el trabajo de Nader y Beckerman, como lo fue el énfasis en la insuficiencia de los indicadores de desarrollo al uso. Se abrió en aquel tiempo la crítica a un indicador que había venido siendo clave (y lo sigue siendo) en el análisis económico de los países: el PIB. El detonante de las críticas al PIB como indicador general

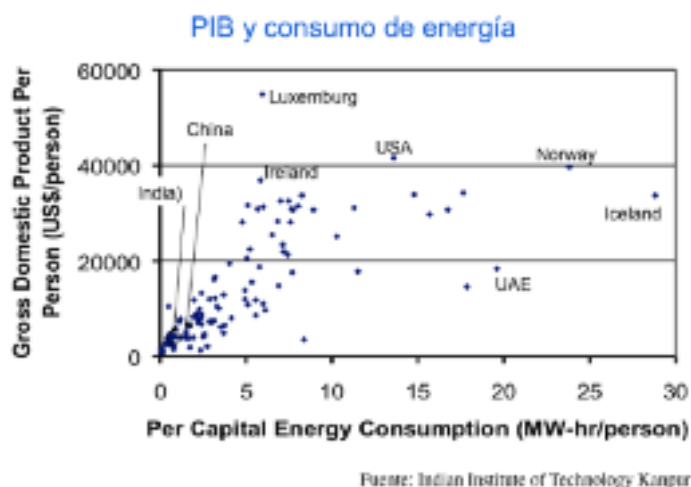
de desarrollo fueron unos años en Estados Unidos donde la economía iba bien, según la evolución del PIB, pero se fue fraguando una insatisfacción popular ante la falta de avances en la calidad de vida. La concreción de esta percepción por parte de Nader fue solo el comienzo de un proceso en el que se han multiplicado los indicadores, alternativos o complementarios al PIB, con el argumento de que el PIB solo indica la producción del país pero realmente no refleja el bienestar de los ciudadanos. No es un debate cerrado, y tan cerca como en 2009 se publicaba un artículo que ha dado nombre a una política de la Unión Europea: «Beyond GDP» (Constanza *et al.*, 2009). La preocupación excede de la representatividad del GDP de la calidad de vida, para extenderse al intento de identificación de los valores del PIB per cápita que conducen a aumentar el bienestar y a mejorar la calidad de vida (Hass *et al.*, 2008). En esta dinámica se ha descrito una multiplicidad de potenciales indicadores desde las más variopintas organizaciones, a veces con sesgos netamente ideológicos tendentes a resaltar prejuicios antes que a desvelar relaciones causales capaces de incidir en los procesos productivos y sociales. Dada esa multiplicidad, solo nos centraremos en algunos de los indicadores que han establecido relaciones claras entre energía y calidad de vida.

## Energía y calidad de vida

### Relaciones generales (QoL Index)

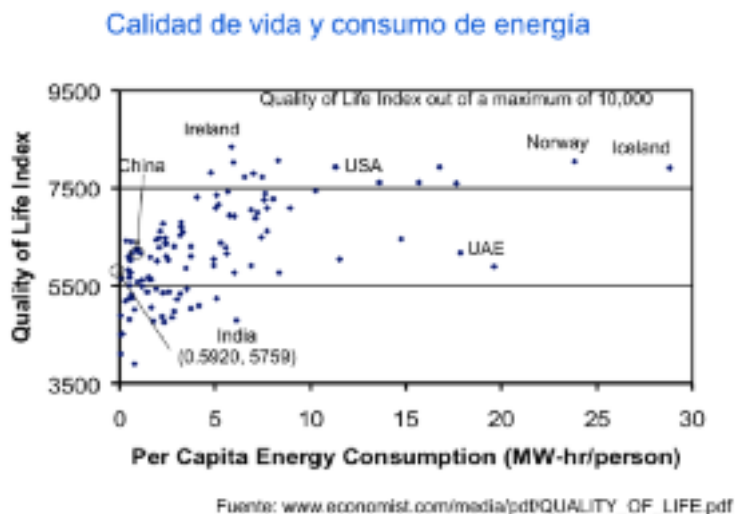
De lo anterior resultan esperables los resultados mostrados en la figura 5.

Figura 5. Relación entre PIB y consumo de energía



Aquí se representa el PIB como función del consumo energético con una importante correlación entre ambos.

Figura 6. Relación entre calidad de vida y consumo de energía



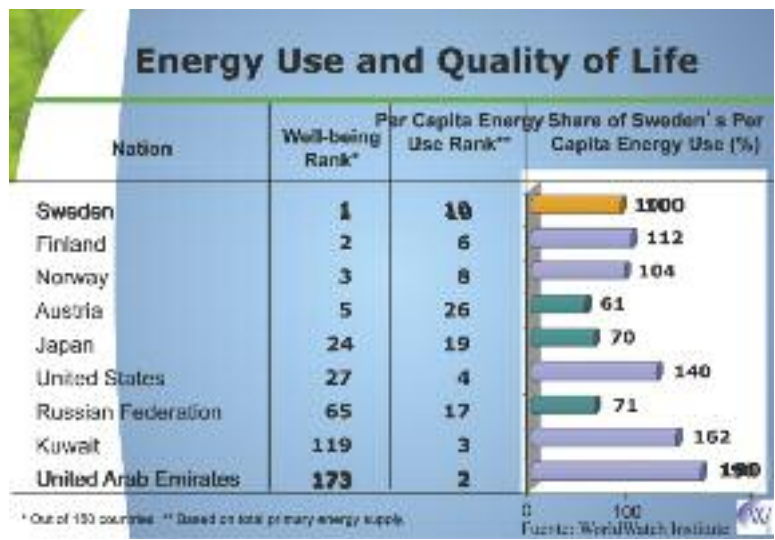
En la figura 6, por su parte, observamos que también puede representarse la calidad de vida en función del consumo energético, pero los puntos muestran un alto grado de dispersión que solo permite obtener la conclusión general de que este índice (QLY-Quality of Life Index) extrae poca información de los datos aunque revela asociación.

#### *Well-being rank*

Sin entrar en detalles de este indicador, ampliamente utilizado, y que relaciona distintos parámetros asociados a la calidad de vida, sí que es conveniente observar algunos aspectos que se siguen de su análisis (Figura 7): no parece que haya una correlación entre el consumo energético y la calidad de vida de los ciudadanos de un determinado país. Por ejemplo, en la edición de donde se ha extraído la figura anterior, los primeros lugares los ocupan Suecia, Finlandia y Noruega. Si se asigna un valor relativo de 100 al caso sueco, los otros dos se encuentran en los mismos niveles de consumo energético per cápita. Otros dos países rondan los mismos niveles. Sin embargo, países que resultan ser grandes consumidores como Estados Unidos (140/100) o los Emiratos Árabes Unidos (190/100) quedan netamente relegados en lo que concierne a su posición en la clasificación de calidad de vida (puestos 27 y 173, respectivamente). Este dato nos da una primera pista en cuanto a la disociación entre consumo energético y cali-

dad de vida que, en todo caso, este índice no capta operacionalmente pero que aceptamos a modo de tentativa pendientes del siguiente subapartado.

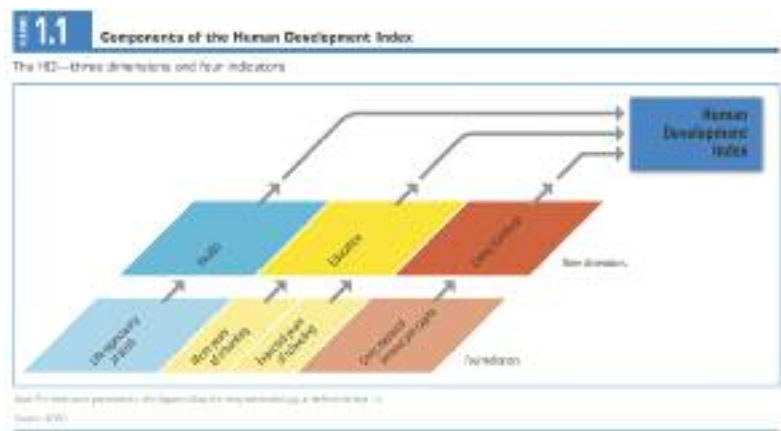
Figura 7. Uso de energía y calidad de vida



HDI (Human Development Index-Índice de Desarrollo Humano)

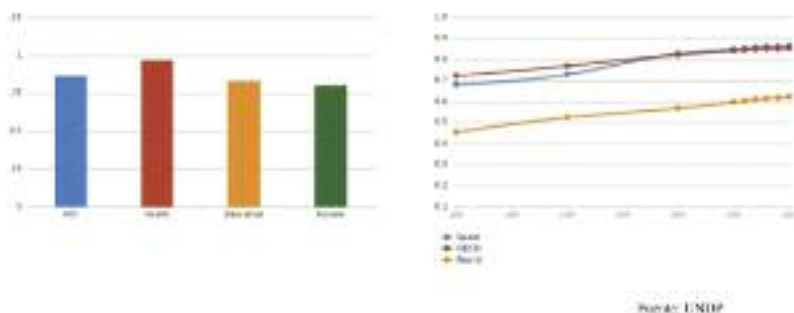
En el intento de constituir un índice con estas características y fácil de elaborar que, además, contuviera información relevante, las Naciones Unidas desarrollaron el HDI. Este índice es de los más usados y en el terreno que nos ocupa de mucha utilidad por las razones que comentaremos.

Figura 8. Componentes del HDI



El HDI establece cuatro indicadores con sus dimensiones. El indicador de esperanza de vida como reflejo de la dimensión salud. Los indicadores de escolarización media y esperada como reflejo de la dimensión educación. Y el indicador PIB (per cápita) como reflejo del estándar de vida. Con frecuencia se ha criticado su supuesta sobresimplificación. Por ejemplo, se cuestiona si la esperanza de vida es un indicador suficiente de salud en un país. Pero el hecho es que se trata de un índice agregado efectivo en la práctica.

**Figura 9. El HDI de España**

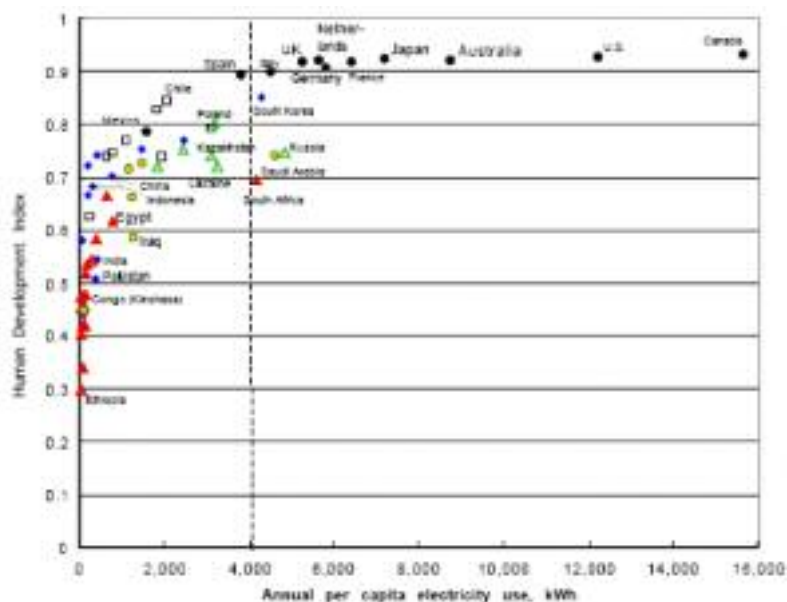


En la figura 9 observamos el resultado más reciente de España en términos de HDI (en las tres dimensiones, además del global) así como (derecha) la posición española en relación con la media de los países de la OCDE y del mundo.

Pero en lo que nos concierne en este momento, la relevancia del HDI se pone de manifiesto cuando se representan los resultados de los distintos países frente al consumo energético normalizado a valores de consumo de energía eléctrica. En la figura 10 podemos observar cómo mayores consumos energéticos se asocian a incrementos en el valor del HDI y que ese crecimiento se produce con gran rapidez (pendiente). Sin embargo, llegados a un punto que en la gráfica se sitúa en torno a los 4000 kw de uso anual de electricidad per cápita, hacen falta consumos mucho mayores para que el HDI se incremente mínimamente y se llega incluso al punto en el que mayores consumos no mejoran para nada el HDI.

Sin entrar en detalles sobre la curva descrita, puede decirse que esencialmente contiene dos componentes. Uno, de pendiente rápida (hasta el valor de energía 4000 kWh) y un segundo de horizontalidad o saturación, a partir de 4000 kWh. La calidad del ajuste matemático es bastante buena sobre todo si se retiran de la gráfica ciertos países que parecen funcionar con un régimen distinto: se trata de países productores de petróleo y/o componentes de las antiguas repúblicas soviéticas (Martínez y Ebenhack, 2008). En una lectura más práctica puede consi-

Figura 10. Evolución del HDI con el consumo energético



derarse que pequeños incrementos en el consumo energético son capaces de producir grandes aumentos en la calidad de vida de la región de la gráfica de pendiente alta. Ese es un argumento altamente relevante para economías con niveles bajos aunque requiere que se tenga en cuenta que no es suficiente un incremento en bruto del consumo energético en tanto quedó demostrado que aquellos países dependientes de fuentes básicas de energía no salen del subdesarrollo. Por contra, al alcanzarse la región de saturación, la inyección de cantidades ingentes de energía no incrementa la calidad de vida como puede ejemplificarse al comparar las posiciones de Alemania y Australia, Estados Unidos o Canadá. No parece que la calidad de vida sea inferior en el primero de estos países, ni la climatología especialmente más adversa (que podría justificar el uso para calefacción) sea un valor diferencial y, sin embargo el consumo de energía es significativamente mas bajo. Cabría, pues, reducir su consumo sin atentar contra sus niveles de calidad de vida. Tal vez por la vía de modificar estilos de vida, aspecto que se considerará después.

### Dilemas y soluciones

En un intento de resumir lo antedicho puede argumentarse que la humanidad se encuentra en una encrucijada a la que la ha conducido el desarrollo occidental que ha posibilitado un crecimiento demográfico y tecnológico que parecen indisociables y que conducen a un consumo de los recursos naturales que

por ser limitados acabarán conduciendo a la humanidad a una trampa malthusiana cuyo advenimiento podría acelerarse si la producción de residuos daña los ecosistemas, como así parece. Como el proceso ha venido asociado a un incremento general de la calidad de vida y en particular en los países desarrollados donde ha constituido buena parte de lo que denominamos *progreso*, podrían ponerse en peligro los avances materializados en los últimos siglos. Lo anterior es poco discutible, y es partir de un riesgo real cuando es frecuente encontrar la entrada en acción de optimistas y pesimistas. Los primeros opinan que el sistema se regulará, como ha venido pasando, tal vez mediando normativas que eviten la continuidad de un incremento descontrolado. Los pesimistas consideran que es preciso limitar desde ya el consumo energético (y sus externalidades) pues lo creen descontrolado (y que, por tanto, conduce a la insostenibilidad), pero se encuentran con que ese consumo no es una causa sino más bien una consecuencia del binomio crecimiento demográfico-tecnológico, agravado por el fenómeno de la globalización que impele a los habitantes de países subdesarrollados a compartir la calidad de vida de los desarrollados; mientras que quienes habitan en estos últimos, aunque simpatizan con la causa se muestran remisos a perder las condiciones de vida que disfrutaban. Entretanto, hacer predicciones es un deporte no apto para humanos corrientes y más bien se impone apuntar hacia soluciones posibles.

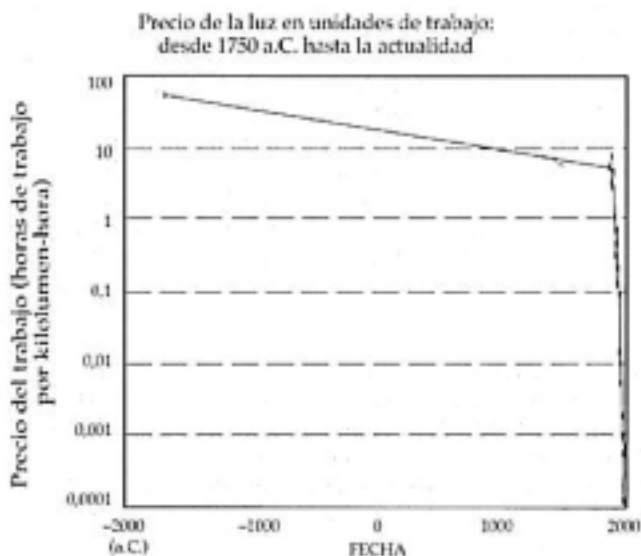
### *La eficiencia energética*

La solución simple es el aumento de la eficiencia energética entendida como la reducción del consumo energético necesario para obtener una determinada utilidad. A fin de cuentas los humanos lo que necesitan son las utilidades que les provee la tecnología; la intención no es consumir energía.

Hay pocas dudas de que un incremento en la eficiencia permitiría reducir el consumo. Se ilustra bien con el experimento clásico de Nordhaus (figura 11) que se planteó analizar el precio de la luz en términos del precio del trabajo humano. Tal experimento, muy laborioso, implicó valorar el coste de iluminar un habitáculo con los medios de que dispuso la humanidad a lo largo de su historia (Warsh, 2008). Y los resultados fueron sorprendentes.

Desde el año 2000 antes de Cristo hasta alrededor de 1750 el precio de iluminar una estancia solo se redujo discretamente, aunque se pasó de utilizar una pura hoguera a emplear candiles de aceite (condiciones que Nordhaus reprodujo empíricamente). Pero desde la Revolución industrial hasta la actualidad se produce una caída en picado que denota un incremento en la eficiencia que solo se puede tachar de espectacular. En línea con estos datos, los optimistas opinan que la introducción y el desarrollo de los diodos LED para iluminación conllevará una reducción en el consumo energético y que de forma equiparable sucederá

Figura 11. Experimento de Nordhaus



con cualquier otra modalidad de utilidad a partir de dinámicas preexistentes como la NBIC (Nano-Bio-Info-Cogno) promovida por la Administración estadounidense hace unos años y seguida por la Unión Europea con el propósito de miniaturizar e integrar interdisciplinariamente las aportaciones de la electrónica, la biología, las tecnologías de la información y los avances en neurociencia. Estas iniciativas conducirían a la economía de factores y con ellos de residuos y a menores consumos.

Este optimismo se agua cuando se tiene en cuenta la paradoja de Jevon, descrita ya en 1865, según la cual los incrementos en la eficiencia lejos de reducir el consumo lo aumentan. Es cierto que Jevon hizo esta descripción sobre el consumo de carbón, pero la realidad es que en general se cumple. Esto ha motivado giros relevantes en este campo tales como la afirmación de Lutzenhiser (1993): «...quienes nos llamamos analistas energéticos hemos cometido un error [...], hemos analizado la energía. Deberíamos haber analizado la conducta humana». Sin afirmar que le falte razón, probablemente se debería ponderar esta afirmación porque, aún dando por válida la paradoja de Jevon y la queja de Lutzenhiser, no puede dejarse como algo menor el hecho de que los incrementos en la eficiencia han supuesto reducciones en los precios que han posibilitado el acceso a las utilidades hasta porcentajes cada vez mayores de población. La aceptación de la paradoja de Jevon conduciría al inmovilismo en la búsqueda de mayores eficiencias y la realidad es que el promedio de la población no vivía mejor en los tiempos de la locomotora de vapor. Pero escuchar a Lutzenhiser es bueno para

no tomar la I+D en eficiencia como el tótem al que adorar y al que dedicar todas las energías. Lo rubrica Adua (2010) al afirmar que «...las mejoras en la eficiencia en el uso de la energía conducen a incrementos en el consumo si no se acompañan de ajustes en el estilo de vida.»

### *Las consecuencias del HDI*

Por otro lado, veíamos con anterioridad, al analizar la relación entre energía y calidad de vida en términos del HDI, que el consumo energético es condición *sine qua non* para alcanzar prácticamente niveles óptimos de calidad de vida, pero a partir de un cierto valor los incrementos en el consumo energético no conducen a mejoras. Se puede hablar de consumo ineficiente no desde la perspectiva termodinámica sino desde la de la obtención de condiciones de vida. Ciertamente, es mucho más difícil incidir en lo que son los estilos de vida de las personas que en la inversión en I+D. Son dos vertientes para la acción complementarias y no pueden esperarse resultados nítidos si no se abordan a la vez. La inversión en I+D, o su sucedáneo, la adopción de tecnología, es imprescindible para avanzar en la eficiencia energética y en el desarrollo de nuevas fuentes que puedan incorporarse al *mix* energético de un país. Pero el dispendio energético que no contribuye a mejorar la calidad de vida solo puede abordarse mediante el cambio en estilos de vida –para lo que se requiere un conocimiento profundo de la conducta humana y de sus motivaciones que, con frecuencia, están alejadas de la decisión libre y fundamentada (Sánchez-Andrés, 2011), y entrar a formar parte de conductas grupales en las que la estructura de valores no está ni determinada, ni siquiera condicionada por la decisión individual.

Esta reflexión nos remite de manera ineludible al ámbito de la responsabilidad individual como pieza, teóricamente, clave del consumo energético aunque la acción de las políticas sean más fácilmente articulables sobre la responsabilidad-decisiones de los grupos. Puede resultar extraño que un capítulo sobre la temática de la sostenibilidad energética-calidad de vida remita a un ámbito de análisis basado en la neurociencia-psicología. Pero esa es la realidad en el estado actual de conocimientos: el punto crítico para avanzar en la sostenibilidad radicará en la evolución hacia hábitos más conservadores en el consumo energético.

### **Conclusiones**

Hay una buena correlación entre calidad de vida (HDI) y consumo energético excepto para consumos altos donde se produce saturación.

La calidad de vida tiene una fuerte dependencia demográfico-poblacional. En un marco neomalthusiano es posible su autorregulación pero puede ser prefe-

rible anticiparse mediante regulaciones y políticas *ad hoc* que incluyan el control de los flujos migratorios.

Este control de flujos migratorios debe incorporar la promoción del desarrollo ya que es mucho más eficiente para incrementar la calidad de vida el consumo energético en los países subdesarrollados (o en la región de pendiente rápida de la curva HDI) que en los desarrollados (ya ubicados en o cerca de la región de saturación-horizontalidad de la curva HDI).

La mejora en la calidad de vida pasa por el desarrollo tecnológico y la innovación tanto en el plano técnico como en el social para incorporar estilos de vida y conductas energéticamente eficientes.

## Referencias bibliográficas

- ADUA, L. (2010): «To cool a sweltering earth: Does energy efficiency improvement offset the climate impacts of lifestyle?», *Energy Policy* 38: 5719-5732.
- BRFSS (Behavioral Risk Factor Surveillance System): <http://www.cdc.gov/brfss/>
- BRANDER, J.A. (2007): «Sustainability: Malthus revisited?», *Canadian Journal of Economics* 40(1): 1-38.
- CONSTANZA, R., M. Hart, S. Posner, y Talberth, J. (2009): *The Pardee Papers* 4 (<http://www.bu.edu/pardee/publications/pardee-paper-004-beyond-gdp/>)
- HASS, R. *et al* (2008): «Towards sustainability of energy systems: A primer on how to apply the concept of energy services to identify necessary trends and policies», *Energy Policy* 2008, 36,(11): 4012-4021.
- LUTZENHISER, L. (1993): «Social and Behavioral Aspects of Energy Use», *Annual Review of Energy and the Environment* 18:247-289.
- NADER, L., y Beckerman, S. (1978): «Energy as it relates to the quality and style of life», *Ann. Rev. Energy*, 3: 1-28.
- MARTÍNEZ, D.M., y B.W. Ebenhack, (2008): «Understanding the role of energy consumption in human development through the use of saturation phenomena», *Energy Policy* 36: 1430-1435.
- NAKICENOVIC, N., y A. Grübler (2000): «Energy and the protection of the atmosphere, International», *Journal of Global Energy Issues* 13 (1,2,3), 4-57.
- PINKOVSKIY, M. y X. Sala i Martín (2010): African Poverty is Falling... Much Faster than You Think!, Working Paper 15775. <http://www.nber.org/papers/w15775>
- SÁNCHEZ-ANDRÉS, J.V. (2011): El espacio de la libertad en el determinismo, 356 (enero) 65-79.
- TORTELLA, G.: *Los orígenes del siglo XXI*, Gadir, Madrid: 2007.
- WARSH, D.: *El conocimiento y la riqueza de las naciones*, Ed. Bosch, Barcelona: 2008.

# **Perturbaciones climáticas del ciclo hidrológico en la cuenca mediterránea**

MILLÁN M. MILLÁN

Director ejecutivo del Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo (CEAM)

## **Introducción y antecedentes**

Este texto es una síntesis en español de la última presentación al European Water Forum del Parlamento Europeo el día 15 de marzo del 2011. Se examinan los argumentos sobre la necesidad de revisar algunos conceptos tradicionales del ciclo hidrológico, y en particular para el sur de Europa. Dicha presentación sigue a otras sobre el mismo tema realizadas, según se han ido obteniendo nuevos resultados, unas veces en representación de la Comisión Europea (CE), en las Conferencias de las Partes (COP) de la ONU sobre el Cambio Climático en Moscú y Nairobi, o en la Misión Científica de la Comisión Europea en la India (Hyderabad) sobre Desastres Naturales y Cambio Climático. Los resultados disponibles también se han debatido en varias reuniones de trabajo de la Comisión Europea sobre el estado de conocimientos del ciclo hidrológico en Europa y, en particular, en relación con la aplicabilidad de la actual Directiva Marco sobre el Agua. Estas reuniones han tenido lugar en Bruselas desde el año 2006 y han sido organizadas conjuntamente por las direcciones generales de Investigación y de Medio Ambiente (RG RTD y DG ENV).

Entre los años 1974 y 1994 la Comisión Europea había apoyado la investigación en la línea de la Físico-Química Atmosférica F-QA, incluyendo la dinámica atmosférica y meteorología en el Mediterráneo, y en la línea sobre la desertificación en el Mediterráneo. Durante este período, en ambas líneas se habían desarrollado más de ochenta proyectos. Toda la investigación europea es de tipo prenormativo, en apoyo de la actuación legislativa europea para la elaboración y/o modificación de las directivas europeas. En todos esos proyectos se hicieron grandes despliegues instrumentales y campañas de medidas en varios países simultáneamente. En más de cincuenta de esos proyectos, entre los años 1974-1994, los investigadores habían ido recibiendo comentarios sobre una pérdida de tor-

mentas de verano en las zonas montañosas que rodean la cuenca mediterránea occidental (CMO). Finalmente, en los años 1993 y 1994, con ocasión de la creación del Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo, CEAM, en Valencia, el autor y el jefe de la Unidad en Medio Ambiente y Clima de la Comisión Europea (DG XII/E1) discutieron la posibilidad de utilizar los nuevos conocimientos sobre la meteorología mediterránea, adquiridos en los proyectos europeos, para buscar una explicación a la pérdida de tormentas de verano.

El reanálisis de los datos disponibles se inició el año 1995. Los resultados obtenidos, una síntesis de los cuales se presenta en este trabajo, muestran que es necesario revisar en profundidad muchos de los conceptos sobre el ciclo hidrológico utilizados en la cuenca mediterránea. En la actualidad se siguen utilizando conceptos derivados de otras zonas climáticas. Esto incluye, por ejemplo, la actual Directiva Marco sobre el Agua, basada en estudios desarrollados en Dinamarca, que es necesario revisar con urgencia por su pobre aplicabilidad en el sur de Europa. Este es el mensaje y contenido de las varias presentaciones que ha hecho el autor dentro de los grupos asesores de la Comisión Europea y al Parlamento Europeo durante los últimos doce años. La utilización errónea de conceptos y procedimientos elaborados en otras regiones climáticas está conduciendo a una desertificación acelerada en la cuenca mediterránea y teniendo consecuencias – posiblemente– irreversibles sobre el ciclo del agua. Los resultados ya disponibles están siendo utilizados por la Comisión Europea para revisar en profundidad muchos conceptos sobre el ciclo hidrológico en el sur de Europa y evitar los errores cometidos. El plazo de presentación de las evidencias científicas sobre las diferencias entre los ciclos hidrológicos del norte y el sur de Europa es cada vez más corto puesto que la Comisión Europea planea modificar la actual Directiva Marco del Agua en el año 2015.

### Las tesis iniciales

Entre los conceptos comúnmente aceptados sobre el ciclo hidrológico están los siguientes:

El agua es un recurso universal común, su origen es la precipitación, y lo único que se requiere es gestionarla adecuadamente.

Y la pregunta básica es ¿es verdad esto?

Para responderla examinaremos las evidencias disponibles derivadas de los proyectos financiados por la Comisión Europea. La figura 1 muestra el ratio de recirculación (*recycling*) de vapor de agua a nivel global (Van der Ent *et al.* 2010). Esto es, el cociente entre el agua que cae en las precipitaciones en una zona respecto al agua evaporada en la misma zona. Lo primero que se observa es que solo en las zonas de color azul, y son muy pocas, se cumple uno de los conceptos hidrológicos usados tradicionalmente. Esto es, la idea de que la precipitación pro-

cede de agua evaporada en los océanos. La figura 1 muestra que en casi todo el planeta la situación es bastante diferente.

### ¿Qué ocurre en las zonas tropicales?

En la selva tropical (*rainforests*) de Brasil se produce una entrada masiva de vapor de agua procedente del océano Atlántico, que dispara las grandes tormentas al inicio de la estación húmeda. A partir de ese momento, y durante el resto de la estación húmeda, las precipitaciones de cada día son el resultado de recircular (*recycling*) esa misma agua entre el suelo, el bosque y la atmósfera. Esto ocurre de la forma siguiente. Cada tarde se produce un gran chaparrón. Después de este, la atmósfera se despeja por encima del dosel de los árboles, aunque permanece saturada de vapor de agua, cerca de su nivel de condensación. De este modo pueden incluso formarse algunos jirones o estratos de niebla durante la tarde-noche donde el aire saturado entra en contacto con aire más frío. Dichos estratos de niebla, si se forman, tienden a disiparse durante la noche, y dejan la atmósfera limpia pero casi totalmente saturada por encima del dosel vegetal. La cantidad de vapor de agua que permanece dentro de, y por encima del bosque durante la noche (gramos de vapor de agua por kilogramo de aire), es el *componente portador*.

El día siguiente sale el sol y se inicia la actividad vegetal en el bosque que libera vapor de agua (por evapotranspiración). Al mismo tiempo, se produce un calentamiento de la masa forestal, y del aire en contacto con ella, que inicia la actividad convectiva. La actividad convectiva crece en desarrollo vertical y va mezclando el calor que se desprende del bosque (y del suelo) con la atmósfera por encima del dosel del bosque. La convección también mezcla el vapor de agua que va liberando la vegetación. De este modo va aumentando la cantidad de vapor de agua presente por encima del dosel vegetal. El aire, cada vez más cálido y más húmedo, sigue ascendiendo en celdas convectivas, con desarrollo vertical cada vez más profundo, hasta que alcanza su nivel de condensación convectiva (NCC). A partir de ese momento se inicia la formación de cúmulos que van creciendo en tamaño y desarrollo vertical, y van uniéndose unos a otros, hasta que se producen los chaparrones de esa tarde.

En este proceso, el vapor de agua que había sobre el bosque a primeras horas de la mañana (el componente portador) es necesario pero no es suficiente para alimentar la precipitación de ese día. No es suficiente porque si solo se añade el calor liberado por el bosque, se eleva cada vez más el nivel de condensación convectiva. El vapor de agua liberado por la evapotranspiración es necesario para compensar el calentamiento del aire, y contribuir a que el nivel de condensación convectiva se mantenga a poca altura sobre el dosel. Esto favorece la condensación, el desarrollo de los cúmulos, y el disparo de nuevos chaparrones

a partir del mediodía. Por tanto, el vapor de agua liberado por la evapotranspiración actúa como el *componente de disparo* de la precipitación. Y, a través de estos mecanismos el agua se mantiene recirculando (*recycling*) entre el bosque y la atmósfera.

En principio, estos procesos pueden continuar varios días sin necesitar nuevas aportaciones de vapor de agua procedentes del Atlántico. Sin embargo, cuando estas se producen, incrementan la cantidad del «componente portante», que contribuye a bajar el nivel de condensación convectiva. Esto reactiva la intensidad del ciclo, y prolonga su duración unos días más. Durante todo este tiempo se producen *pérdidas* de agua en el sistema, por ejemplo, por la escorrentía en los ríos, y se compensan con las nuevas entradas de agua del Atlántico. Hacia el final del período de lluvias, las aportaciones de aire húmedo atlántico son cada vez menores, mientras que las pérdidas continúan. En días consecutivos el nivel de condensación convectiva comienza a elevarse cada vez más (i.e., para el mismo calentamiento, menos cantidad de evapotranspiración, y/o menos componente portante). Los chaparrones son cada vez más débiles, quedan más separados espacialmente, y tienden a ocurrir a horas más avanzadas de la tarde. Finalmente, llega un día en que la evapotranspiración es ya insuficiente para disparar los chaparrones, y si el aporte Atlántico ha cesado, la recirculación (*recycling*) del vapor de agua termina, y se inicia la época seca.

Estudios hechos en Brasil por grupos holandeses financiados por la Comisión Europea, sobre la composición isotópica del agua durante el período de lluvias, muestran que entre un 65 por ciento a un 75 por ciento del agua que precipita cada tarde, procede de la precipitación de los tres días anteriores, y hasta un 90 por ciento del agua que precipita en un día procede de las precipitaciones los siete días anteriores. Como muestra la figura 1, esto indica que el porcentaje de recuperación, o de recirculación (*recycling*) del vapor de agua, es muy alto (cerca de 1, o sea del cien por cien) en esa región. Además, su alto valor también sugiere que las masas de aire que participan en esos procesos tienen unos tiempos de residencia altos (varios días) sobre la región durante el período de lluvias.

### ¿Cuánto es el recurso hídrico en el bosque tropical?

Como primera respuesta a las tesis de partida, se puede considerar lo siguiente: En la selva tropical (*rainforest*) un recurso hídrico de 2.000 litros por metro cuadrado y año es, en realidad, el producto de unos 20 litros por metro cuadrado, por chaparrón, multiplicado por aproximadamente cien chaparrones al año durante la estación de lluvias. Considerar un recurso hídrico disponible de 2.000 l/m<sup>2</sup>/año, no solo es falso, sino que es realmente peligroso, ya que los 2.000 l/m<sup>2</sup> son realmente los mismos 20 litros de agua evaporada y precipitada cien veces sobre la misma zona. Además, como ya se había adelantado con respecto al por-

centaje de recuperación del agua en la zona, la recirculación del vapor de agua tiende a ser muy *local*. El área crítica en esta región parece ser del orden de 10 km x 10 km.

Por tanto, el término *selva húmeda (rainforest) tropical* quiere decir exactamente eso: si quitas el bosque (*forest*) se pierden las precipitaciones (*rain*). Esto es, el recurso hídrico «desaparece, o se desmadra», y el área queda sometida a sequías e inundaciones. Actualmente ambas cosas están ya ocurriendo en Brasil sobre áreas deforestadas, tan pronto como las extensiones son superiores a unos 10 km x 10 km. En el pasado, como veremos a continuación, mecanismos similares han dado lugar a la desertificación de otras áreas en otras partes del mundo.

### ¿Cuál es la situación en Europa?

Para responder a esa pregunta es conveniente examinar las figuras 2 y 3. Estas contienen información básica que se olvida, o se desconoce, al hablar del agua en Europa. Para la mayoría de europeos, la cuenca mediterránea abarca las costas de España, Francia, Italia, Grecia y (quizá) Israel. Si lo pensamos un poco más, sí incluirían las costas del norte de África como parte de esta cuenca. Suelen considerar el mar Negro como una entidad separada, lo cual crea bastante confusión al hablar de la cuenca mediterránea en el centro-norte de Europa. De hecho, la figura 2 muestra que la cuenca del Mediterráneo abarca desde las fuentes del río Nilo hasta la cuenca del mar Negro e incluye partes de Europa que no son consideradas tradicionalmente como mediterráneas (e.g., Austria y Hungría, sur de Alemania, Ucrania, etc.). No obstante, el hecho de que todas las aguas de estos territorios viertan al Mediterráneo hace que todos estos territorios estén bajo la influencia climática e hidrológica de este mar. Las zonas en gris son cuencas endorreicas que no drenan ni al mar ni al océano.

En la figura 3 la línea azul oscuro marca la divisoria continental europea (Vertiente Hidrográfica Europea) que sigue (aproximadamente) las crestas de las principales cadenas montañosas. A su derecha, todas las aguas vierten al Mediterráneo y, a su izquierda, todas vierten al Atlántico. Cuando los vientos cruzan la divisoria, el *efecto Föhn* tiende a mantener la lluvia (el agua) a barlovento de las crestas, mientras se generan vientos secos, cálidos y racheados a sotavento de la divisoria (como los ponientes en la Comunidad Valenciana). De este modo, el *efecto Föhn* tiende a limitar la cantidad de vapor de agua que cruza de un lado de la divisoria al otro.

En otras condiciones meteorológicas, las montañas que forman la divisoria pueden favorecer la convergencia superficial de masas de aire húmedas procedentes de ambos lados de la divisoria (véase la figura 7). De este otro modo, la divisoria puede convertirse en un foco de precipitaciones intensas con escoorrentía sobre sus dos vertientes. Sin embargo, aún quedan por contestar las si-

guientes preguntas: De esta escorrentía, ¿cuánta procede del vapor de agua que converge de ese mismo lado de la divisoria? ¿Cuáles son las condiciones que favorecen la transferencia neta de agua de una vertiente de la divisoria a la otra?; ¿en qué puntos de la divisoria se favorecen las transferencias?, y ¿cuánta agua puede ser transferida?

La presencia de la línea divisoria continental europea ya nos sugiere que los regímenes hidrológicos pueden ser (muy) diferentes. Ya que una de sus vertientes está expuesta directamente a la entrada de humedad desde el Atlántico mientras que la otra está protegida por las cadenas montañosas que rodean la vertiente mediterránea.

### ¿Cuál es la situación en la Comunidad Valenciana?

Como ejemplo de lo que puede ocurrir cerca de la divisoria continental europea, en terrenos complejos costeros respaldados por montañas, nos remitimos a los resultados de los estudios realizados para determinar las causas de la pérdida de tormentas de verano, ya mencionados en la introducción. Se desagregaron las precipitaciones diarias recogidas en 497 estaciones, durante cincuenta años, en la Comunidad Valenciana y regiones periféricas de Teruel (Millán *et al.* 2005a; 2005b). Los resultados los muestra la figura 4. Se identificaron tres orígenes de precipitación en esta región. Los frentes de las borrascas atlánticas (A) contribuyen menos del 20 por ciento de la precipitación total sobre la Comunidad Valenciana y están disminuyendo, i.e., de unos 200 l/m<sup>2</sup>/año en 1950, a unos 120 l/m<sup>2</sup>/año actualmente. Y, sus focos de precipitación más importantes, como se podría esperar, aparecen sobre las laderas orientadas hacia el oeste en las montañas más próximas a la divisoria continental europea en esa zona (figura 3).

Por otra parte, las tormentas de verano (B) contribuyen entre un 11 por ciento y un 16 por ciento del promedio total, y están disminuyendo, i.e., de 100 l/m<sup>2</sup>/año (1950) a 60 l/m<sup>2</sup>/año (actual). Los focos de precipitación más importantes también aparecen en las cadenas montañosas que rodean el Mediterráneo pero, esta vez, sobre las laderas que miran hacia el mar. Finalmente, la componente debida a la ciclogénesis mediterránea<sup>1</sup> (C) contribuye en más del 65 por ciento de la precipitación total, y está aumentando, i.e., de 230 l/m<sup>2</sup>/año (1950) a 320 l/m<sup>2</sup>/año (actual). Los focos de precipitación más importantes están situados sobre las franjas costeras y, además, este componente es cada vez más torrencial y puede producir riadas.

1 Mal llamada *gotas frías*. La depresión fría en altura, o embolsamiento de aire frío en altura (*cold pool of air aloft*, Huschke 1986), es solo uno de los posibles mecanismos de disparo de las precipitaciones con vientos del este sobre el Mediterráneo. El término correcto son *temporales de levante*, como resultado de ciclogénesis mediterránea.

Finalmente, hay dos datos importantes a tener en cuenta. El primero es que casi un 80 por ciento de la precipitación en la Comunidad Valenciana procede de los componentes B y C que se nutren del agua evaporada dentro de la misma cuenca mediterránea. El segundo es que el promedio total sobre el territorio no parece haber cambiado (estadísticamente hablando), y esto puede confundir a la mayoría (que no desagregan por tipo de precipitación). Ya que si las tormentas y frentes pierden unos  $120 \text{ l/m}^2$  en el interior, los temporales de levante ganan más de  $90 \text{ l/m}^2$  en la costa. Lo que si ha cambiado es la distribución y la temporalidad.

Las contribuciones, por tanto, resultan de tiempos meteorológicos diferentes y responden también de modo distinto al índice climático NAO (Oscilación del Atlántico Norte o North Atlantic Oscillation). La correlación de la NAO con los frentes atlánticos es negativa, mientras que es positiva con la ciclogénesis mediterránea (Millán *et al.* 2005b). Esta situación respecto a los diversos orígenes de las precipitaciones parece ser la norma, en vez de la excepción, en toda la vertiente mediterránea de la divisoria continental europea. Y, posiblemente, también ocurre en otras zonas subtropicales del mundo, por ejemplo, alrededor del mar del Japón, del mar Sur de China, etc., que incluyen en su total una parte muy importante del sistema climático global. Estas son, precisamente, las primeras cosas que debemos recordar a los que utilizan los modelos climáticos globales que no son capaces de resolver esas diferencias.

### **¿Qué pasa con las tormentas de verano en la cuenca mediterránea?**

La figura 5 muestra el mecanismo de formación de las tormentas de verano sobre las cadenas montañosas que rodean al Mediterráneo al final del ciclo de brisa de mar. En modo similar al mencionado para los bosques tropicales, el componente portador es el vapor de agua que entra con la brisa de mar, cuyo promedio climático durante julio-agosto en Castellón es de 14 gramos de agua por kilogramo de aire (g/kg). Esta cantidad es necesaria pero no es suficiente para disparar chaparrones o tormentas ya que necesita una cantidad adicional: el componente de disparo, para compensar el calentamiento que sufre el aire de la brisa en su recorrido desde que entra por la costa hasta que llega a las montañas del interior. El rango de calentamiento documentado en los proyectos europeos en esta región es de  $13^\circ \text{ C}$  a  $19^\circ \text{ C}$  (13K a 19K, los años 1989-1995). El problema es que para compensar una subida lineal de temperatura, se requiere un aumento exponencial del vapor de agua. Y, si se desea que el nivel de condensación convectiva se mantenga a una altura razonable (p.ej., 2.000 m), una subida de  $13^\circ \text{ C}$  necesita un aumento (un componente de disparo) de 4 g/kg, una subida de  $16^\circ \text{ C}$  necesita más de 6 g/kg y una subida de  $19^\circ \text{ C}$  casi 11 g/kg.

Esto indica que el sobrecalentamiento de las masas de aire al pasar sobre superficies construidas, asfalto y/o laderas más secas, es más importante para la pérdida de las tormentas de verano que la pérdida de la evaporación de esas mismas superficies. En el pasado, el vapor de agua necesario lo ponían los grandes humedales costeros, los regadíos, y los densos bosques que había sobre las laderas de las montañas, y el calentamiento sobre zonas verdes y húmedas podía haber sido menor de 13K. En la Comunidad Valenciana, las tormentas se disparaban entre Segorbe-Viver y los altos de Barracas-El Toro (Castellón), y sobre Gúdar y Javalambre (Teruel), casi todos los días de verano. Esta situación mantenía una gran cantidad de agua re-circulando en el sistema costero, i. e., incluyendo las superficiales por los ríos Turia, Mijares y Palancia, rambla de la Viuda, etc. También alimentaban los acuíferos.

En este punto, se debe notar que el agua evaporada en los humedales costeros, los regadíos, y los bosques de ladera, cae en el interior y, por tanto, el ciclo hidrológico real (completo) incluye el acuífero que alimenta el humedal costero. Esto es, todos esos componentes, humedales, ríos y acuíferos son parte de la misma «masa de agua» (*water body*) recirculante aunque en estados diferentes. En las condiciones actuales la contribución de la evaporación del suelo, desde Castellón a Mora de Rubielos, es de unos 5-6 g/km (o menos), que puede ser insuficiente para producir condensación, y disparar una tormenta. Esto es, a menos que entre más humedad del mar o que el terreno esté muy húmedo al principio del ciclo de brisa, como puede ocurrir en la Comunidad Valenciana en primavera.

En la vertiente atlántica del centro y norte de Europa la precipitación se produce principalmente cuando la masa húmeda procedente del Atlántico alcanza su nivel de condensación por levantamiento NCL, por ascendencia forzada sobre el terreno) al ir subiendo sobre el continente, y/o al llegar a las laderas de la divisoria continental. En ese caso, el papel del componente de disparo sigue siendo necesario (útil) para mantener el NCL a una altura más baja y que precipite más, esto es reciclando (*recycling*) la misma cantidad de agua evaporada a lo largo del recorrido de las masas de aire atlánticas. Y estos son aspectos que se deben considerar en la (actual, o reformada) Directiva Marco del Agua

En el caso de las costas mediterráneas, la diferencia más importante con respecto a la situación en los bosque tropicales, es que el vapor de agua requerido como *componente de disparo* se evapora predominantemente cerca del mar (humedales y regadíos), pero contribuye a la precipitación a más de 60 km o 100 km de la costa! Esta es una situación difícil de trasladar a los políticos de las zonas costeras, que protestan por la pérdida de agua en los ríos y en los acuíferos que surten sus ciudades, y no quieren afrontar el hecho de que parte de las pérdidas las pueden estar causando ellos mismos.

Sin embargo, lo más importante es que el conocimiento actual de las causas del problema puede servir para recuperar esa parte del ciclo hidrológico, en condiciones muy favorables para la economía y el empleo a largo plazo. Se podría recuperar con reforestaciones en las laderas abandonadas en el interior, p.ej. para la producción de maderas nobles, biomasa y biocombustibles, y con urbanizaciones *inteligentes*. Por ejemplo, legislando el uso de aljibes para almacenar las precipitaciones en las costas, y reusando esa agua para las piscinas y/o el riego en las urbanizaciones, y usando edificios blancos entremezclados con árboles para disminuir el calentamiento del aire de la brisa, etc. Un planteamiento adecuado de estas actuaciones podría, además, justificar trasvases de agua, como un tipo de préstamo, para recuperar o reenganchar el ciclo hidrológico local (las tormentas de verano).

### Primeras respuestas

Con los datos y resultados expuestos podemos ya contestar a la pregunta inicial. ¿Es verdad que el agua es un recurso universal común, que su origen es la precipitación, y que lo único que se requiere es gestionarla adecuadamente?

Las respuestas son:

- En la mayor parte del planeta no es verdad. El agua no es un recurso común ni universal ya que solo llueve donde las condiciones son las adecuadas.
- En la mayor parte del globo las precipitaciones dependen de los usos del suelo, a través de la recirculación (*recycling*) del agua, en unos casos a escala local (los trópicos,) y en otros a escala regional (costas mediterráneas).
- La actuación humana sobre áreas suficientemente extensas puede alterar esas condiciones, y también puede recuperarlas.
- En el caso de Europa existen dos vertientes hidrológicas distintas con regímenes de precipitación muy diferentes.
- En la región de Valencia hay tres componentes de precipitación, procedentes de tres tipos distintos de tiempo meteorológico, que afectan el territorio de modo diferente.
- Un 80 por ciento de la precipitación en la Comunidad Valenciana es de los componentes que se evaporan en la misma cuenca mediterránea.
- En otras partes del Mediterráneo, p.ej., Grecia, Turquía, Israel, hasta un cien por cien de la precipitación es de agua evaporada dentro de la misma cuenca mediterránea, y la componente atlántica es mínima o inexistente.
- Por tanto, en las zonas mediterráneas la cantidad de agua disponible depende de la ubicación de la cuenca, y puede provenir de diferentes tipos de precipitación.
- Para mantener (y/o recuperar) el ciclo hidrológico en la vertiente mediterránea de la divisoria continental europea hace falta *cultivar* algunos de los

componentes de la precipitación (p.ej., recuperando las condiciones que favorecen las tormentas de verano).

### Y ¿si no se recuperan las condiciones?

La respuesta está también ilustrada en la misma figura 5. Los resultados de los proyectos europeos en la región muestran que si la masa de aire no acumula el vapor de agua necesario para compensar su calentamiento y disparar una tormenta, la masa de aire caliente y (algo más) húmeda, pero insuficiente para condensar, sigue los flujos de retorno en altura y se acumula en estratos sobre el mar. Este ciclo de recirculación vertical y acumulación de vapor de agua sobre el mar puede durar entre tres y cuatro días y repetirse cuatro o cinco veces al mes durante julio y agosto. La figura 6 muestra ese «modo de acumulación» en el Mediterráneo con los datos de los satélites MODIS de la NASA desde el año 2000 (Gao & Kaufman 2003; King *et al.* 2003). Finalmente, suponiendo cinco ciclos de acumulación por mes, de cuatro días cada uno, el promedio mensual que muestra el satélite es equivalente al valor de agua acumulado durante cuatro días de recirculaciones verticales.

Las posibles consecuencias de la pérdida de las tormentas de verano alrededor de la cuenca mediterránea (principalmente en la subcuenca occidental) las muestra la figura 7, en relación con el episodio de inundaciones en Europa el 11 al 13 de agosto del 2002. En este caso se puede considerar un área de 650 km x 650 km sobre la cuenca balear (origen de las trayectorias), con un valor promedio de la columna de vapor de agua de 3 cm (30 l/m<sup>2</sup>). Estos dan un total de 12.675 10<sup>12</sup> litros de agua precipitable. Y, si se precipita solo la tercera parte de esta cantidad<sup>2</sup>, i.e., 4.225 10<sup>12</sup> litros de agua, es una cantidad aproximadamente igual a la que precipitan ocho mil tormentas medianas de @ 5.0 10<sup>8</sup> litros cada una. Esta cantidad es más del doble del valor estimado del agua caída durante este episodio. Las figuras 2 y 3 muestran que el episodio tuvo lugar sobre el tramo de la divisoria continental europea entre Alemania y la República Checa.

La figura 8 sintetiza los resultados obtenidos en los proyectos europeos, y muestra los posibles bucles de retroalimentación entre los cambios de uso del suelo en la cuenca mediterránea occidental y el sistema climático-hidrológico, pa-

2 La máxima cantidad de agua que puede precipitar de una masa aérea es aproximadamente un tercio del vapor de agua que contiene, y en general menos que eso. Es, por tanto, interesante reconsiderar el concepto de recirculación (*recycling*) en la figura 7. Ya que se necesitan 21 g/kg de vapor de agua total para que se pueda producir una precipitación partiendo de los 14 g/kg iniciales que entran del mar. Y, si llega a precipitar un tercio del vapor de agua total que acumula la brisa, se obtienen ¡los mismos 7 g/kg del componente de disparo que aporta la evaporación a lo largo de la brisa de mar!, pero a más de 60 kilómetros de distancia.

sando de la escala local a la regional y a la global (Millán, EC 2007). Una primera versión con solo los bucles local y regional fue preparada por el autor para la conferencia MEDECOS en San Diego, California (MEDECOS 1997). Y, el primer esquema completo fue preparado a petición del Dr. Anver Ghazi (jefe de Unidad de la DG XII/E1 de la Comisión Europea) para ser presentado el año 2000 al Grupo Asesor Externo (GAE) en Cambio Global y Ecosistemas del 5º Programa Marco (PM) de Investigación de la Comisión Europea. El año 2002 se renovó el GAE para el nuevo 6º Programa Marco de la Comisión Europea, incorporando al autor, y la figura se presentó en la primera reunión del grupo a principios del año 2002. También se volvió a presentar en diciembre del mismo año por razones que explica la figura 7.

El bucle local lo forman las brisas combinadas de mar y de ladera y sus flujos de retorno en altura, que pueden terminar su ciclo diario *abriéndose* por la tarde, y formando tormentas sobre las montañas que rodean la cuenca. Un primer umbral crítico (*tipping point*) se cruza cuando el nivel de condensación convectiva sobrepasa la altura de las montañas, y el sistema permanece cerrado todo el día. El sistema cerrado tiene un ciclo diurno y una escala del orden de 100-300 kilómetros para los flujos superficiales, tierra adentro, y los de retorno en altura; además, durante el verano puede mantenerse varios días consecutivos (3 a 7+), y repetirse varias veces al mes. Si esos efectos se consolidan, y persisten durante varios años consecutivos, su resultado es aumentar la sequía sobre las laderas montañosas en esa zona.

El bucle regional se origina a partir del calentamiento, por efecto invernal, de los gases y vapor de agua acumulados sobre el mar durante los períodos de recirculación vertical. El calentamiento puede contribuir a un aumento adicional de la temperatura del mar durante el verano, y el agua más caliente alimenta lluvias más torrenciales en otoño y, más recientemente, también en primavera y verano. Su umbral crítico se cruza si las lluvias torrenciales ocurren sobre laderas ya afectadas por el primer bucle, y se producen avenidas de barro y pérdidas masivas de suelo.

Finalmente, el bucle atlántico-global tiene dos ramales que pueden afectar la oscilación del Atlántico Norte (NAO). El ramal oceánico se origina por la pérdida de vapor de agua acumulado sobre el mar cuando este sale de la cuenca (y puede alimentar las lluvias torrenciales de verano en el centro-este de Europa, (Gangoiti *et al.* 2011). Esto altera el balance evaporación-precipitación en la cuenca occidental y favorece la salida de agua más salada al Atlántico (válvula salina atlántico-mediterránea) (Kemp 2005). El ramal atmosférico incluye la perturbación de las depresiones extratropicales y huracanes en El Caribe-golfo de México, ambos causados por la sulfatación y nitrificación del polvo sahariano que cruza el Atlántico.

En ambos casos se perturbaría el comportamiento de las borrascas y frentes atlánticos, y podría afectar el régimen de precipitaciones de toda la fachada atlántica europea y del norte de África. La figura 8, basada directamente en la interpretación de datos experimentales obtenidos en proyectos europeos, fue presentada ya el año 2000, y que cada uno extraiga sus conclusiones. En la figura 8 el camino del vapor de agua está señalado con flechas azules, los efectos directos con flechas negras, y los efectos indirectos con otros colores. Los umbrales críticos, remarcados en rojo, indican cuando el sistema puede caer a un nuevo estado.

Estas figuras muestran la evidente interconexión entre los procesos hidrológicos locales y regionales en Europa. Es decir, muestran cómo una pérdida de tormentas de verano a nivel local, motivada por los cambios de usos del suelo, puede conducir a modos de recirculaciones verticales y acumulación de vapor de agua a nivel regional en la cuenca mediterránea occidental, y cómo el vapor de agua acumulado en estos puede participar en episodios de lluvias torrenciales e inundaciones en otras partes de Europa. Finalmente, el contenido de la figura 8 ha servido para definir más de veinte líneas prioritarias (financiadas por la Comisión Europea) entre el 6º y 7º (actual) Programas Marco de Investigación de la Unión Europea.

### ¿Qué debemos o podemos hacer?

*Primero.* Tener en cuenta que las soluciones al problema del agua en Europa deben tomar en consideración sus diferencias hidrológicas.

*Segundo.* La actual Directiva Marco del Agua debe ser modificada, p. eg., elaborando directivas hijas para cada lado de la divisoria continental.

*Tercero.* Una solución, que también ayudaría a mitigar los efectos del cambio climático, sería *cultivar* el componente de precipitación de las tormentas de verano. Por ejemplo, a través de:

1. Mantener y promover la agricultura en las costas mediterráneas (como sustituto de los humedales originales), y/o mantener los humedales. Dichos planteamientos deben ser protegidos para reenganchar el sistema hidrológico.
2. Promover grandes proyectos de reforestación en las zonas abandonadas del interior, hasta las cabeceras de cuenca. Estos cultivos pueden necesitar riego (trasvases) hasta que se reenganche el sistema.
3. Considerar estas actuaciones como servicios ambientales al ciclo hidrológico de la región de aplicación, y para el resto de Europa, y tratarlos como tales en los nuevos PAC.

Actualmente, la Comisión Europea (Tilche, 2010) está considerando los siguientes puntos:

- El ciclo hidrológico puede impactar *sobre* el cambio climático.
- A escala local el ciclo hidrológico está afectado por la gestión del agua y usos del suelo.
- Retroalimentaciones complejas pueden conducir a resultados inesperados (figura 8).
- En la cuenca mediterránea occidental más del 80 por ciento de la precipitación se origina de agua evaporada en la misma cuenca.
- La vegetación, y los regadíos proveen un servicio indispensable a la recirculación del agua.
- El reparto de los recursos del agua a otros usos *puede* tener el efecto de reducir precipitaciones e incrementar la desertificación.
- Las externalidades ambientales pueden ser internalizadas solo por instituciones capaces de gestionar el ciclo del agua a la escala espacial adecuada.
- Los ejemplos expuestos pueden ayudar a pensar con una mente abierta sobre el ciclo hidrológico en Europa y las posibles estrategias de adaptación al cambio climático.

## Referencias bibliográficas

- EUROPEAN COMMISSION, 2007: «International Workshop on Climate Change Impacts on the Water Cycle, Resources and Quality». Report EUR 22422. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 149. ISBN 92-79-03314-X
- GANGOITI, G., I. Gómez-Domenech, E. Sáez de Cámara, L. Alonso, M. Navazo, N. Gómez, J. Iza, J. A. García, J.L. Ilardia and M. M. Millán, 2010: «The origin of water vapour responsible for the European extreme rainfalls of August 2002. Part II: Evaluation of evaporative moisture sources». To be published in the *Journal of Geophysical Research* (Accepted May 2011).
- GAO B.C., y Y. J. Kaufman, 2003: «Water vapour retrievals using Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) near-infrared channels», *J. Geophys. Res.*, 108, NO D13, ACH 4-1, 4-10.
- HUSCHKE, R.E. (ed.), 1986: *Glossary of Meteorology*. American Meteorological Society, Boston, Mass., 638 pp.
- KEMP, M., 2005: (H. J. Schellnhuber's map of global «tipping points» in climate change), Inventing an icon, *Nature*, 437, 1238.
- KING, M. D., W. P. Menzel, Y. J. Kaufman, D. Tanré, B.-C. Gao, S. Platnick, S. A. Ackerman, L. A. Remer, R. Pincus, and P. A. Hubanks, 2003: Cloud and Aerosol Properties, Precipitable Water, and Profiles of Temperature and Water Vapor from MODIS, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41, 442-458.
- MEDECOS VIII Conference on MEDiterranean-Type ECOSystems, 1997, San Diego, California, c/o Patricia Wu, Department of Biology, San Diego State University (SDSU) 5500 Campanile Drive, San Diego, CA 92182-0057, USA.
- MILLÁN, M.M., M<sup>a</sup> J. Estrela, M<sup>a</sup> J. Sanz, E. Mantilla, & others, 2005a: Climatic Feedbacks and Desertification: The Mediterranean model. *J. Climate*, 18, 684-701.
- MILLÁN, M.M., M<sup>a</sup> J. Estrela, J. Miró, 2005b: Rainfall Components Variability and Spatial Distribution in a Mediterranean Area (Valencia Region). *J. Climate*, 18, 2682-2705.
- TILCHE, A., 2010: EU-funded research on Climate Change in the Mediterranean- Some elements of reflection. Andrea Tilche, European Commission, DR Research, Directorate I «Environment», Brussels.
- ULBRICH, U., T. A. Brücher, A. H. Fink, G. C. Leckebusch, A. Krüger, G. Pinto, 2003: The central European floods of August 2002: Part 2 - Synoptic causes and considerations with respect to climatic change. *Weather*, 58, 371-377.
- VAN DER ENT, R. J., H.H.G. Savenije, B. Schaefli, S.C. Steele-Dunne, 2010: Origin and fate of atmospheric moisture over continents. *Water Resources Research*, Vol. 46, W09525, doi: 10.1029/2010WR127.

Figura 1. Promedio del ratio de la recirculación de la evaporación sobre los continentes. Los valores cercanos a la unidad (negro) indican que la precipitación en esas zonas procede preferentemente del vapor de agua evaporado sobre las mismas zonas (Van der Ent ET AL. 2010). En las zonas azules la precipitación proviene de agua evaporada sobre los océanos.

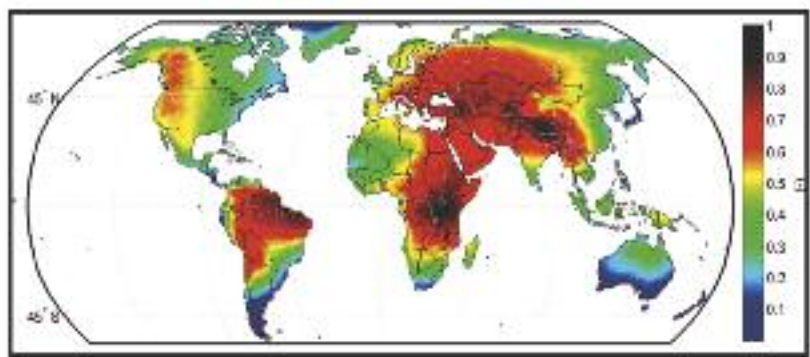


Figura 2. Las grandes cuencas hidrográficas del mundo (ONU) separadas por sus correspondientes líneas divisorias

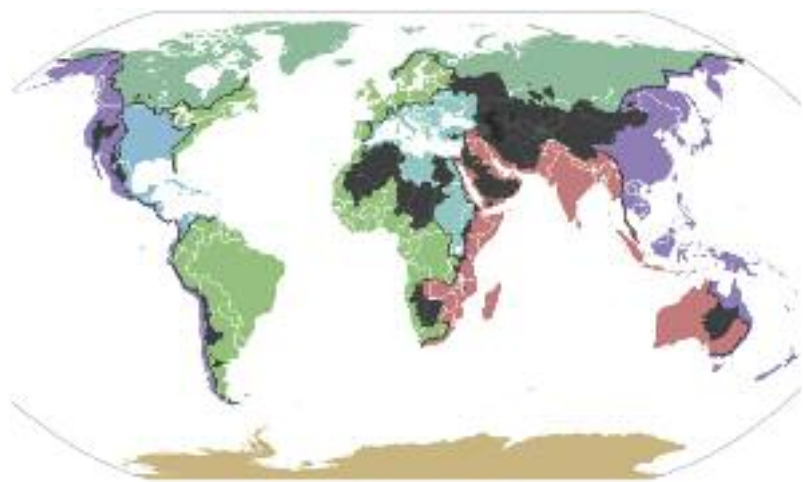


Figura 3. Mapa de altitudes en Europa mostrando, en más detalle que la figura 2, la divisoria continental europea. La línea azul oscura separa la vertiente atlántica de la vertiente mediterránea. Algunas de las precipitaciones más intensas en Europa se producen sobre dicha divisoria.

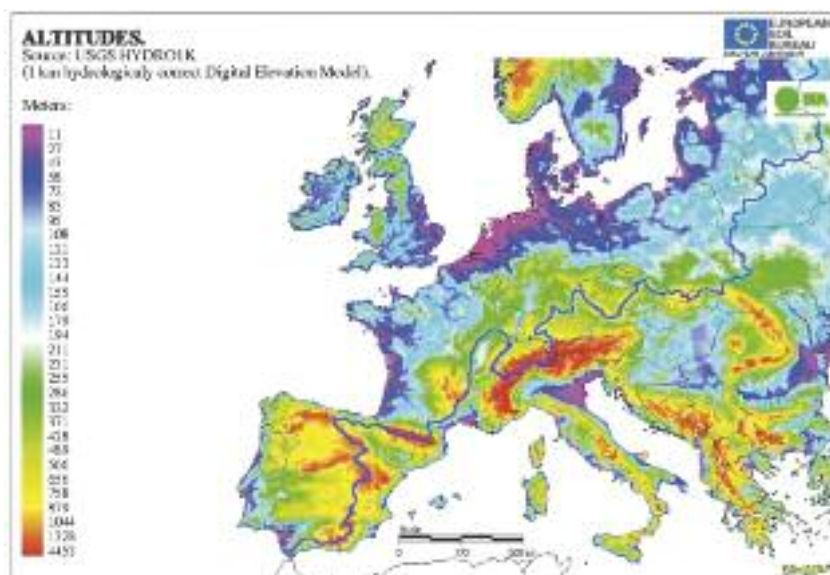


Figura 4. Desagregación espacial y temporal de los componentes de la precipitación en la región de Valencia (España) y áreas colindantes. Se han utilizado series de datos diarios de 497 emplazamientos durante un período total de cincuenta años. Un aspecto importante es que el agua de los componentes B y C, que suman casi un 80 por ciento del total, procede de evaporación sobre el mar Mediterráneo, y sugiere que el agua en esos componentes es reciclada (*recycled*) dentro de la misma cuenca.

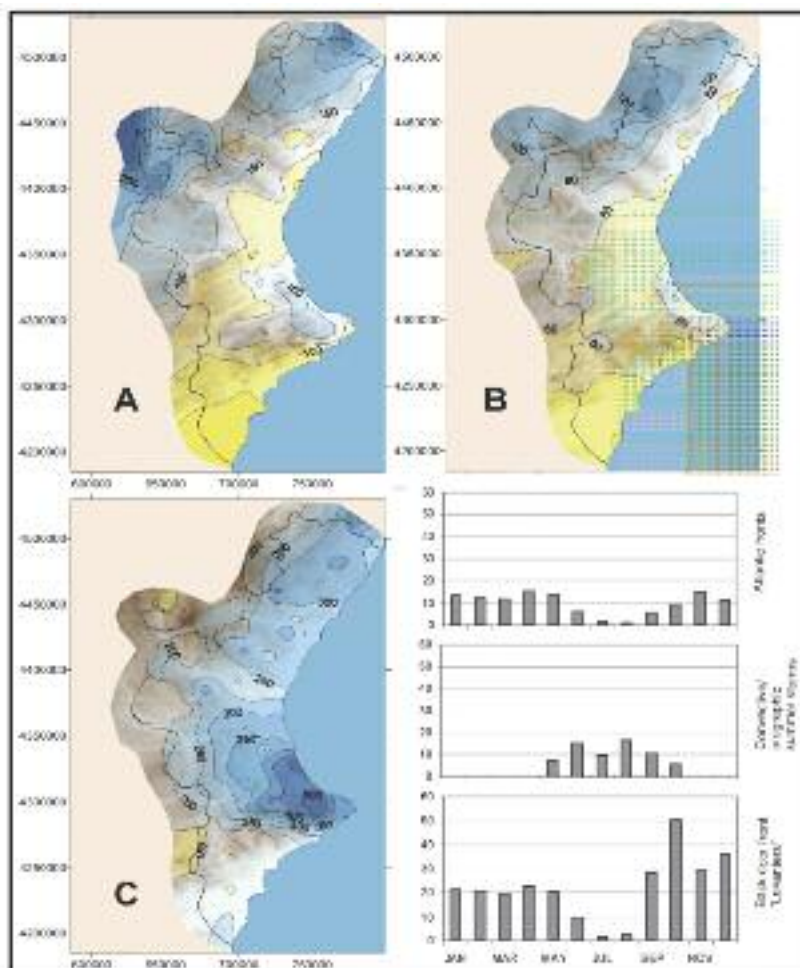


Figura 5. La formación de tormentas de verano en las costas de la cuenca mediterránea occidental, considerando un calentamiento de la masa de aire marina de 16K.

*Gráfico superior:* Las condiciones en el pasado suministraban suficiente vapor de agua adicional a la masa de aire marina (brisa de mar) para disparar tormentas casi todos los días a unos 1000 metros de altitud (Barracas, El Toro). Esta situación mantenía una gran cantidad de agua circulando por el sistema costero, i. e., por la superficie y por los acuíferos.

*Gráfico inferior:* En las condiciones actuales se produce más calentamiento al pasar sobre suelo urbanizado. Y el vapor de agua que aporta la superficie es menor de 5-6 g/km, que puede ser insuficiente para producir condensación y disparar una tormenta.

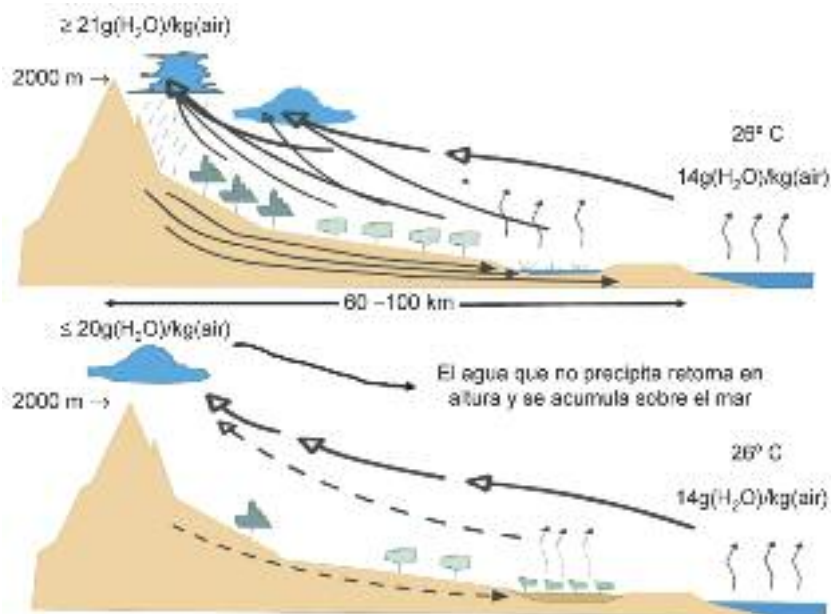


Figura 6. Promedios mensuales de la columna total de vapor de agua medida por el satélite MODIS Terra en julio de los años 2000, 2002 y 2004.

*Lado izquierdo: Day product (paso ecuatorial a las 1030 UTC).*

A esa hora los máximos de la columna se detectan sobre las costas y se corresponden con las brisas de mar.

*Lado derecho: Day+Night product.* Resalta las áreas sobre las que se acumula el vapor de agua al final del ciclo diurno. Esto es, el vapor de agua que no precipita sobre las montañas costeras por la tarde regresa hacia el mar con los flujos de retorno de las brisas en altura, y se acumula hasta unos de 4500 + m sobre el mar. Estos mecanismos producen el «modo de acumulación» de vapor de agua sobre el mar en verano.

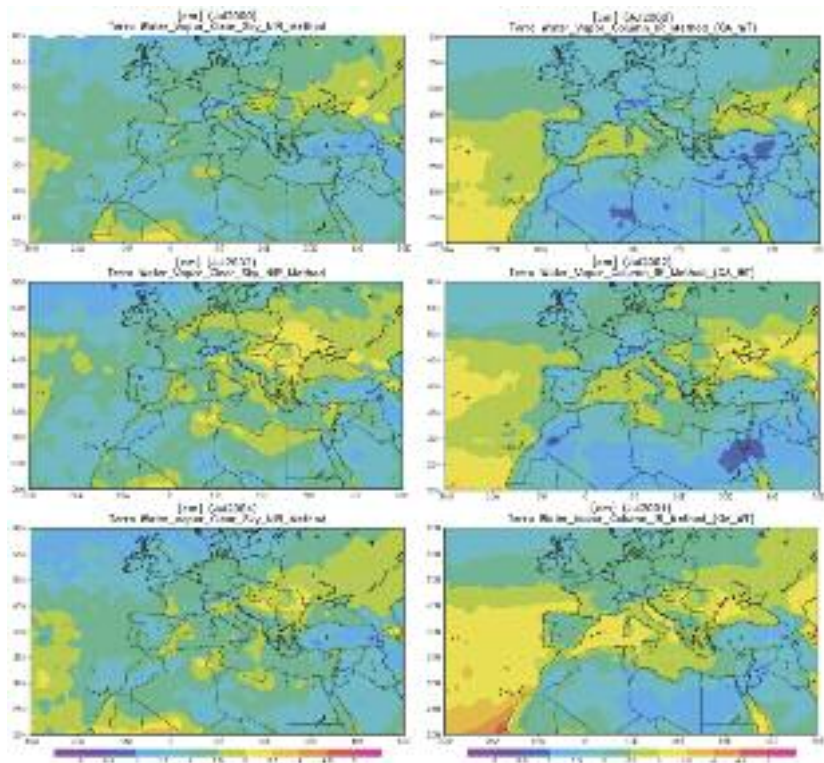
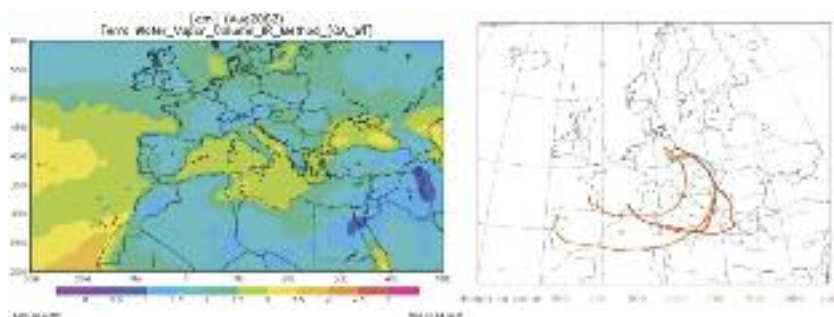


Figura 7. *Izquierda:* Columna de vapor de agua sobre el Mediterráneo (cuenca occidental) en agosto del 2002.

*Derecha:* Retrotrayectorias (tipo Vb) de las masas de aire que alimentaron las lluvias torrenciales en la República Checa y Alemania el 11 al 13 de agosto del 2002 (Uwe Ulbrich *et al.* (2003) *Weather*, 58, 434-443). El área de origen del vapor de agua es la cuenca mediterránea occidental.



[illegible]



# **Prospectiva de sostenibilidad energética para la Comunidad Valenciana: horizonte 2030**

JUAN MANUEL BADENAS CARPIO

Rector de la VIU y catedrático de Derecho Civil

A nadie se le oculta que estamos atravesando una de las crisis económicas más graves de los últimos años. Algunos autores consideran que no se trata de una crisis cualquiera sino que lo que está en crisis es el propio sistema. Por ello los analistas y los expertos hablan de «crisis sistémica». Desde el año 2007 o 2008 estamos oyendo hablar de manera reiterada de crisis económica, de crisis financiera, de crisis inmobiliaria, de crisis productiva, de crisis alimentaria y de materias primas e incluso de crisis ética y jurídica. La mayoría de la gente piensa que la yuxtaposición de este conjunto de fenómenos es lo que produce que nos encontremos ante una «crisis sistémica», cuando la realidad es justamente la contraria: es la crisis global o sistémica la que acarrea los diversos tipos de crisis.

En efecto, en torno a 1820, a partir de la revolución industrial que trajo consigo el invento de la máquina de vapor, empezaron a darse las condiciones que permitieron dar el paso desde el mercantilismo al capitalismo. Comenzó a desarrollarse una era que ya lleva consumidos casi doscientos años. Esta era económica ha estado marcada por una serie de constantes que, a tenor de los datos de los que disponemos, está empezando a dar un giro transcendental.

El capitalismo hace casi doscientos años que echó a andar apoyándose en una serie de premisas que son las siguientes:

1. Las materias primas existentes han sido suficientes para permitir que el mundo civilizado haya crecido económicamente de forma constante y sostenida.
2. Paralelamente, primero el carbón y después el petróleo, han sido consideradas fuentes de energía prácticamente inagotables hasta la crisis energética acaecida durante la década de los años setenta del pasado siglo.

3. En un primer momento, y hasta hace pocos años, la mano de obra relativamente cualificada solo estaba disponible en el mismo lugar en el que se encuentran las sedes sociales de las empresas, de manera que la dirección y la producción de las empresas estaban localizadas a muy poca distancia la una de la otra.

Estas tres circunstancias han variado ostensiblemente durante los últimos años. El crecimiento constante de los países desarrollados (pero sobre todo la aparición de economías emergentes muy pujantes como la china, la indú o la brasileña) nos ha abocado a un escenario de escasez de materias primas y su consiguiente encarecimiento. Los combustibles fósiles, además de ser altamente contaminantes, también se han revelado insuficientes para mantener el crecimiento sostenido. Mientras su demanda sigue siendo creciente la oferta o bien se estanca o incluso se repliega como consecuencia de los conflictos que tienen lugar en los países productores. Finalmente, la aparición de mano de obra mínimamente cualificada en otros lugares del mundo y la facilidad del transporte de las mercancías ha conducido a deslocalizar la producción de muchas empresas, hasta el punto de que las más rentables son aquellas en las que la distancia entre la sede central de la empresa y la producción es mayor.

Precisamente, en una visita que Carlos de Inglaterra, el Príncipe de Gales, realizó (el pasado 10 de febrero de 2010) al Parlamento Europeo advirtió que «para hacer sostenible el planeta resulta crucial impulsar la transición de las economías europeas hacia economías de bajo consumo de carbono, para así poder atajar las consecuencias del cambio climático». Sin embargo, aunque el fundamento ecológico sea muy importante no lo es menos el puramente económico porque si tenemos en cuenta el actual consumo de energía y de materias primas y su progresivo encarecimiento el sistema económico occidental, tal y como lo conocemos, es insostenible.

Por ello me parece muy acertado el ciclo de conferencias que ha organizado el Club de Roma, porque energía y sostenibilidad son dos términos que ya no pueden ir separados, porque no tenemos energía suficiente para seguir creciendo.

Otros ponentes que me han precedido en esta misma tribuna han remarcado la relación directa que existe entre crecimiento económico y consumo de energía. De hecho es este precisamente uno de los indicadores que sirve para medir, en términos económicos, la salud de la economía de un país. Mientras el presidente del Gobierno de España, José Luis Rodríguez-Zapatero seguía diciendo que la economía española no tenía problemas, con o sin *brotos verdes*, el indicador de consumo de electricidad en España continuaba cayendo. Y actualmente que estamos inmersos en lo más profundo de la crisis el consumo de gasolina ha disminuido de manera muy considerable (y no precisamente por la reducción del límite de velocidad a 110 km/h, una medida del gobierno que es temporal).

El sistema económico en el que estamos instalados se basa en el crecimiento progresivo y constante de la economía. Después de atravesar periodos de crisis o recesión, e incluso conflictos bélicos tan importantes como la segunda guerra mundial, la economía de occidente (Europa y EE.UU.), hasta ahora nunca había dejado de crecer. Esto ha permitido que la riqueza de las naciones, de las empresas y de los ciudadanos cada vez haya sido mayor. Hasta ahora, la generación posterior siempre ha vivido mejor que la generación anterior. La riqueza de las empresas y de los individuos ha permitido que los estados hayan podido recaudar más cantidad de dinero a través de los impuestos (no siempre aumentando la presión fiscal), lo cual ha permitido que hayan podido prestar más y mejores servicios hasta llevarnos al Estado del bienestar tal y como lo conocemos, en el que existe una base de riqueza común que es compartida por todos los ciudadanos con independencia de su capacidad económica y que consiste en una educación y una sanidad en muchos casos gratuita y en unas infraestructuras que igualmente pueden ser utilizadas por todos, sin coste, o con muy poco coste, para satisfacer diversas necesidades.

Este es el reto que tenemos por delante: a pesar de las difíciles circunstancias a las que nos enfrentamos hemos de conseguir que estos pronósticos no se cumplan. Que con las materias primas y la energía que tenemos en el planeta no solo puedan seguir apareciendo nuevas economías emergentes capaces de producir y consumir como las economías occidentales, sino que también en Europa y América el progreso no se detenga y que, como a lo largo de los últimos doscientos años, que la generación posterior viva mejor y goce de más oportunidades que la precedente y así sucesivamente.

Este es el reto que fue visto en la AVAP casi al mismo tiempo de su puesta en funcionamiento y, por ello, hemos encaminado nuestros esfuerzos a la realización de una serie de informes y trabajos que sirvan para dar un poco de luz respecto del futuro.

La AVAP es una agencia de calidad universitaria, de evaluación de la I+D+i, pero además es una agencia de prospectiva. El preámbulo de la Ley 5/2006, por la que se crea la Agència d'Avaluació i Prospectiva, define la AVAP como «observatorio estratégico del futuro de la Comunitat». La prospectiva es una ciencia multidisciplinar que fue iniciada en EE.UU. a mediados del siglo xx. Los primeros equipos de prospectiva estuvieron formados por científicos y militares. Actualmente, los países más avanzados de nuestro entorno poseen centros de prospectiva. En Francia el centro de prospectiva nacional depende directamente del primer ministro.

En España, el primer centro de prospectiva fue creado en 1976 por Adolfo Suárez, se llamaba Instituto Nacional de Prospectiva y dependía del Ministerio de la Presidencia, cuyo titular fue Joaquín Garrigues Walker. En realidad fue pre-

cisamente Garrigues el verdadero impulsor del instituto, pues, como es conocido, habiendo sido el hijo del embajador de España en EE.UU., trajo a nuestro país muchas ideas interesantes que sirvieron para impulsar nuestra recién estrenada democracia. Lamentablemente, la prematura muerte del ministro nos privó de muchas iniciativas que a buen seguro habrían servido para que la calidad de la democracia que ahora tenemos fuera todavía mejor. Entre ellas la de la propia utilización de la prospectiva. Tras la muerte de Garrigues, el Instituto Nacional de Prospectiva perdió impulso, hasta que en 1982, cuando Felipe González llegó al poder, lo clausuró. Lo cual no es de extrañar porque lo mismo que planificación es igual a socialismo, prospectiva equivale a economía liberal. La planificación consiste en determinar de antemano una serie de actos que conduzcan a un fin determinado, mientras que la prospectiva trata de averiguar, mediante procedimientos científicos, las diversas posibilidades del futuro, empezando por las posibles y más probables para poder elegir de, entre ellas, las más deseables.

En algunas ocasiones, cuando trato de explicar lo que es la prospectiva pongo el símil de un jugador de ajedrez múltiple. Imaginemos un jugador de ajedrez que, por su pericia y conocimientos ajedrecísticos, es capaz de jugar un centenar de partidas simultáneas. Si en verdad es un buen jugador y *hace* prospectiva ha de ser capaz de prever las diversas jugadas que en función de sus movimientos realizarán todos y cada uno de los jugadores en sus respectivos tableros. Habrá de contemplar las jugadas posibles y más probables para poder elegir, en cada caso la jugada estratégica que más le convenga. Como se puede comprobar nada más lejos de lo que consiste en planificar. Un jugador de ajedrez *planificador* lo que haría sería imaginar de antemano su partida ideal y, con independencia de las jugadas de su oponente u oponentes realizaría sus movimientos previamente determinados o programados. Como es obvio, nadie es capaz de ganar una partida de ajedrez sin tener en cuenta las jugadas del adversario (yo creo que el Gobierno español, durante los últimos años, no ha hecho prospectiva, sino que se ha limitado a *soñar* una realidad inexistente y a aplicar una receta planificada y determinada por Rodríguez Zapatero desde antes de llegar al poder).

En el manual de prospectiva de la AVAP un factor muy importante que, por supuesto, se tiene en cuenta, es el juego de los agentes. En todo estudio de prospectiva de la AVAP se distinguen seis fases:

1. La primera consiste en la determinación de los factores que en todo caso hay que tener en cuenta y que de una u otra manera se consideran estables.
2. En la segunda se realiza una consulta a expertos (método Delphi) en la que señalan, en función de sus conocimientos y experiencia, la evaluación de la situación presente y sus posibilidades de desarrollo futuro.
3. En la tercera se determinan los escenarios posibles, probables y deseables con sus respectivos porcentajes de cumplimiento.

4. En la cuarta se elabora un documento de propuestas que han de servir para alcanzar el futuro más deseable (en función de los posibles y más probables).
5. La quinta fase consiste en la publicación o presentación de las conclusiones del estudio.
6. Y, la sexta, en el seguimiento o interacción con los agentes públicos o privados para conseguir que las conclusiones del estudio (y, por tanto, que el futuro más deseable se llegue a cumplir) se conviertan en una realidad que no se quede en un mero ejercicio teórico.

Esta última fase es muy importante y de ella depende en gran medida el éxito o fracaso del estudio de prospectiva.

El manual de la AVAP es único y fue elaborado, antes de que la Agencia comenzase a hacer sus informes de prospectiva, por un equipo de expertos experimentados en la realización de trabajos de prospectiva, siguiendo las directrices de algunos maestros de la prospectiva nacionales e internacionales, como Fontella.

En el estudio de prospectiva «Escenario energético sostenible 2030. Comunidad Valenciana» se ha utilizado el método de trabajo de nuestro manual. Actualmente hemos llegado a la cuarta fase y en próximas fechas esperamos poder cumplir la quinta (presentación y publicación del estudio). La sexta fase deberá realizarse, en cooperación con los agentes públicos y privados, durante la próxima legislatura.

Antes de explicar algunas de las más importantes conclusiones del estudio de prospectiva de la AVAP sobre sostenibilidad energética, me van a permitir que les refiera un pequeño relato, titulado «Las arenas movedizas», porque creo que explica y refleja, con las técnicas literarias propias del género, el presente de la situación energética de nuestro país, en general, y de la Comunidad Valenciana, en particular. El texto narra lo siguiente:

*Un hombre va caminando descuidado cuando, de repente, se cae en un foso de arenas movedizas.*

*Tranquilamente, el hombre observa cómo se va hundiendo, lentamente. Ve que, poco a poco, va desapareciendo dentro de las arenas, pero él continúa tranquilo.*

*Pero cuando las arenas casi le alcanzan la boca y la nariz, se pone nervioso y comienza a pedir ayuda.*

*Alguien oye sus gritos, lo localiza, y le acerca una rama para ayudarle.*

*El hombre agarra la rama, pero no hace el esfuerzo necesario para salir.*

— «¡Tire de la rama... y salga!» — le dice el hombre.

— «¡No, gracias, buen hombre! Si yo no necesito salir... si aquí estoy bien... ¡tan sólo quiero que las arenas no me tapen la boca!»

Si me lo permiten, esta considero que es la mejor imagen que describe, en estos momentos, el panorama energético en el que nos encontramos y que es el motivo de esta conferencia. Ya nadie cuestiona que el modelo actual es, simplemente, insostenible y que la arena, como en la fábula, ya ha conseguido tapar gran parte de nuestro cuerpo y solo deja el espacio suficiente para poder respirar y para poder pedir auxilio.

Pero no todo está perdido. El primer paso para la solución de los problemas es el optimismo. Afortunadamente, también la fábula deja hueco para la esperanza a través de ese brazo que se aferra a la rama lanzada desde el exterior.

En este escenario, desde l'Agència Valenciana d'Avaluació i Prospectiva (AVAP), y siguiendo nuestro manual iniciamos una serie de reuniones de eminente carácter técnico en aras de plantear las posibles vías de solución más razonables desde el punto de vista de la sostenibilidad y su compatibilidad con el crecimiento económico.

Como una buena prospectiva ha de partir de la realidad existente, lo primero que se hace en el trabajo es analizar la situación de partida de la Comunidad Valenciana y los resultados, a modo de resumen, son los siguientes:

- El petróleo representa un 42 por ciento del consumo total de energía primaria en la Comunitat. En segundo lugar, se sitúa el gas natural que contribuye con un 32 por ciento y, en tercero, la energía nuclear que aporta el 17 por ciento de dicho consumo. Las energías renovables son responsables del 3 por ciento mientras que la contribución del carbón es prácticamente nula.
- Los sectores del transporte e industrial son los principales consumidores de energía, con un nivel de demanda de 40 por ciento y 32 por ciento, respectivamente. Esto implica que juntos son responsables de las tres cuartas partes del consumo total. Los sectores residencial y servicios tienen un nivel similar de demanda del 13 por ciento y 10 por ciento cada uno, y el sector de la agricultura y la pesca consume el 5 por ciento restante.

En cuanto al balance de la energía eléctrica de la Comunidad Valenciana se describe el siguiente panorama:

- La Comunidad Valenciana fue deficitaria en la producción de electricidad, requiriendo una cantidad de electricidad importada del orden del 40 por ciento respecto a la electricidad generada en la Comunitat.
- Los sectores industrial, residencial y servicios absorben prácticamente un tercio cada uno del total de la electricidad consumida. Las actividades agrícola, pesquera y del transporte apenas tienen influencia en dicho consumo.
- La energía nuclear y el gas natural son las fuentes de energía que más aportan en la generación de electricidad con un 50 por ciento y un 49 por ciento, respectivamente.

- La aportación de energía nuclear al total de la energía primaria demandada por la Comunidad Valenciana es del 17 por ciento; sin embargo, con esta cuota es capaz de suministrar el 50 por ciento de la electricidad generada en la Comunitat.
- La energía nuclear, estabilizada en la producción mediante la central nuclear de Cofrentes ha ido reduciendo su participación relativa en la generación de electricidad en los tres últimos años por el incremento en la utilización del gas natural.

Este escenario descrito a modo de foto fija está planteando, a juicio de los expertos, los siguientes problemas de sostenibilidad. A saber:

- Excesiva y preocupante dependencia exterior en las fuentes de energía primaria utilizadas.
- Déficit en la generación de electricidad.
- Aumento continuado de las emisiones de gases de efecto invernadero.

No obstante, este escenario no es exclusivo a la Comunidad Valenciana. Por ello, la Unión Europea, en su documento «Europa 2020: Una estrategia para un crecimiento inteligente, sostenible e integrador», apunta al tema energético como uno de los puntales básicos sobre el que se asentarán las políticas de futuro de la Unión. Para ello, conmina a los países miembros al cumplimiento de los siguientes objetivos en esta materia:

- Reducir las emisiones de gases de efecto invernadero al menos en un 20 por ciento en comparación con los niveles de 1990, o en un 30 por ciento si se dan las condiciones al efecto.
- Incrementar el porcentaje de las fuentes de energía renovables en nuestro consumo final de energía hasta un 20 por ciento y en un 20 por ciento la eficacia energética.

Se trata, como se puede observar, de objetivos ambiciosos pero alcanzables. Fue el científico Albert Einstein el que acuñó la siguiente frase: «Hay una fuerza motriz más poderosa que el vapor, la electricidad y la energía atómica, y esta fuerza motriz es la voluntad». Tal y como he señalado antes, para llegar al futuro posible más deseable hacen falta dos elementos: *a* una buena indagación técnica prospectiva (estudio); y, *b* la cooperación de los agentes (voluntad).

En este caso, la voluntad conjunta y complementaria de los agentes de que la Comunidad Valenciana cumpla con estos fines debe ser esa fuerza motriz a la que hacía referencia Einstein, la que impulse el movimiento entre todos los actores implicados en este debate.

Un debate, por cierto, que debiera plantearse desde mi perspectiva bajo las siguientes premisas:

- Debe ser un debate valiente y abierto, en el que se planteen sobre la mesa de negociación todas las opciones sin exclusión.

- Un debate en el que debieran imperar los criterios técnicos, de sostenibilidad y de viabilidad por encima de los criterios pasionales.
- Un debate en el que se haga partícipe a la sociedad civil con comunicaciones y mensajes claros, objetivos, transparentes, veraces e inteligibles.
- Un debate del que debe emanar un nuevo marco jurídico clarificador, estable y que genere tranquilidad en los inversores a la hora de planificar sus proyectos.
- Un debate que sienta las bases para hacer estrategia a largo plazo pero, que al mismo tiempo, sea lo suficientemente flexible para adaptar e incorporar los grandes avances científicos y tecnológicos que se suceden en materia energética.

Algunas conclusiones del informe de la AVAP son las siguientes:

1. La sostenibilidad energética requiere unas condiciones en dependencia exterior en el suministro de energía; contribución de las energías renovables; ahorro y eficiencia energética, y emisiones de gases contaminantes, que el actual esquema de generación y consumo energético de la Comunidad Valenciana no cumple, a tenor de su margen de competencias.
2. Conseguir un sistema energético sostenible en la Comunidad Valenciana requiere un cambio no sólo cuantitativo sino que deben introducirse importantes cambios cualitativos en el esquema actual.
3. La simulación de escenarios energéticos indica que la consecución de sostenibilidad pasa por el cambio a un «mix» energético en el que se reduzca la contribución de los combustibles fósiles, aumentando la de las energías renovables al máximo posible, pero incrementando también la de otras fuentes de energía, hasta alcanzar una contribución similar de cada uno de estos tres tipos de fuentes.
4. Escenarios que incluyen el coche eléctrico como alternativa al uso del petróleo en el sector del transporte requieren una producción masiva de electricidad de forma limpia, lo que hace necesario un aumento de la contribución de las energías renovables y también, en su caso, de la energía nuclear.
5. Igualmente, una penetración significativa del hidrógeno como vector energético que permitiese, mediante el almacenamiento, aumentar la fiabilidad de las energías renovables y facilitar la disminución del petróleo en el sector del transporte, requiere una producción importante de electricidad limpia, lo que aumentaría la demanda de energías renovables y nucleares.
6. Las energías renovables tienen un techo para su participación en el *mix* energético, tanto por razón de la disponibilidad de recursos naturales, como su coste y, fundamentalmente, su fiabilidad e impacto en el sistema eléctrico. Es por tanto, inevitable contar con otras fuentes de energía para completar

la producción masiva de electricidad requerida en cualquiera de los escenarios energéticos sostenibles que puedan considerarse para el futuro.

7. La participación de la energía nuclear en un escenario sostenible para la Comunidad Valenciana se estima en la instalación de aproximadamente 2,5 gw de energía eléctrica, lo que implicaría el mantenimiento de la central nuclear de Cofrentes y que, de alguna manera, se pueda complementar con una producción suplementaria de aproximadamente 1,6 gwe.
8. La tecnología nuclear actualmente disponible permite el desarrollo de un escenario nuclear sostenible. Además, se está desarrollando una próxima generación de centrales nucleares con seguridad, rendimiento y quemado de combustible mejorados, junto a una disminución notable en la generación de residuos.
9. Los beneficios económicos y sociales de un desarrollo de la energía nuclear son elevados al permitir la generación de electricidad a un coste competitivo y la potenciación del desarrollo industrial y la creación de empleo en la región.
10. Sin embargo, para hacer viable un programa energético en el que no se excluya la energía nuclear es preciso un consenso político y social fuerte y duradero y el potenciamiento de la formación de los futuros profesionales de esta área.

Como dije al inicio de mi intervención, el reto que tenemos delante no es por nosotros mismos. Igual que las generaciones precedentes nos dejaron resuelto el problema de sobre qué pilares debíamos afianzar nuestro progreso y crecimiento, la responsabilidad de la generación presente es hacer lo mismo con las que nos siguen.



# Aspectos sociales y geopolíticos



# **Geopolítica de la energía y las relaciones ‘gasistas’ entre la Unión Europea y Rusia**

ANTONIO SÁNCHEZ ANDRÉS

Departamento de Economía Aplicada, Universitat de València

Las relaciones entre la Unión Europea y Rusia han cambiado sustancialmente con la desintegración de la URSS. Progresivamente han ido pasando a un primer plano las relaciones energéticas y en particular las referidas al gas. Estos intercambios han adquirido gran relevancia e importancia político-económica debido al déficit estructural que tiene la Unión Europea en recursos energéticos y a las compras masivas futuras que parece que Europa tendrá que realizar en Rusia.

En este trabajo se analizan las relaciones energéticas entre la Unión Europea y Rusia, subrayando los aspectos relacionados con el gas, que son los que más polémica están suscitando en los últimos años. En primer lugar, se destacarán los principales elementos de la construcción de la nueva política energética europea, con un especial énfasis en su faceta exterior. En segundo lugar, se apuntará la política energética rusa diseñada en la primera década del siglo XXI y, en tercer lugar, se establecerán algunos puntos de conexión entre las políticas energéticas europea y rusa.

## **Energía y política energética en la Unión Europea**

El consumo de energía en la Unión Europea se ha caracterizado en los últimos diez años porque una parte considerable ha sido cubierta por hidrocarburos. En concreto, durante el último decenio estas fuentes energéticas han satisfecho el 60 por ciento del consumo interno. Un elemento destacable es que la composición de hidrocarburos ha cambiado puesto que ha tenido lugar una reducción relativa en el consumo de petróleo y se ha acrecentado la utilización de gas. Adicionalmente, se ha reducido el consumo de carbón en beneficio de la utilización de energías renovables, al tiempo que la energía nuclear ha mantenido su peso relativo.

Como la Unión Europea es deficitaria en hidrocarburos y existe una tendencia a agotar sus reservas, el gran peso de este tipo de recurso energético en su *mix* energético presenta una especial trascendencia. De hecho, a finales de la década pasada mucho más de la mitad de la energía consumida se ha tenido que importar. En particular, esta tendencia ha sido mucho más acentuada en el caso del gas. Así pues, el creciente uso del gas y la necesidad de importarlo sitúa este hidrocarburo en una posición estratégica dentro de la seguridad energética futura de la Unión Europea. De hecho, alguna de las proyecciones realizadas pone de manifiesto que en 2020 el 72 por ciento del gas consumido se importará y en 2030 esta cifra ascenderá al 80 por ciento. Junto al acrecentamiento en el consumo del gas y a la dependencia por tener que obtenerlo del exterior se añade la necesidad de importar la práctica totalidad del petróleo. En particular, en 2030 se estima que el 93 por ciento del petróleo consumido en la Unión Europea deberá de importarse. Es decir, que el aumento en la dependencia de gas significa para la Unión Europea pasar a importar masivamente todo tipo de hidrocarburos (Sánchez, 2008a).

Por añadidura, mientras que el mercado internacional del petróleo es muy flexible, el del gas se encuentra muy regionalizado, y la vinculación a unas zonas de abastecimiento muy localizadas se acrecienta sensiblemente. En particular, la Unión Europea importa alrededor del 90 por ciento del gas de tres países, Argelia, Noruega y Rusia, entre los que este último es el primer suministrador. No obstante, en el futuro, con el agotamiento del gas en Noruega se prevé que su suministro será sustituido por adquisiciones en Rusia. El gran peso de este país eslavo como proveedor de gas y la falta de flexibilidad en el mercado del gas levanta susceptibilidades en la Unión Europea acerca de las posibles irregularidades en las relaciones *gasistas* con Rusia y, en especial, al uso político del gas. En este sentido, se presume que existe un riesgo geopolítico. Este se materializa en el temor de que Rusia pueda manipular los mercados *gasistas* tanto en precios como en cantidades.

En este contexto, la política energética europea ha ido alterando y, desde la descomposición del bloque del Este, los cambios se han ido acentuando. En concreto, se pensó que se podría acceder directamente a las riquezas de hidrocarburos de Rusia, el nuevo país emergente. Adicionalmente, se atisbó que se podría abrir un camino directo y preferente a dos nuevas zonas ricas en gas y petróleo, es decir, el mar Caspio y Asia central. En ese momento, la Unión Europea estableció un instrumento que constituía una pieza central dentro de su política energética exterior: la Carta de la Energía. En 1991 se aprobó la Carta Europea de la Energía, y, después, en 1994, este documento se consiguió establecer como un tratado de carácter internacional. En esencia, la Carta de la Energía pretende que ningún país que la haya firmado pueda obstaculizar el flujo de

energía (en especial de gas) desde las fuentes de extracción hasta los puntos de consumo. (Energy Charter Secretariat, 2004).

Poco tiempo después, en 1995, se pretendió desarrollar un marco específico para la política energética europea con la aprobación del Libro Blanco. En este se reconoce que existen problemas internos, en especial de fragmentación en el mercado y problemas más globales, de tipo medioambiental, pero no se prestó atención a aspectos de seguridad en el suministro. En el año 2000 se editó un Libro Verde de la energía, en el que se consiguió un mayor grado de especificación en los objetivos apuntados en el Libro Blanco. (European Commission, 2001, Benavides, 2006 y Marín, 2007).

En 2006 apareció otro Libro Verde de la energía que resultó mucho más concreto que el anterior y significó la aceleración en la aprobación de normativas complementarias que dinamizaron aspectos de la política energética de la Unión Europea (CCE, 2006). En particular se llegaron a concretar tres grandes objetivos en la política energética: sostenibilidad, competitividad y seguridad de abastecimiento. La sostenibilidad se identifica con aprovechar mejor la energía utilizada dentro de la Unión Europea y aumentar el uso de aquellas fuentes energéticas poco agresivas con el medioambiente y, en particular, no generadoras de gases con efecto invernadero (introducción activa de energías renovables y debate nuclear). La competitividad significa una reestructuración organizativa del sector energético europeo que fomente la competencia interna en este tipo de actividades. Las medidas vinculadas a acrecentar la competitividad se concentran en el gas y la electricidad, y se refieren a instaurar una autoridad energética europea, a separar empresarialmente la generación, el transporte y la distribución, así como a construir nuevas infraestructuras que conecten mejor a los distintos países y los abastezcan de energía, en parte adquirida en el exterior. La seguridad en el abastecimiento es sinónimo de conseguir un suministro suficiente, regular y a precios asequibles de energía adquirida fuera de la Unión Europea. Dada la ausencia de fuentes internas baratas de energía en la Unión Europea, estas se deben comprar en el extranjero y, por este motivo, se han de establecer acuerdos con países suministradores y promocionar la construcción de infraestructuras extracomunitarias que permitan la llegada de la energía a la Unión Europea.

El resultado más importante que se deriva del Libro Verde ha sido el documento de la Comisión «Una política energética para Europa» aparecido en enero de 2007 (CCE, 2007), junto con un conjunto de textos adicionales, que condujeron a la aprobación de un plan de acción de política energética europea para el período 2007-09 (Consejo de la Unión Europea, 2007).

En noviembre de 2008, se dio un paso adicional en la definición de una política energética europea, cuando la Comisión Europea aprobó la Segunda Revisión Estratégica del sector de la energía (CCE, 2008). En este documento la Comisión

propuso cinco líneas de actuación, de las cuales tres tenían una relación estrecha con la seguridad en el suministro: creación de infraestructuras de transporte de energía tanto dentro como fuera de la Unión Europea, establecimiento de una política energética exterior europea y constitución de un sistema coordinado de reservas y de mecanismos de respuesta en caso de crisis energética, generada tanto por motivos internos como externos a la Unión Europea.

En conclusión, la política energética europea en cuanto a su objetivo de seguridad en el suministro de energía está diseñando un marco caracterizado por promover la aprobación internacional de la Carta de la Energía, fomentar las relaciones con los proveedores de energía, en especial, mediante el establecimiento de acuerdos globales, estimular la construcción de infraestructuras de transporte que permitan adquirir hidrocarburos en las nuevas zonas abiertas a raíz de la desintegración de la Unión Soviética, estrechar relaciones con Noruega, Turquía y Ucrania, y llegar a acuerdos sobre energía con los nuevos grandes importadores de hidrocarburos (con EE.UU. y China, aunque también con Brasil e India).

### **La política energética y el gas en Rusia**

La política energética rusa y, en particular, la gasista, aparece dibujada en la «Estrategia energética hasta el año 2020» (Energeticheskaya strategiya Rossii, 2003). En este documento se prevé un crecimiento sustancial en el consumo de energía y, en particular de gas, que será respaldado por un aumento en su producción.

El consumo interno ha ido aumentando progresivamente durante el período considerado. En 2000 se registró un consumo de 403,7 miles de millones de metros cúbicos de gas, mientras que en 2006, se habían alcanzado los 459 mil millones de metros cúbicos, en 2020 se puede llegar a superar la barrera de los 500 mil millones de metros cúbicos. Durante la primera mitad de esta década, el 70 por ciento del gas ruso se vendía en el propio mercado interior, no obstante, en 2020 se prevé que este consumo absorba el 66 por ciento del gas producido.

Las exportaciones de gas han presentado una tendencia a acrecentarse durante esta década: en 2000 se vendieron al exterior unos 194 mil millones de metros cúbicos de gas, en 2005 207 mil millones de metros cúbicos, en 2010, 248 mil millones de metros cúbicos y, en 2020, se puede alcanzar los 281 mil millones de metros cúbicos. Resulta revelador observar el destino de las exportaciones. Estas se concentran esencialmente en Europa que, a principios de esta década, acaparaba cerca del 70 por ciento de las ventas exteriores de gas ruso, mientras que en 2008 ya casi significaron el 80 por ciento. Cabe señalar que el segundo mayor mercado de Rusia son los países que pertenecieron a la antigua URSS, mientras que el resto de áreas y, en especial Extremo Oriente, ha supuesto un

mercado prácticamente insignificante, puesto que ha constituido aproximadamente el 1,2 por ciento del total de sus ventas exteriores. Quizá uno de los cambios más importantes que se espera en la década siguiente es la apertura de yacimientos en Extremo Oriente que acompañe el incremento en el peso de la demanda por parte de esa zona. No obstante, en 2020, alrededor de las tres cuartas partes de las exportaciones se seguirá concentrando en Europa.

Para cubrir este crecimiento en la demanda se prevé que aumente la producción. De hecho, en el año 2000, se extrajeron 584 mil millones de metro cúbicos de gas, en 2010 se llegaron a los 650 mil millones y, en 2020, se podrían alcanzar los 730 mil millones de metros cúbicos. Este crecimiento se pretende conseguir a través de cambios organizativos en el sector *gasista*.

El mercado *gasista* ruso se encuentra muy regulado, situación que se ha acentuado durante esta década (Sánchez, 2006 y 2008b). Aunque se atisba alguna flexibilización en el mercado del gas, Gazprom seguirá siendo la empresa dominante en la explotación del gas en Rusia y seguirá ostentando el monopolio en el transporte y la exportación de gas. El resto de empresas, tanto las rusas como las extranjeras, aunque tendrán un peso creciente, seguirán encontrándose en un segundo plano. De hecho, mientras que estos productores independientes a principio de esta década producían el 10,4 por ciento del gas extraído en Rusia, esta proporción deberá ir aumentando progresivamente hasta alcanzar en 2020 el 20 por ciento.

Alcanzar los anteriores objetivos de producción de gas requiere una reforma en los precios del gas dentro del país. En Rusia existe una política de subvención al consumo del gas. Por un lado, hay una falta de control sobre el propio consumo, debido a que el abastecimiento de gas (y la electricidad, que es generada en una parte sustancial en centrales de gas) es por áreas o distritos, y no por viviendas o empresas. Adicionalmente, nunca se establecieron medidas relevantes para mejorar la eficiencia en el consumo del gas (Milov y otros, 2006: 293-294). Por otro lado, los precios siempre han estado muy subvencionados. Esta situación se ha mantenido durante esta década a pesar del aumento progresivo en los precios. Por ejemplo, en términos medios, en 2000, se pagó 17,9 euros por mil metros cúbicos de gas, en 2006 45,6 euros y, en 2008 55,8 euros. En estas circunstancias, se asume que los suministradores de gas y, en particular Gazprom, obtienen unos beneficios muy pequeños de sus ventas en el mercado interno. Esta situación contrasta con los precios aplicados a las exportaciones y, en concreto, al mercado europeo. En términos medios, en 2000, los precios para el gas exportado fueron de 93 euros, mientras que en 2006 fueron de 162 y en 2008 de unos 248 euros. Es decir, los precios de venta al exterior fueron más de tres veces superiores a los internos y en 2008 casi llegaron a quintuplicarse. En estas condiciones de dualidad de precios, una particularidad del gas ruso es que con el 20

por ciento del gas producido, que se destina a la Unión Europea, se financian las ventas realizadas en el interior o, al menos parte de las actividades internas, así como las de inversión en yacimientos de futura explotación (Spanjer, 2007, y Tarr y Thomson, 2004).

Uno de los aspectos sobre el que se ha planteado muchas cuestiones es acerca de la tendencia prevista de producción de gas en Rusia. De hecho, en la misma Estrategia energética hasta el año 2020 se apunta que las previsiones de producción de gas dependerán de la demanda de gas, de la regulación de los precios por parte del Estado, del volumen de recursos invertidos, de la dinámica de liberalización del mercado interno ruso y del ritmo de reforma del sector *gasista*.

Una parte sustancial de los condicionantes apuntados conduce a la reforma en los precios del gas del mercado interior. De hecho, a finales de 2006 se estableció una reforma a este respecto, cuyo objetivo era equiparar los precios internos a los internacionales, además de que aquellos cubriesen los costes del gas desde su extracción hasta su llegada al consumidor. La aplicación de la reforma transformaría al mercado interno en aceptablemente rentable y generador de recursos que las empresas *gasistas* podrían utilizar para realizar inversiones en la extracción de esta fuente de energía. Esta consideración es especialmente relevante para las compañías independientes, que no tienen acceso a exportar su producción. Por añadidura, el aumento en los precios del gas para el mercado interno frenaría su demanda, al tiempo que estimularía la introducción de mecanismos para aprovechar mejor la energía. Ambas dimensiones conducirían hacia una reducción en la demanda interna, que presionaría en menor medida sobre las necesidades de incrementar la producción de gas, al tiempo que libraría recursos susceptibles de ser exportados (Grigorev, 2007, y Sagen y Tsygankova, 2008). Debe señalarse adicionalmente que las subidas de precios deberán considerar que el futuro gas procederá de yacimientos en los que las condiciones de explotación serán más difíciles y caras. Por este motivo, los incrementos en los precios deberán ser claramente superiores al nivel necesario actualmente para cubrir los costes y las inversiones en curso.

En consonancia con la reforma diseñada, los precios del gas deberían subir en 2007 un 15 por ciento, mientras que en los tres siguientes años el aumento en los precios debería ser aproximadamente de un 25 por ciento cada año (Locatelli, 2008a). Esta reforma se está cumpliendo en términos nominales, durante el período 2007-2009, pero descontando el efecto inflación los aumentos en los precios reales parece que han subido poco. A este incremento habría que descontar las subvenciones aplicadas, además de los impagos por falta de control en los mecanismos de cobro de las facturas del gas (y de la electricidad). Es decir, la reforma en el mercado a través de incrementos sustanciales en los precios parece que no

tendrá lugar en los próximos años. En estas circunstancias, la demanda interna de gas no es previsible que se contraiga, y constituirá una fuente de tensiones con la extracción de gas, al tiempo que se convierte en una fuente de competencia nada desdeñable sobre los recursos susceptibles de ser exportados. Adicionalmente, en cuanto al precio, este mercado será muy poco rentable, y de ello derivarán dos efectos destacados. En primer lugar, que Gazprom contará con pocos incentivos o simplemente no tendrán los suficientes recursos para realizar proyectos de inversión para ampliar sus explotaciones futuras. En segundo lugar, seguirá siendo estratégico el flujo de gas exportado y, en especial el destinado a Europa, puesto que constituye el apoyo imprescindible para subvencionar al mercado interior, al tiempo que representa la fuente de financiación de las inversiones que se hagan, en particular en aquello que atañe a Gazprom.

En términos productivos, los tres yacimientos gigantes que tradicionalmente han estado abasteciendo a la demanda contraerán su volumen de producción. Esto se puede compensar con la puesta en funcionamiento de varios yacimientos de menor envergadura, que se encuentran cercanos a los anteriores. En este sentido, para conducir el gas hasta las zonas de demanda se aprovecharán las infraestructuras ya existentes construidas para explotar los tres yacimientos gigantes. Es decir, los costes adicionales no serán excesivos. Sin embargo, la consolidación de la producción a mediados de la década próxima requiere la entrada en funcionamiento de otros yacimientos de mayor tamaño, como el de Shtockman o el de Bovanenko. Sin embargo, las condiciones de extracción del gas en ambos yacimientos son muy difíciles y costosas, al tiempo que requieren crear unas infraestructuras nuevas para transportar el gas, lo que encarecerá más aún el coste del gas obtenido en estas nuevas zonas. Es decir, mantener la producción exigirá inversiones crecientes y, aumentarla, significará inversiones aún mayores. La Agencia Internacional de Energía estima que Gazprom deberá invertir anualmente unos once mil millones de dólares anuales para el mantenimiento de infraestructuras actuales y abrir nuevos yacimientos (IEA-OECD, 2006: 29). La compañía rusa está gastando aproximadamente esa cantidad, pero la destina a otros proyectos, como la construcción del nuevo gasoducto del Norte de Europa o la compra de la compañía petrolera rusa Sibneft. Así pues, las inversiones acometidas en nuevos yacimientos se ven comprometidas por la estrategia de diversificación de Gazprom. Si a estas condiciones se les añade la caída en el precio del gas a partir de la segunda mitad de 2008, que se extenderá algunos años más, la situación previsible estará caracterizada por un insuficiente volumen de inversiones que puede conducir a un estrangulamiento en la producción en un futuro cercano.

Cabe destacar a este respecto que Gazprom ha operado un cambio de conducta recientemente en el sentido de permitir o incluso estimular la participa-

ción de empresas extranjeras en las explotaciones de los nuevos yacimientos. Dos casos muestran este cambio. En primer lugar, en la explotación del yacimiento de Shtockman, en el que ha permitido la entrada de la empresa francesa Total y la noruega Statoil. De esta manera, ha conseguido no solo recursos adicionales, sino también tecnología para explotaciones en el Ártico (y en aguas profundas), de la que no disponía. En segundo lugar, se encuentra el acuerdo llevado a cabo con E.ON para su participación en el yacimiento de Yuzhno-russkoe.

Un factor adicional que condiciona la producción rusa con destino a Europa es la capacidad de diversificar sus mercados de venta. Esto se puede conseguir a través del acrecentamiento de las ventas en Extremo Oriente o mediante la introducción de flexibilidad en sus mecanismos de exportación, es decir, a través del aumento en sus ventas de gas líquido.

Respecto a la primera dimensión apuntada, un factor esencial es el comportamiento de China. Como este país es reticente a pagar precios elevados por el gas, debido a que tiene como combustible alternativo el carbón, mucho más barato y del que posee grandes reservas, entonces se pone en entredicho la demanda de China y, por consiguiente, la explotación en un futuro más o menos cercano de los grandes yacimientos de Siberia oriental. En una situación similar se encuentra la construcción del gasoducto Altai que uniría los yacimientos ya en funcionamiento o que se pretende iniciar de forma inmediata situados en Siberia occidental con China (Dobretsov y otros, 2007; Finon y Locatelli, 2008).

La segunda vía de diversificación es a través de la ampliación de sus ventas en forma de gas licuado. A este respecto, debe señalarse que la primera planta relevante de licuefacción de gas entró en funcionamiento en Sajalín a principios de 2009, mientras que la siguiente se pretende crear en los alrededores del yacimiento de Shtockman, pero no antes de 2014. Así pues, se suscitan interrogantes sobre las posibilidades rusas de diversificar sus mercados utilizando mecanismos de venta alternativos a los gasoductos (Milov y otros, 2006: 299).

Así pues, ni por diversificación de áreas geográficas, ni por extensión en las formas de ventas (gas líquido), parece que Rusia podrá encontrar mercados alternativos al europeo de suficiente tamaño y solvencia financiera en la década que viene. No obstante, debe señalarse que ciertas incertidumbres se ciernen a partir de 2020, debido al incremento en las ventas de gas licuado y a la autonomía en la formación de los precios del gas.

### **Unión Europea-Rusia y sus interrelaciones ‘gasistas’**

A la luz de las argumentaciones de las autoridades de la Unión Europea se plantea que existe una debilidad respecto a Rusia debido a la gran dependencia energética respecto a este país, que se acrecentará con el proceso de reforma en el sector energético europeo. En estas condiciones se argumenta que Rusia puede

imponer precios del gas a la Unión Europea o realizar cortes en el suministro con el objetivo de presionar políticamente. Sin embargo, esta visión obvia el significado de las ventas de gas para Rusia. El mercado interior de gas tiene un nivel de rentabilidad muy bajo en Rusia y se requiere de los beneficios aportados desde las ventas en el extranjero para garantizar la estabilidad en el mercado gasista interno, realizar las inversiones que generen la producción futura y nutrir al presupuesto público con una partida sustancial de ingresos. Como no es previsible que las reformas en el sector *gasista* interior sean muy profundas, la situación que se acaba de apuntar se reproducirá. Así pues, resulta discutible que Rusia pueda presionar a la Unión Europea mediante la instrumentalización de las exportaciones de gas, debido a que estas constituyen un factor estratégico de estabilidad interna para el país (Goldthau, 2008).

Además, esta situación no es previsible que cambie en los próximos quince años debido a que las mayores prioridades rusas son la construcción del gasoducto del Norte de Europa y del gasoducto del Sur de Europa, que unirían directamente Rusia con Europa. Es decir, que con la aparición de estas infraestructuras las autoridades rusas reconocen a Europa como su principal mercado actual, pero especialmente futuro (Fernández, 2008: 367).

Otro componente relevante del riesgo geopolítico consiste en que Gazprom adquiera redes de transporte o de provisión directa a los consumidores en la Unión Europea, de manera que constituya una integración vertical, con la que pueda presionar a los respectivos gobiernos o imponer precios o cantidades en los mercados consumidores. En este sentido, se subraya un interés político de Gazprom cuando pretende acceder a los mercados europeos. Este tipo de concepción se sustenta en que el mercado de energía europeo esté poco regulado y en que Gazprom cuente con una situación monopolista. La primera hipótesis se aleja absolutamente de la realidad y, de hecho, la capacidad de actuar de las empresas en el sector de la energía depende esencialmente de una prolija regulación realizada por los gobiernos y las comisiones nacionales reguladoras de cada país, así como por la propia Unión Europea. Por supuesto, la regulación limitaría que una empresa ejerciese un monopolio sobre un mercado nacional y sería previsible que, en caso de que Gazprom tratase de conseguir una situación privilegiada de estas características, entonces las regulaciones adicionales se extendieran visiblemente. En caso de que existan más competidores, entonces Gazprom constituiría un agente más, lo que aumentaría la competencia interna y presionaría hacia la reducción en los precios. En efecto, en este caso los consumidores se verían beneficiados con precios menores, mientras que a las empresas *gasistas* les podrían caer los beneficios, pero en cualquier caso los mercados *gasistas* serían más competitivos.

Con estos argumentos de trasfondo, el riesgo geopolítico tiene tendencia a quedar en un segundo plano. Pero ¿entonces pueden aparecer problemas energéticos entre la Unión Europea y Rusia? La respuesta es que sí, pero pueden proceder de otras vías. En concreto, de que Rusia no tenga capacidad para cumplir los contratos firmados. Esta situación conduce al elemento estratégico de la realización de inversiones en los futuros yacimientos que deberán alimentar a la demanda europea. Un primer elemento que se ha de considerar es que los nuevos yacimientos se encuentran en zonas de difícil extracción que requerirán inversiones sustancialmente mayores a las realizadas hasta el momento. Un segundo componente pone de manifiesto que las reformas en el mercado interno ruso supondrán que los precios internos no subirán sustancialmente, de manera que los beneficios que se puedan extraer serán modestos. Por tanto, el interés de Gazprom por acometer proyectos de inversión será relativamente liviano. Esta situación se ha agravado con la caída a partir de 2008 en los precios del gas.

En esta encrucijada se agrava el dilema de Gazprom de invertir sus recursos financieros en el interior de Rusia o en el exterior. En particular, a la realización de inversiones para ampliar sus capacidades productivas internas le surge la competencia de comprar entidades vinculadas con el sector *gasista* en Europa (Locatelli, 2006). Por ejemplo, en 2006, Gazprom vendió en la frontera europea el gas a unos 200-230 euros los mil metros cúbicos de gas, mientras que los clientes europeos pagaron ese mismo año unos 400-450 euros los mil metros cúbicos de gas, es decir, unas diez veces más caro que los consumidores rusos (Finon y Locatelli, 2008: 434). A pesar de que esta diferencia debe absorber los costes de transporte, almacenaje y distribución, aún queda un amplio margen de beneficio, tanto si se opera en las actividades mencionadas como en las de venta directa a los consumidores. Por tanto, los intentos de entrada en la distribución al por menor o en la del transporte le generan a Gazprom unas expectativas de rentabilidad nada desdeñables que compiten con las actividades de explotación de gas (Bashmakov, 2007:110). Debe destacarse que esta diversificación en los negocios de Gazprom está suscitando serias fricciones con la Unión Europea, máxime si se considera el proceso de liberalización interna europea que se está acometiendo en el sector *gasista*. Parte de los conflictos se sintetizan en la acusación de que Gazprom persigue objetivos políticos con la adquisición/creación de entidades *gasistas* europeas constituyendo esta una dimensión adicional del mencionado riesgo geopolítico.

Por tanto, la maximización de los beneficios por parte de Gazprom le puede conducir a prestar menos atención a las nuevas inversiones, situación que puede generar problemas de suministro a Europa en la década que viene. En estas circunstancias aparece un conflicto de intereses entre la Unión Europea y Gazprom

por razones comerciales (Simonov, 2006: 157). Así pues, el riesgo geopolítico pierde importancia y surge un riesgo de insuficiencia de inversiones en Rusia. Este hecho debería reorientar el diseño de la política energética europea, en su faceta de seguridad de suministro (Solanko y Sutela, 2009).

## Conclusiones

La situación interna de Rusia en el ámbito del gas no se puede obviar al analizar las relaciones *gasistas* entre ese país y la Unión Europea. Aunque las exportaciones de Rusia a la Unión Europea ascienden a un 20 por ciento de su producción total, la mayor parte de los beneficios de Gazprom se obtienen por esta vía. En los próximos años es previsible que suban los precios del gas en el mercado interno ruso, pero también es cierto que ascenderán los costes de explotación en los nuevos yacimientos de gas que se pondrán en funcionamiento. Por tanto, es previsible que el mercado interno ruso siga generando un volumen marginal de beneficios a Gazprom y las exportaciones a la Unión Europea continúen siendo estratégicas para la compañía *gasista* y para Rusia. Por añadidura, los grandes proyectos prioritarios que están siendo afrontados por Gazprom son las construcciones de los gasoductos del Norte y del Sur de Europa, que vinculan mucho más a Rusia con sus clientes europeos.

Si Rusia hiciese un uso político del gas contra la Unión Europea limitaría la obtención de beneficios para Gazprom y quebraría la pieza esencial para subvencionar los precios del gas internos. Adicionalmente, como Gazprom y el gas en general constituye uno de los grandes contribuyentes al presupuesto del Estado, el uso político del gas y las alteraciones en los ingresos que eso supondría afectaría muy negativamente al erario público, y constituiría una fuente adicional de inestabilidad interna. Por su parte, la instrumentalización política del gas generaría a largo plazo un proceso de sustitución del gas en la Unión Europea, tal como ocurrió en los años setenta y ochenta del siglo xx en cuanto al petróleo, que limitaría a largo plazo las fuentes de financiación futuras, lo que se transformaría en un factor de gran riesgo para Rusia.

Así pues, el riesgo geopolítico para la Unión Europea al que se ha aludido con cierta intensidad es muy cuestionable que se llegue a materializar. La mayor amenaza corresponde a que no se obtengan cantidades suficientes de gas en Rusia que acompañen al aumento en la demanda. Esto está motivado por la ausencia de inversiones. Dado que el principal proveedor de gas a la Unión Europea es Rusia, el reto de garantizar el abastecimiento a la Unión Europea pasa por establecer los mecanismos para estimular las inversiones en los yacimientos de gas rusos. Aquello que llama la atención es que esta política es la que están llevando a cabo los países que más gas compran a Rusia (Alemania, Francia e Italia) con las críticas de la Comisión Europea y de otros países miembros de la

Unión Europea. Así pues, la política energética de la Unión Europea debe abandonar el riesgo geopolítico que supone Rusia como criterio orientador de la construcción del concepto de seguridad de abastecimiento en la política energética europea.

## Bibliografía

- BASHMAKOV, I. (2007): «Energetika Rossii: Strategiya inertsii ili strategiya effektivnosti?» (Energía en Rusia: Estrategia de inercia o estrategia de efectividad), *Voprosy ekonomiki*, (8), 104-122 (en ruso).
- BENAVIDES, P. (2006): «La Comisión y la política energética», *Información comercial española*, (831), 269-283.
- COMISIÓN DE LAS COMUNIDADES EUROPEAS (CCE) (2006): *Estrategia europea para una energía sostenible competitiva y segura*. COM(2006)105 final, 8 de marzo. Bruselas.
- (2007): *Una política energética para Europa*. Comunicación de la Comisión al Consejo Europeo y al Parlamento Europeo, COM(2007)1, 10 de enero. Bruselas
- (2008): *Plan de actuación de la Unión Europea en pro de la seguridad y la solidaridad en el sector de la energía. Segunda revisión estratégica del sector de la energía*. Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones. COM(2008)781, 13 de noviembre. Bruselas.
- CONSEJO DE LA UNIÓN EUROPEA (2007): *Conclusiones de la Presidencia. Consejo Europeo de Bruselas, 8 y 9 de marzo de 2007*. 2 de mayo. Bruselas.
- DOBRETSOV, N.L., Kontorovich, A.E., Molodin, A.E., Borisenko, A.S. y Korzhuvaev, A.G. (2007): «Stroitel'stvo magistral'nogo gasoprovoda <Altay>» (Construcción del gasoducto principal <Altay>). *EKO*, (2): 45-50 (en ruso).
- «Energeticheskaya strategiya Rossii na period do 2020 goda» (Estrategia energética de Rusia hasta el año 2020). *Rasporyazhenie Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii*, n.º.1234-r del 28 de agosto de 2003, (en ruso)
- ENERGY CHARTER SECRETARIAT (2004): *The Energy Charter Treaty and Related Documents. A Legal Framework for International Energy Cooperation*. [http://www.encharter.org/fileadmin/user\\_upload/document/EN.pdf](http://www.encharter.org/fileadmin/user_upload/document/EN.pdf)
- EUROPEAN COMMISSION (2001): *Towards A European Strategy for the Security of the Energy Supply. Green Paper*. European Communities, Brussels.

- FERNÁNDEZ, R. (2008): «Gas y Gazprom: Situación interna y estrategia internacional de Rusia» en Palazuelos (dir.): *El petróleo y el gas en la geoestrategia mundial*. Akal, Madrid: 347-377.
- FINON, D. y Locatelli, C. (2008): «Russian and European Gas Interdependence: Could Contractual Trade Channel Geopolitics?», *Energy Policy*, 36: 423-442.
- GOLDTHAU, A. (2008): «Rhetoric versus Reality: Russian Threats to European Energy Supply», *Energy Policy*, 36: 686-692.
- GRIGORYEV, Yu. (2007): «Today or Not Today: Deregulating the Russian Gas Sector», *Energy Policy*, 35: 3036-3045.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY-Organisation for Economic Co-operation and Development (IEA-OECD) (2006b): *Ukraine. Energy Policy Review*, 2006. París.
- LOCATELLI, C. (2006): «Les stratégies d'internationalisation de Gazprom, enjeu de la constitution d'une grande compagnie d'Etat russe». *Le courrier des pays de l'Est*, (1061): 32-46.
- (2008): «Russian and Caspian Hydrocarbons: Energy Supply Stakes for the European Union». *Cahier de Recherche*, núm. 13bis.
- MARÍN, J.M. (2007): «La política energética de la UE: desafío pendiente y urgente». *Cuadernos de Información Económica*, (198): 33-40.
- MILOV, V., Coburn, Leonard L. y Danchenko, I. (2006): «Russia's Energy Policy, 1992-2005». *Eurasian Geography and Economics*, 47 (3): 285-313.
- SAGEN, E.Lund y Tsygankova, M. (2008): «Russian Natural Gas Exports-Will Russian Gas Price Reforms Improve the European Security of Supply?», *Energy Policy*, 36: 867-880.
- SÁNCHEZ, A. (2006): «Gazprom ¿un instrumento de política interior y exterior rusas?» en Sánchez, A.: *Gas y petróleo en Rusia: Impacto interno y proyección exterior*. Universitat de València, Valencia: 25-39.
- (2008a): «La dependencia energética europea de Rusia», *Información comercial española*, (842): 97-109.
- (2008b): «La política energética rusa en el siglo XXI» en Jordán, J.M. y Sánchez, A.: *Desafíos actuales de la política económica. Un enfoque estructural y social*. Thomson-Cívitas, Madrid: 259-280.
- SIMONOV, K. (2006): *Energeticheskaya sverjderzhava* (Superpotencia energética). Algoritm, Moscú (en ruso).
- SOLANKO, L. y Sutela, P. (2009): «Too Much or Too Little Russian Gas to Europe?», *Eurasian Geography and Economics*, 50 (1): 58-74.
- SPANJER, A. (2007): «Russian Gas Price Reform and the EU-Russia Gas Relationship: Incentives, Consequences and European Security of Supply». *Energy Policy*, 35: 2889-2898.
- TARR, David G. y Thomson, Peter D. (2004): «The Merits of Dual Pricing of Russian Natural Gas», *World Economy*, 27 (8): 1173-1194.



# **La política energética en la Comunidad Valenciana: hacia un modelo energético sostenible**

ANTONIO CEJALVO LAPEÑA

Director general de Energía de la Generalitat Valenciana  
Ingeniero superior Industrial por la Universidad Politécnica de Valencia

## **Consideraciones previas**

Desde el siglo XVIII se ha producido un debate sobre lo que se debe de entender como *desarrollo* y pese a ello, su significado, en ocasiones, todavía es confuso.

Si se hace una mirada histórica, ya Adam Smith (1723-1790) en su obra *La riqueza de las naciones* escribe que la clave del bienestar social está en el crecimiento económico, y que este se potencia a través de la división del trabajo y la extensión de los mercados. Smith predecía una era de prosperidad sin límite, pero al no tener en cuenta en su análisis los condicionantes que podrían suponer en este la población y los recursos, pronto aparecieron análisis nuevos que ponían en duda sus planteamientos sobre el progreso sin fin.

Thomas Robert Malthus (1766-1834) realiza un análisis más pesimista del desarrollo en su *Ensayo sobre el principio de la población*. En él describe el siguiente principio: la población humana crece en progresión geométrica, mientras que los medios de subsistencia lo hacen en progresión aritmética (maltusianismo). Según este principio, se llega a un punto en el que los recursos serán insuficientes para abastecer a la población (catástrofe maltusiana).

Otros pensadores introducen, asimismo, dudas sobre el análisis de crecimiento sin límite de Smith. Los más importantes son: David Ricardo (1722-1823) que en su obra *Principios de economía política y tribulación* expone sus dudas sobre un crecimiento sin límites, y John Stuart Mills que, mediante una concepción en al análisis similar a la de David Ricardo, determinó que el crecimiento económico se detendría, y la sociedad entraría en un estado estacionario. Este se produciría por diversos motivos: los progresos técnicos, la ley de rendimientos decrecientes, la acumulación de capital y el incremento de la competencia de las empresas.

Todos estos pensadores, muy influenciados por la Revolución industrial, emplearon criterios fundamentalmente económicos. A lo largo del siglo XIX, se fueron introduciendo correcciones a este modelo de desarrollo, debido a las preocupaciones por la cuestión social, y aparece el concepto de desarrollo «económico y social»

Pero no es hasta el siglo XX cuando, de una forma clara y precisa, se cuestiona el modelo de desarrollo meramente económico, y se da la voz de alarma sobre los límites de físicos de la Tierra.

Algunos economistas y pensadores introducen conceptos novedosos en el análisis del desarrollo. No obstante, el primer hito riguroso y global de esta preocupación sobre el modelo integral del desarrollo se produce en 1972 cuando el Club de Roma (organización formada en 1968 por prominentes personalidades de treinta países, que busca la promoción de un crecimiento económico estable y sostenible de la humanidad) publica el primer informe de trabajo *Los límites del crecimiento*; en él el autor Dennis Meadows aventuraba un futuro muy oscuro para el planeta si no se ponían límites al estilo de vida imperante: desarrollismo, consumismo ilimitado, acumulación de riquezas por parte de unos pocos países industrializados. Las conclusiones finales de dicho informe se resumen en:

1. De seguirse con la tendencia actual de crecimiento de población, industrialización, contaminación, producción de alimentos y explotación de recursos en cien años el planeta sobrepasará sus límites y habrá una declinación súbita e incontrolable de la población y la capacidad industrial.
2. Es posible alterar esa tendencia y lograr un equilibrio en el que cada persona en el planeta pueda satisfacer sus necesidades básicas.
3. Cuanto antes se inicie el cambio mas asegurado tendremos el éxito.

Esta voz de alarma sobre los retos a los que se enfrentaba la humanidad fomentó que esta problemática fuera afrontada por diferentes foros y conferencias de índole internacional, algunos de ellos fueron:

- La Conferencia de las Naciones Unidas en Estocolmo 1972 sobre el Medio Ambiente Humano. Las deliberaciones de la conferencia se desarrollaron en tres comités:
  - Sobre las necesidades sociales y culturales de planificar la protección ambiental.
  - Sobre los recursos naturales.
  - Sobre los medios que se deberán emplear internacionalmente para luchar contra la contaminación.

Fruto de los trabajos de esta conferencia es la llamada «Declaración de Estocolmo», y la creación del PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente). Asimismo, se publicó, con carácter oficioso, la obra *Una sola Tierra: El cuidado y conservación de un pequeño planeta*.

- La Declaración de Nairobi. En el año de 1982, se llevó a cabo en Nairobi, la conmemoración de la Declaración de Estocolmo. En ella se ratifica la plena vigencia de los principios de la Declaración de Estocolmo y abre el camino y nuevas perspectivas a la problemática ambiental.
- Otras conferencias. También incidieron en el tema del modelo del desarrollo otras conferencias como son: Comisión Brandt sobre cuestiones Norte-Sur, Comisión Palmer sobre cuestiones de Seguridad y Desarme, etc.

Ahora bien, por su capital importancia hay que destacar, por encima de los anteriores estudios, el llamado Informe Brundtland (1987). Este fue elaborado por una comisión de técnicos de distintas naciones para la Comisión de Medio Ambiente y Desarrollo de Naciones Unidas, creada en 1983. Dicha comisión estaba encabezada por la doctora Gro Harlem Brundtland y el informe originalmente se llamó «Nuestro futuro común». En el mismo se utilizaba, por primera vez, el término internacionalmente conocido como *desarrollo sostenible*, *sustentable* o *perdurable*. Y se definió como: «Aquel desarrollo que satisface las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las del futuro, para atender sus propias necesidades».

El informe también establece los límites de los recursos naturales y sugiere tres reglas básicas en relación con los ritmos del desarrollo sostenible:

1. Ningún recurso renovable deberá utilizarse a un ritmo superior al de su generación.
2. Ningún contaminante deberá producirse a un ritmo superior al que pueda ser reciclado, neutralizado o absorbido por el medio ambiente.
3. Ningún recurso no renovable deberá aprovecharse a mayor velocidad de la necesaria para sustituirlo por un recurso renovable utilizado de manera sostenible.

Me gustaría recordar que las conclusiones del IV Informe de Evaluación de Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (ipcc), reunido en Valencia en noviembre de 2007, apuntaban a la actividad humana como un elemento claramente significativo en el proceso de calentamiento global.

Esta amenaza, así como su potencial impacto en la Comunidad Valenciana, dada su vulnerabilidad por la situación geográfica, hizo que la Generalitat iniciara trabajos que pudieran definir los objetivos estratégicos y acciones concretas para evitar o al menos minimizar sus efectos. Estos trabajos se concretaron en el documento «Estrategia valenciana ante el cambio climático 2008-2012».

Este documento se desarrolló en el marco de la Comisión de Coordinación de Políticas de Prevención ante el Cambio Climático, en el que han participado diez departamentos del Consell con responsabilidad en temas vinculados al cambio climático como la energía, el transporte, las obras públicas, la vivienda, entre otros.

### Política energética de la Comunidad Valenciana

En este sentido, la política energética que está desarrollando la Generalitat parte del convencimiento de que constituye una herramienta fundamental para combatir el cambio climático. Y precisamente este convencimiento ha marcado todas las acciones y estrategias que desde la Dirección General de Energía estamos llevando a cabo.

Así pues, la política energética de la Comunidad Valenciana, como no podría ser de otra manera, se asienta en principios que permiten un desarrollo energético sostenible. Para acometer este objetivo planteamos un modelo energético propio, coincidente en su filosofía con la política energética común en los ámbitos europeo y nacional. Este modelo tiene, junto a factores como la seguridad del abastecimiento y la eficiencia, la compatibilidad ambiental como uno de sus ejes prioritarios, puesto que la actividad energética supone en torno al 80 por ciento de las emisiones de gases de efecto invernadero.



El modelo sobre el que se asienta la política energética de la Comunidad Valenciana intenta conjugar la compatibilidad ambiental con la seguridad de abastecimiento y la eficiencia económica, los tres pilares donde se asienta el desarrollo sostenible en materia energética. Por ello, desde la Dirección General de Energía se viene propiciando una planificación energética que permita aunar estos tres factores.

### Estructura energética de la Comunidad Valenciana

La estructura de consumo final en la Comunidad Valenciana presenta una menor dependencia de los productos petrolíferos que el conjunto de España, el 51 por ciento frente al 56,6 por ciento. Esta menor dependencia es debida, en parte, a una mayor presencia del gas natural, que supone un 21,6 por ciento de la demanda de energía final en la Comunidad y un 16,4 por ciento en España.

En la demanda de energía final por sectores económicos, se observa una tendencia similar en la Comunidad Valenciana y en España, los sectores industria y transporte son los que porcentualmente más consumen. En España el transporte supone el 37,9 por ciento y el sector industrial el 34,5 por ciento y en la Comunidad Valenciana representan el 39,8 por ciento y el 32,5 por ciento, respectivamente.



En materia de infraestructuras energéticas, las previsiones en generación eléctrica que estamos barajando se basan en mantener un equilibrio entre la capacidad de generación eléctrica y la demanda eléctrica en el ámbito de la Comunidad Valenciana, lo que se ha pasado a denominar «autosuficiencia energética».

En 2007, se alcanzó el equilibrio entre la potencia demandada en la Comunidad Valenciana, cuyo máximo histórico hasta la fecha ha sido de 5.681 MW, y la aportada por el parque generador ubicado en la Comunidad que en diciembre de 2009 era de 7.166 MW, un 26 por ciento superior.

Esta autosuficiencia se ha logrado gracias a las nuevas instalaciones de generación de energía, básicamente centrales de ciclo combinado (en Castellón y Sagunto) y el desarrollo de las energías renovables, principalmente a través del Plan Eólico y la energía solar fotovoltaica. Asimismo, esta apuesta por las centrales de producción de alta eficiencia energética y las energías renovables han permitido que otras infraestructuras mucho más contaminantes entren en operación un menor número de horas o hayan cerrado.



Cabe señalar que el suministro de gas natural a estas centrales de ciclo combinado, así como al resto de sectores económicos, está garantizado en la Comunidad a través de tres entradas de gas natural mediante gasoductos que nos conectan con la red principal y otra por mar gracias a la regasificadora de Sagunto.

De forma análoga, en materia eléctrica, se planifican las necesarias redes de transporte eléctrico que permitan absorber la energía generada y distribuirla a los puntos de consumo. Cabe decir aquí que en estos desarrollos de las redes de transporte de energía se ha previsto y está en ejecución la interconexión de gas y de electricidad con las Islas Baleares que permitirá cubrir sus déficits en esta materia.



## Las energías renovables en la Comunidad Valenciana

En cuanto a las energías renovables, suponen la única posibilidad de autoabastecimiento en energía primaria de la Comunidad Valenciana. Su utilización supone una reducción de los impactos medioambientales que conllevan los procesos de generación y transformación energéticos y esto les confiere un especial interés dentro del diseño de políticas de desarrollo energético sostenible

La presencia de las energías renovables en nuestro territorio se ha incrementado significativamente; pasando de representar el 25 por ciento de la potencia eléctrica total instalada en 2007 a un 35 por ciento a final de 2009. Es decir hemos incrementado en más de diez puntos el parque de generación eléctrica de origen renovable.



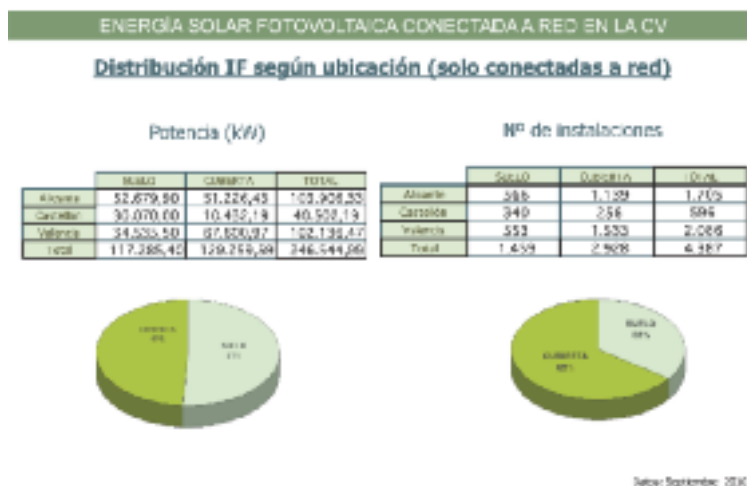
Las perspectivas de evolución en la utilización de las energías renovables para generación eléctrica se centran, básicamente, en el aprovechamiento de la energía eólica, de la energía solar y de la biomasa.

En el área eólica, para optimizar los recursos eólicos de nuestra Comunidad se diseñó y aprobó el Plan Eólico de la Comunidad Valenciana. Como datos relevantes del Plan Eólico cabe indicar que está prevista la instalación de sesenta y siete parques eólicos repartidos en quince zonas a lo largo de todo nuestro territorio, que en total suman una potencia instalada de en torno a 2.300 MW. Estos parques eólicos se producirán del orden de 5.500 GWh al año y suponen una inversión directa en parques de 2.000 millones de euros.

Gracias a su puesta en marcha, se evitará cada año la emisión a la atmósfera de 2,1 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> y un efecto depurador similar al propiciado por ciento cuarenta millones de árboles. Además se evitará el consumo equivalente a diez millones de millones de barriles de petróleo.



Además, la Generalitat ha favorecido un desarrollo de la energía solar fotovoltaica muy equilibrado entre las instalaciones realizadas en suelo y las construidas sobre cubiertas de edificios. Este modelo nos diferencia de la mayoría de las regiones españolas, donde han primado las instalaciones realizadas en suelo, y nos posiciona en primer lugar a escala nacional en cuanto a potencia instalada sobre cubiertas de edificios. Concretamente, de los 231 MW, un 51 por ciento (117 MW) se encuentran ubicados en suelo y un 49 por ciento (114 MW) sobre cubiertas de edificios, tanto de carácter industrial, como residencial y administrativo.



Respecto a la biomasa, la materia orgánica susceptible de aprovechamiento energético, contamos con un total de quince plantas de producción de energía eléctrica y una potencia total de 16 MW, que producen 128 millones de kilovatios hora al año. Estas plantas permiten eliminar los residuos procedentes de la depuración de aguas, residuos sólidos urbanos, ganaderos, agroalimentarios y forestales. Precisamente, en la Comunidad se encuentra ubicada la planta de biomasa más grande de España empleando tecnología de gasificación, cuya construcción ha sido apoyada por la Generalitat a través de la Agencia Valenciana de la Energía.

Además, contamos con dos plantas de producción de biomasa para usos térmicos y estamos tramitando la construcción de dos grandes plantas de producción eléctrica en la provincia de Valencia.

## Plantas de biomasa en la Comunidad Valenciana

PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA		
Planta	Tipo	Potencia (kW)
E.D.A.R. de Ocho	Biogás Depuradora	620
E.D.A.R. de Piedad del León (Alicante)	Biogás Depuradora	1.080
E.D.A.R. de Alcol	Biogás Depuradora	208
E.D.A.R. de Cerruyent	Biogás Depuradora	335
E.D.A.R. de Pinedo (Valencia)	Biogás Depuradora	1.575
E.D.A.R. de Alcoraya	Biogás Depuradora	330
E.D.A.R. de Sagunto	Biogás Depuradora	380
INVI-Tiñi Huesca Blanca (Sociedad de Tiñi)	Bogás Vertedero de RSU	2.620
INUGA Fontanet (Alicante)	Bogás Vertedero de RSU	1.064
DAQSA - AGROVERT (Azuñara)	Fecidos agrícolas (casaca de arroz)	2.200
Fuente Sacra Melón (Pinos)	Fecidos agrícolas (casaca de almendra)	0.343
BAT San Ramón (Requena)	Fecidos agrícolas (maíz)	500
TRAMAVI (Proposito)	Fecidos agrícolas (maíz)	800
Inversiones Sotobonera Molis (Gúrdia)	Residuos forestales	1.688
Nº de Plantas: 14	Total:	16.258

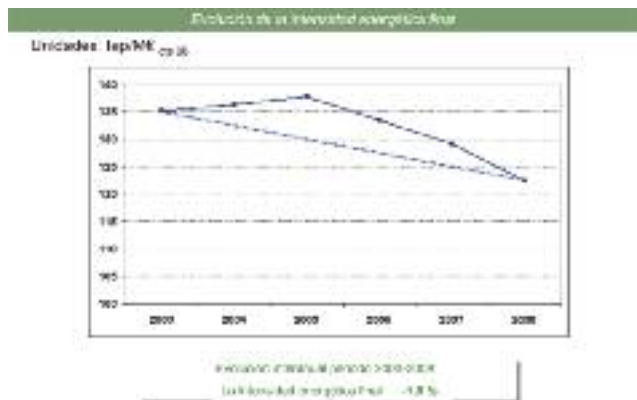
RECOGIDA, TRATAMIENTO Y PROCESADO	
Planta	Tipo
TRAMISA (Requena)	Recogida y astillado
NATURFEC (Alcoraya)	Fabricación de pellets

## Ahorro y eficiencia energética en la Comunidad

Dentro de la política energética de la Generalitat, el impulso al ahorro y la eficiencia energética tiene un objetivo claro: la disminución de los consumos energéticos en todos los sectores de la sociedad, de acuerdo con los compromisos europeos adquiridos en la lucha contra el cambio climático.

Esta promoción del ahorro y la eficiencia energética también tiene una clara voluntad de concienciación de la opinión pública sobre la necesidad de optimizar y reducir el consumo de energía, sin que por ello los ciudadanos deban de renunciar a su nivel de confort. En concreto, las actuaciones en ahorro y eficiencia que realiza la Conselleria de Infraestructuras y Transporte, a través de la AVEN, se engloban dentro de las medidas propuestas en el Plan de Ahorro y Eficiencia Energética.

Este plan, de marzo de 2003, tiene como objetivo fundamental reducir la intensidad energética de la Comunidad Valenciana, es decir la cantidad de energía consumida necesaria para producir cada unidad de PIB, en 1,1 por ciento interanual desde 2003 hasta el año 2010.



Las actuaciones más importantes en materia de ahorro y eficiencia energética se engloban dentro del Programa «Ahorra con Energía», que está dirigido a todos los sectores de la sociedad: el sector del transporte, responsable del 40 por ciento del consumo final de energía, la industria, responsable del 30 por ciento, el sector residencial, responsable del 17 por ciento, el sector terciario, responsable del 9 por ciento, y el sector agrícola que consume el 4 por ciento de la energía final.

En el sector industrial, estamos apoyando la realización de auditorías energéticas, inversiones en medidas de ahorro, fomento de la cogeneración, investigación energética y diversificación hacia combustibles más limpios. En el sector de la edificación, estamos respaldando económicamente aquellos proyectos que contemplan la rehabilitación energética de estos, la mejora de la eficiencia energética en la iluminación interior, la envolvente e instalaciones térmicas, así como la construcción de edificios con alta calificación energética.

También estamos potenciando la mejora de la eficiencia energética en los ayuntamientos y municipios de la Comunidad, a través de ayudas para mejorar la eficiencia de los alumbrados públicos, la introducción de la tecnología Led en las redes semafóricas y mejoras energéticas en instalaciones de depuración de aguas.

Para mejorar la eficiencia en el sector transporte, desde la AVEN estamos fomentando la movilidad sostenible, mediante incentivos a los ayuntamientos y grandes centros que atraen la movilidad para que lleven a cabo la elaboración de planes de movilidad urbana sostenible y planes de transporte para empresas, estudios que tienen como objetivo la implantación de modos de transportes que hagan compatibles crecimiento económico y defensa del medio ambiente. Asimismo, se apoya la implantación de las medidas de ahorro que se detectan en dichos estudios. La otra gran línea de actuación dentro del sector transporte es el fomento de los sistemas de gestión de flotas e impulso combustibles alternativos, con ayudas a las inversiones en sistemas de *hardware* y *software* de gestión de combustible y planificación de rutas en las flotas de vehículos industriales, a la renovación de flotas por otras que utilicen combustibles alternativos, y a la implantación de estaciones de recarga eléctrica y gas.

Para favorecer las medidas de ahorro en el sector residencial se están desarrollando una serie de planes Renove. Estos tienen como objetivo la implantación en la Comunidad de equipamiento doméstico de alta eficiencia energética incorporando un incentivo económico que anime al comprador a la adquisición de estos equipos que puedan sustituir a los equipos de baja eficiencia.

Fruto, entre otros motivos, de estas medidas emprendidas por la AVEN, la eficiencia energética en la Comunidad Valenciana ha mejorado un 12 por ciento en los últimos tres años.

## PROGRAMAS AYUDAS A LA EFICIENCIA ENERGÉTICA

ACTUACIÓN	PRESUPUESTO
FOMENTO DE LA INVESTIGACIÓN ENERGÉTICA	350.000 €
AYUDAS SECTOR INDUSTRIAL, EDIFICACIÓN, SERVICIOS PÚBLICOS, C. REGANTES Y COGENERACIÓN	8.150.400 €
AYUDAS AL SECTOR TRANSPORTE	4.400.000 €
PLANES RENOVE DE EFICIENCIA ENERGÉTICA Aire Acondicionado Electrodomésticos Calderas	9.300.000 €
PROGRAMA CO <sub>2</sub> TXE	500.000 €
PROGRAMA MEJORA ENERGÉTICA DE LOS SEMÁFOROS	560.000 €
<b>TOTAL</b>	<b>23.260.400 €</b>

### Conclusiones

La mayor eficiencia energética, la mayor presencia de las energías renovables y el de menos petróleo) ha repercutido en una reducción de los niveles de emisiones de CO<sub>2</sub> en la Comunidad por unidad de PIB y per cápita. Así, en los tres últimos años han disminuido los índices de emisiones de CO<sub>2</sub> por habitante y por unidad de PIB producido en torno al 6 por ciento en ambos casos, con lo que se ha logrado que estos niveles de emisión sean inferiores a la media nacional.

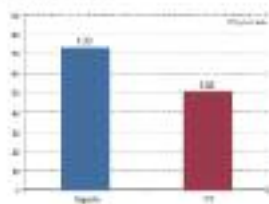
En definitiva, las acciones que estamos desarrollando en materia energética nos han permitido consolidar un modelo energético gracias al cual:

### EMISIONES DE CO<sub>2</sub> PER CÁPITA Y PIB (2008)

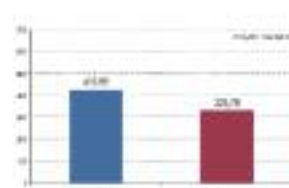
	CO <sub>2</sub> (ton)	Consumo del país (ton)	% de eficiencia
Energía producida (GWh)	102.111	1	2,00%
	48.111	0.400	1,00%
	54.000	0.400	1,10%
<b>TOTAL</b>	<b>114.222</b>	<b>0.800</b>	<b>2,10%</b>
Consumo (GWh)	102.111	1	2,00%
	48.111	0.400	1,00%
	54.000	0.400	1,10%
<b>TOTAL</b>	<b>106.222</b>	<b>0.800</b>	<b>2,10%</b>

(Fuente: datos de la Agencia de Eficiencia Energética de la Comunidad de Madrid)

Emissiones de CO<sub>2</sub> por habitante



Emissiones de CO<sub>2</sub> por PIB



La Comunidad Valenciana ha alcanzado la autosuficiencia eléctrica, puesto que la potencia instalada supera en un 26 por ciento la máxima demandada. Se ha pasado de 4.272 mw en 2006 (sin contar la central de fuel de Castellon) a 7.166 mw a final de 2009. Es decir un incremento del 68 por ciento en la potencia instalada de generación eléctrica para tener un margen de cobertura de un 26 por ciento de más potencia instalada, que la demandada.

Además, el *mix* de generación eléctrica existente en la Comunidad es un 33 por ciento menos contaminante, que el del conjunto de España. Nos hemos dotados de un parque de generación eléctrica un tercio más limpio que la media nacional. De esta manera, mientras que en España se emitieron de media 300 gramos de CO<sub>2</sub> por kilovatio hora producido en 2008, en la Comunidad se emitieron solo 203 gramos de CO<sub>2</sub> por kilovatio hora producido.

En materia de energías renovables, hemos sido pioneros en la adopción de diversas líneas e iniciativas en esta materia. Lo que ha permitido que la presencia de las energías renovables se haya incrementado significativamente; pasando de representar el 25 por ciento de la potencia eléctrica total instalada en 2007 a un 35 por ciento.

La Comunidad ha mejorado su eficiencia energética un 12 por ciento en tres años, es decir, la cantidad de energía necesaria para producir una unidad de PIB, es un 12 por ciento inferior que la que necesitábamos hace tres años, con las repercusiones positivas de mejora de competitividad económica respecto a otras regiones y repercusiones positivas desde el punto de vista ambiental por esta contención del consumo de energía.

Esta evolución ha hecho posible que consumamos un 17 por ciento menos energía por habitante que la media nacional. También en términos de PIB, el consumo de energía es menor, cerca de un 7 por ciento menos.

En resumen, las tecnologías de generación de energía más limpias, un menor consumo de petróleo, más energías renovables, una contención del consumo energético y una mayor eficiencia energética, han hecho posible una reducción importante de los niveles de emisiones de CO<sub>2</sub> en la Comunidad por unidad de PIB y per cápita. Así, en los tres últimos años ha disminuido los índices de emisiones por habitante y por unidad de PIB producido en torno al 6 por ciento en ambos casos, con lo que se ha logrado que los niveles de emisiones de CO<sub>2</sub> sean inferiores a la media nacional. En concreto, en 2008, las emisiones de CO<sub>2</sub> por habitante fueron un 32 por ciento inferior en la Comunidad y las emisiones de CO<sub>2</sub> por PIB en 2008 fueron un 22 por ciento menores que en el resto de España.

Sin duda, estos datos son la mejor prueba de la eficacia de las políticas energéticas de la Generalitat en eficiencia energética, en energías renovables y en desarrollo de infraestructuras, grandes herramientas de lucha contra el cambio climático. Unas líneas que seguiremos impulsando en el futuro.



# Conclusiones



# **Energía nuclear: pasado, presente y futuro**

Martes, 4 de octubre 2011

El Grupo Valenciano del Capítulo Español del Club de Roma, presidido por don Rafael Blasco, debatió en una mesa redonda, y a modo de conclusión del ciclo, el «Pasado, presente y futuro de la energía nuclear».

Moderadora: Mayte Martínez Ávila, responsable de la UDN Utilities & Energía de Levante de Everis.

Participantes: Ángel Pérez-Navarro, catedrático de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Politécnica de Valencia

Manuel Toharia, director científico de la Ciudad de las Artes y las Ciencias de Valencia

Juan José Gómez Cadenas, catedrático de Física Atómica y Nuclear y profesor de Investigación del Consejo Superior de Investigaciones Científicas

José Tomás Ruiz, responsable de Desarrollo de Negocio Internacional de LAINSA y especialista en protección radiológica y el desmantelamiento de instalaciones nucleares y radiactivas.

## **Introducción**

La energía nuclear o energía atómica es la energía que se libera espontánea o artificialmente en las reacciones nucleares. Sin embargo, este término engloba otro significado, el aprovechamiento de dicha energía para otros fines, tales como la obtención de energía eléctrica, térmica y mecánica a partir de reacciones atómicas, y su aplicación, bien sea con fines pacíficos o bélicos.

Es común referirse a la energía nuclear no solo como el resultado de una reacción sino como un concepto más amplio que incluye los conocimientos y técnicas que permiten la utilización de esta energía por parte del ser humano. Existen varias disciplinas y técnicas que tienen como base la energía nuclear: van desde la generación de electricidad en las centrales nucleares hasta las técnicas de análisis de datación arqueológica (arqueometría nuclear), la medicina nuclear usada en los hospitales, etcétera.

Los dos sistemas más investigados y trabajados para la obtención de energía aprovechable a partir de la energía nuclear de forma masiva son la fisión nuclear y la fusión nuclear. La energía nuclear puede transformarse de forma descontrolada, dando lugar al armamento nuclear; o de manera controlada en reactores nucleares en los que se produce energía eléctrica, energía mecánica o ener-

gía térmica. Tanto los materiales usados como el diseño de las instalaciones son completamente diferentes en cada caso.

Estas reacciones se dan en los núcleos de algunos isótopos de ciertos elementos químicos, siendo la más conocida la fisión del uranio-235 ( $^{235}\text{U}$ ), con la que funcionan los reactores nucleares, y la más habitual en la naturaleza, en el interior de las estrellas, la fusión del par deuterio-tritio ( $2\text{H}-3\text{H}$ ). Sin embargo, para producir este tipo de energía aprovechando reacciones nucleares pueden utilizarse otros isótopos de varios elementos químicos, como el torio-232, el plutonio-239, el estroncio-90 o el polonio-210 ( $^{232}\text{Th}$ ,  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{210}\text{Po}$ ; respectivamente).

La búsqueda de un material productor de energía barato, eficaz y relativamente limpio como el torio  $\text{Th-90}$ , puede desbancar a los actuales y ser un empuje para la el resurgir de la producción eléctrica de origen nuclear.

La energía nuclear es una fuente energética que garantiza de manera constante un determinado nivel del abastecimiento eléctrico con precios estables y predecibles, reduce las emisiones de  $\text{CO}_2$  respecto a otros medios de generación y reduce a la vez la dependencia energética exterior. Por el contrario, genera residuos radiactivos peligrosos de larga duración.

### Origen de la energía nuclear

Tras su uso exclusivamente militar, especialmente desarrollado durante la segunda guerra mundial y los años posteriores, se comenzó a plantear la aplicación del conocimiento adquirido a la vida civil. El 20 de diciembre de 1951 fue el primer día que se consiguió generar electricidad con un reactor nuclear (en el reactor estadounidense EBR-I, con una potencia de unos 100 kW), pero no fue hasta 1954 cuando se conectó a la red eléctrica una central nuclear (fue la central nuclear soviética Obninsk, generando 5 MW con solo un 17 por ciento de rendimiento térmico). El primer reactor de fisión comercial fue el Calder Hall en Sellafield, Reino Unido, que se conectó a la red eléctrica en 1956.

Poco después, otros países industrializados siguieron el ejemplo y llevaron a cabo sus propios programas de construcción y explotación de centrales nucleares. La estabilidad económica, el fuerte crecimiento de la demanda eléctrica y sus prometedoras expectativas económicas fueron el motor del desarrollo de esta fuente energética.

El 25 de marzo de 1957 se creó la Comunidad Europea de la Energía Atómica (EURATOM) y ese mismo año se creó el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA). Ambos organismos con la misión, entre otras, de impulsar el uso pacífico de la energía nuclear.

A principios de los años setenta la crisis energética del petróleo fue el impulso que hizo apostar por la energía nuclear dentro de los planes energéticos

de muchos países industrializados como Alemania, Canadá, Italia y Japón. En Francia y en Japón, donde la crisis del petróleo de 1973 fue intensa, creció particularmente, ya que su dependencia del petróleo para la generación eléctrica era muy marcada.

### Accidentes nucleares

Nos referimos con *accidente nuclear* a aquellos sucesos que emiten un determinado nivel de radiación susceptible de perjudicar a la salud pública.

Los accidentes nucleares se clasifican en *accidentes e incidentes* nucleares según la gravedad. Y se incluyen tanto los accidentes nucleares como los accidentes radiactivos. Para entendernos, un accidente nuclear podría ser la avería en un reactor de una central nuclear y un accidente por radiación podría ser el vertido de una fuente de radiación a un río.

A pesar de los accidentes nucleares más conocidos se han producido en centrales nucleares también pueden suceder en otros centros en los que se trabaje con energía nuclear, como hospitales o laboratorios de investigación.

Para determinar la gravedad de un accidente se ha definido una Escala Internacional de Accidentes Nucleares (más conocida por sus siglas en inglés INES).



Los accidentes nucleares más graves anteriores al siglo XXI han sido:

- *Estados Unidos*. El 28 de marzo de 1979 la central nuclear de Three Mile Island (Pensilvania) tuvo un grave accidente nuclear después del primer año de funcionamiento. La mala interpretación de los datos provocó errores muy graves en determinadas decisiones del personal de la central lo que produjo una pérdida de refrigerante y una fusión parcial del núcleo. Aunque el núcleo del reactor nuclear quedó fuertemente dañado tuvo un escape limitado

de productos radiactivos al exterior. El accidente fue clasificado como nivel 5 en la Escala Internacional de Sucesos Nucleares (INES)

- *Unión Soviética*. El 26 de abril de 1986 en la central nuclear de Chernóbil, cerca de Kiev (Ucrania) se produjo el peor accidente de la historia de la energía nuclear por una sucesión de errores humanos en el transcurso de unas pruebas planificadas de rendimiento del reactor realizadas por debajo de las medidas de seguridad recomendadas, lo que produjo una explosión que liberó material radiactivo a la atmósfera, la nube radioactiva se extendió desde Ucrania a Europa alcanzando Estados Unidos y Canadá. Fue clasificado como nivel 7 («accidente nuclear grave») en la Escala INES.
- *España*. Octubre de 1989, tuvo lugar el incidente de la central nuclear de Vandellós I (Tarragona). Un incendio en el generador eléctrico provocó un fallo mecánico, que dio lugar a una inundación de agua de mar de la cava del reactor y la inoperatividad de algunos de los sistemas de seguridad. El incidente fue clasificado como nivel 3 («incidente importante») en la Escala INES, ya que no se produjo escape de productos radiactivos al exterior, ni fue dañado el núcleo del reactor y tampoco hubo contaminación dentro del emplazamiento.
- *Brasil*. El accidente de Goiânia fue un incidente de contaminación radiactiva en el centro de Brasil que ocasionó la muerte a cuatro personas, e hirió a 249 a causa del envenenamiento por radiación. El 13 de septiembre de 1987, una fuente radiactiva médica en desuso fue robada de un hospital abandonado de Goiânia, el objeto era un pequeño dedal radiactivo de cloruro de cesio, insertado en un cilindro de plomo y acero con una ventana de iridio. La fuente giraba libremente y cuando quedaba orientada a la abertura irradiaba a través de la ventana. La fuente fue manipulada por varias personas. Fue clasificado como nivel 5 («accidente con riesgo fuera del emplazamiento») en la Escala INES.
- *Japón*. En septiembre de 1999, ocurrió el accidente nuclear de la planta de tratamiento de combustible de uranio de Tokaimura. Todos los indicios apuntaron a que fue debido a un fallo humano. El accidente se clasificó como nivel 4 según la Escala INES («accidente sin riesgo significativo fuera del emplazamiento»), ya que las cantidades de radiación liberadas al exterior fueron pequeñas, y dentro de los límites establecidos, pero dentro del emplazamiento, los daños producidos en los equipos y barreras biológicas fueron significativos, además de la exposición de los trabajadores.

En 1979 el accidente de Three Mile Island provocó un aumento muy considerable en las medidas de control y de seguridad en las centrales; sin embargo no se detuvo el aumento de capacidad instalada. Pero en 1986 el accidente de Cher-

nóbil, en un reactor RBMK de diseño ruso que no cumplía los requisitos de seguridad que se exigían en occidente, ralentizo dicho crecimiento.

España cuenta con un total de diez instalaciones nucleares ubicadas dentro de su territorio peninsular.



Tiene seis centrales nuclear (Almaraz I y II, Ascó I y II, Cofrentes, Santa María de Garoña, Trillo I y Vandellós II) que forman un total de ocho grupos nucleares, que producen alrededor del 20 por ciento de la electricidad total generada en España. La central nuclear de José Cabrera, más conocida como Zorita, cesó su actividad el 30 de abril de 2006 y en la actualidad está en proceso de desmantelamiento. Por su parte, Vandellós I cesó su actividad en 1989 y desde 2004 se encuentra en fase de latencia (perodo de espera de 25 años hasta que se realice el desmantelamiento completo).

Una fábrica de combustible nuclear en Salamanca (Juzbado). Actualmente exporta la mayor parte de su producción.

Un centro de almacenamiento de residuos radiactivos de baja y media actividad en Córdoba (El Cabril).

En 2010 los ocho reactores nucleares españoles en operación han producido 61.914,26 gwh, una quinta parte de la electricidad, concretamente el 20,21 por ciento. Además, la producción del parque nuclear ha representado más del 41 por ciento de la electricidad libre de emisiones generada en el sistema eléctrico español.

A nivel mundial, los 436 reactores en operación producen el 17 por ciento de la electricidad mundial. A principios de 2010, 56 unidades más se encuentran en construcción en países como China, India, Bulgaria, Japón, Rusia, Corea del Sur, Finlandia o Francia.

A los países emergentes, que tienen que satisfacer la creciente demanda de electricidad, se unen otros como Francia, el país de la Unión Europea más partidario de esta fuente de energía y donde el 78 por ciento de su electricidad es de origen nuclear. El país galo construye un reactor nuclear de nueva generación (EPR) y acaba de anunciar la intención de comenzar la construcción de uno nuevo en 2012.

Debido a la última crisis entre Rusia y Ucrania, que dejó sin gas a varios países europeos, se ha vuelto a poner sobre la mesa la preocupante dependencia energética de Europa y la necesidad de diversificar las fuentes de energía, contemplando la energía nuclear como alternativa.

El accidente más grave desde el inicio del siglo *xxi* ha sido el Accidente nuclear en Fukushima (Japón): el día 11 de marzo de 2011 se produjo uno de los accidentes nucleares más graves de la historia después del accidente nuclear de Chernóbil.

Un terremoto de 8,9 grados cerca de la costa noroeste de Japón y un posterior tsunami afectó gravemente la central nuclear japonesa de Fukushima.

La central nuclear de sufrió una explosión el día siguiente al terremoto. El accidente fue considerado inicialmente de nivel 4 en Escala Internacional de Eventos Nucleares (escala INES, por sus siglas en inglés). Aunque en los días siguientes la situación se agravó y la gravedad del accidente nuclear acabó alcanzando el nivel 7, el mismo que el accidente de la central nuclear de Chernóbil.

Hasta el martes 12 de abril 2011, las autoridades de Japón no aumentaron la severidad del accidente nuclear de Fukushima del nivel 5 al nivel 7. El más alto de la Escala INES. El mismo con el que se clasificó el accidente nuclear de Chernóbil, el peor de la historia. El motivo para clasificar el accidente nuclear al nivel 7 ha sido la emisión de radiactividad al exterior.

Aunque el accidente de Chernóbil y el de Fukushima tengan el máximo nivel de gravedad, el accidente de Chernóbil fue mucho peor. Con la información disponible, se estima que el material radiactivo liberado es aproximadamente el 10 por ciento del liberado en el accidente de Chernóbil.

A partir de esbozar lo sucedido en Fukushima se abrió el debate en la mesa sobre temas tan candentes como la percepción social de las centrales nucleares, la seguridad y protección radiológica de las mismas, la necesidad o no de contar con las nucleares en el futuro energético, los nuevos avances en tecnología nuclear (reactores de cuarta generación y materiales como el torio) e impacto de Fukushima entre otros.

Ángel Pérez puso el énfasis en la necesidad de desarrollar mejoras en la energía nuclear. La utilización de la fisión nuclear como fuente masiva de electricidad, aunque ya es una realidad hasta el punto de haberse desarrollado tres generaciones de plantas industriales con sucesivas mejoras sustanciales, sigue

requiriendo una actividad importante en I+D+i para mejorar los dos aspectos que más preocupan a la opinión pública: seguridad y residuos radiactivos de alta actividad y larga vida. Adicionalmente, estas actividades deben mejorar la rentabilidad económica de esta fuente de energía. Podemos simplificar todas estas actividades de I+D+i en tres grandes grupos: Generación IV de centrales, transmutación de residuos y, como alternativa que mejora la utilización de la energía nuclear, la fusión nuclear.

Según el catedrático, el debate nuclear lo considero mal enfocado. El debate no debe ser si nos gusta a no nos gusta la energía nuclear. El debate es si la utilización de dicha forma de energía es evitable o inevitable. Para llegar a una conclusión debemos analizar la posibilidad de un escenario energético sostenible; esto es, que cubra nuestras necesidades energéticas actuales sin poner en peligro igualmente que cubran dichas necesidades de las generaciones futuras sin deteriorar el medio ambiente en que han de desarrollarse, sin incluir en dicho escenario la energía nuclear. Si el resultado de un estudio serio y objetivo es que para cierto período (corto, medio o largo plazo) es que no podemos prescindir de la energía nuclear, el debate queda cerrado.

No podemos basarnos exclusivamente en el riesgo para desechar una solución tecnológica. Y este principio se aplica en todos los campos de la actividad humana. Cuando se tiene una necesidad, se buscan las tecnologías que pueden cubrirla y se utiliza la que tiene un menor riesgo, pero no se descarta esta aunque lo tenga. Así ocurre con la necesidad de desplazarse largas distancias, que obliga al uso de la aviación civil aunque dicha utilización comporte accidentes y pérdida de vidas humanas, a lo cual se unió *Manuel Toharia*, que añadió que es lo mismo que ocurre con las motos o coches que todos utilizamos asiduamente. Lo que nos exigiremos es mejorar la seguridad mediante una seria actividad investigadora, pero no aplazaremos su utilización hasta tener la certeza de una seguridad absoluta (si es que esto es posible en algún campo). De igual forma debemos actuar en el campo energético; utilizaremos aquellas tecnologías que cubran nuestras necesidades y buscaremos aumentar su seguridad. Por tanto, el problema es si podemos prescindir del uso de la energía nuclear.

*Manuel Toharia* hizo la reflexión entonces sobre si debe considerarse necesaria la energía nuclear. Su respuesta fue sí. Destacó la continuidad y estabilidad en la producción energética de las nucleares. «No tenemos una energía de recambio que garantice ese nivel constante de energía demandada que no sea la nuclear. Y ninguna energía está exenta de riesgos e inconvenientes» aunque la sociedad se empeñe en que la energía nuclear debe ser la única con riesgo cero, cosa no exigible a otras.»

*José Tomás* recordó que el riesgo cero no existe. «Llevamos millones de días si sumamos toda la actividad de todas las centrales nucleares. En ese tiempo

hemos tenido dos accidentes considerados graves en la escala INES. Hay que ver las estadísticas. Si estamos en este estado de bienestar debemos decidir si queremos asumir o no esos riesgos.» Manuel Toharia advirtió que «nadie le ha dicho nunca a la sociedad que nunca pasará nada. Todo lo que vivimos y hacemos tiene niveles de riesgo, coger el coche, subirse a un avión... incluso mayores que la nuclear. La sociedad quiere que la nuclear tenga riesgo cero, pero eso que se le pide a la nuclear no se le pide al resto, es injusto pero es así.»

Manuel Toharia quiso enfatizar el problema energético del futuro y comentó que «el mundo rico consume mucha energía, pero China e India están creciendo a un alto ritmo y tendrán necesidad de energía, cualquier energía y en gran cantidad, por lo que no se quedará ninguna exenta. El *mix* energético, contando con nuclear en un porcentaje, seguirá siendo necesario en el futuro.»

Por su parte, Juan José Gómez Cadenas reveló que existen mejores soluciones que los actuales reactores de agua. «La llamada cuarta generación de reactores, que se están investigando desde hace años y que no pueden producir el efecto Chernóbil ni Fukushima dado que no necesitan un refrigerante externo, se conocen bien y llevan tiempo experimentándose pero debido a que supondría iniciar nuevas tareas de construcción, la situación del mercado y el rechazo social... no consiguen salir a la luz. Aunque la meta es disponer de reactores de dicho generación para el año 2035.»

Juan José Gómez Cadenas afirmó que la tecnología en el sector nuclear ha avanzado mucho en estos últimos tiempos gracias a la investigación sobre dos líneas clave: en reactores más seguros y sostenibles, y combustibles más abundantes y eficientes como el torio. El catedrático concluyó con la idea de que en las futuras décadas «no va a haber más remedio que investigar todas las alternativas y la nuclear será parte del plato energético como muchas otras.»

José Tomás quiso destacar, no solo la importancia de la correcta gestión de los residuos radiactivos sino también la importancia de la correcta desmantelación de las nucleares, lo cual necesita de una gran planificación, previsión y control adecuado.

La palabra inglesa que define el proceso de desmantelamiento es *decommissioning* y su fin último es devolver el emplazamiento a un uso sin restricciones desde el punto de vista radiológico. No obstante hay tres niveles de clausura o *decommissioning* según el OIEA:

- Nivel I. Aislamiento y vigilancia. Se extrae el material físil y los fluidos de procesos. Se cierran y sellan los sistemas y se mantiene la ventilación, y queda la central para ser desmantelada más adelante cuando decaiga la actividad lo suficientemente.
- Nivel 2. Uso del lugar con restricciones. Se desmantelan todas las estructuras y edificios excepto el reactor, del que se ha sacado previamente el com-

bustible y el material fisil. Se deja el reactor aislado durante un período suficiente para que decaiga la actividad. Este período se denomina *de latencia*. Se aplica un plan de vigilancia durante el período de latencia.

- Nivel 3. Uso del lugar sin restricciones. Se produce el desmantelamiento de toda la instalación nuclear de manera que al final del proceso el emplazamiento pueda usarse sin restricciones desde el punto de vista radiológico. Este desmantelamiento comienza inmediatamente cuando se para el reactor.

La mayoría de los materiales de una central nuclear o bien no son radiactivos o bien están contaminados muy ligeramente. La mayoría de los metales pueden ser reciclados.

Para desmantelar una instalación nuclear se necesita desmantelar viejas instalaciones obsoletas y construir nuevas instalaciones y sistemas auxiliares.

El desmantelamiento se puede concebir como un proceso industrial en el que hay unos *inputs*, un proceso de transformación y unos *outputs*.

La gestión de materiales en un desmantelamiento es una de las actividades clave, ya que debe hacerse desde mediante un proceso controlado que garantice un destino adecuado a cada tipo de material residual, teniendo en cuenta que la mayoría de los materiales podrán reciclarse para su uso sin restricciones radiológicas. Además se deberán tener en cuenta los aspectos relacionados con el transporte de residuos radiactivos en función de la actividad y radiotoxicidad de los materiales.

Hay una serie de actividades de apoyo que garantizan el buen resultado de un desmantelamiento, como son: protección radiológica y seguridad, ingeniería, calidad, formación, comunicación y proyección exterior.

En la mesa se debatió la viabilidad de la energía producida por fusión. La fusión nuclear presenta potencialmente una serie de ventajas que hacen que puedan jugar un papel central en la resolución del problema energético: generación masiva de electricidad, independencia de combustibles en zonas inestables ya que utiliza isótopos del hidrógeno, impacto ambiental aceptable ya que no genera residuos radiactivos, y se resuelve así el dilema CO<sub>2</sub>-residuos que presenta la fisión y potencial para la producción de hidrógeno.

Para Ángel Pérez supone «la esperanza blanca» pero existe aún el problema tecnológico de construir una planta capaz de controlar el proceso de fusión por las altas temperaturas liberadas y por lo tanto la gran cantidad de energía que se libera. Mientras que la fisión ya va camino de conseguir su cuarta generación, la fusión no ha sido capaz de hacer posible ni una primera generación. Según este mismo autor «la fusión tendrá viabilidad pero a más largo plazo. En escenarios a medio y corto plazo no se puede aún contar con ella.»

Durante el turno de preguntas surgió el debate de la «mala fama» de las nucleares ante la opinión pública. *Manuel Toharia* afirmó que una de las grandes causas es que «la energía nuclear nació con un «pecado original», la bomba de Hiroshima. La sociedad entera ha acabado asumiendo que la energía nuclear es hija de Hiroshima y Nagasaki. Los ecologistas han hecho de esto una bandera.» *Manuel Toharia* afirmó: «Yo tampoco quiero bombas» y aseguró que contra este problema poco se puede hacer ya que «cada vez que hablas de nuclear, se relaciona con Hiroshima, Chernóbil y ahora con Fukushima. La gente no acepta la nuclear, así sin más.»

*José Tomás*, por su parte, se cuestionaba la siguiente pregunta sobre Fukushima: «¿Cómo es posible que después de decenas de miles de desaparecidos y muertes debidos al terremoto y posterior tsunami, lo más importante en la prensa haya sido la central nuclear, que no provocó ninguna muerte y, en cambio, no se habla de las dos grandes catástrofes ocurridas que fueron las que causaron miles y miles de muertos?» Asimismo y conociendo que es un tema candente, profundizo en los detalles de dicho accidente:

En primer lugar hay que señalar que después de dos desastres naturales como fueron el terremoto de escala 9 y el tsunami posterior, la central nuclear de Fukushima ha soportado razonablemente bien aunque no ha podido evitar grandes emisiones de radiactividad al ambiente que en ningún caso son comparables con las de Chernóbil.

Por otra parte, la adopción de las medidas de actuación ha sido clave para minimizar el impacto radiológico sobre la población. Desde el primer momento se iniciaron actuaciones inmediatas sobre la población como:

- Información a la población.
- Restricción uso de alimentos.
- Confinamiento de individuos y estabulación del ganado.
- Profilaxis (distribución de pastillas de yoduro de potasio).
- Clasificación radiológica de las personas.
- Descontaminación de personas y equipos.
- Evacuación.

Desde el punto de vista de la protección radiológica, cabe destacar que se adoptó el límite de 250 mSv/año para los trabajadores durante la emergencia. Solo trabajadores autorizados por TEPCO bajo la responsabilidad de la empresa.

Desde los primeros días se establece un centro de preparación y entrenamiento a veinte kilómetros al sur. Equipos de protección y test de contaminación para salir del área.

Un total de 7.800 personas accedieron al área restringida y recibieron una dosis media de 7,7 mSv, superando los 100 mSv 30 de ellos y superando el límite 8 personas por accidentes operacionales.

La mayoría de los vertidos de gases fueron en dirección al mar excepto dos días que soplaron los vientos hacia NW.

Los niveles de radiación dentro de la zona de exclusión han sido de 50 micro SV/h excepto en casos puntuales que se detectaron 10 veces más.

El impacto radiológico inicialmente fue debido al I-131 que debido a su corta vida media ha ido desapareciendo progresivamente a los pocos días, y a la deposición importante de Cs-137 que puede cuestionar el futuro de la región.

	Fukushima Daichii	Tchernobil
<b>Principal causa</b>	Desastre natural	Errores humanos/Defectos de diseño
<b>Detalles del accidente</b>	Terremoto 9.0 + tsunami. Pérdida de refrigeración núcleo. Explosiones de gases. Liberación radiactividad. Bajo nivel de agua de la piscina de combustible.	Operaciones inusuales en sistemas del reactor hace que explote. Fuego en el reactor. Fusión total del núcleo. Liberación de la nube radiactiva a gran altura que se dispersa por todo el mundo.
<b>Clasificación escala INES</b>	7 accidente mayor (no inmediato)	7 accidente mayor
<b>Tipo de reactores</b>	BWR /Estructura de contención. 6 reactores/ 3 afectados+piscina	RBMK. Moderador: grafito. Contención poco resistente. 4 reactores/1 afectado
<b>Radiación liberada</b>	770.000 TBq (15 % Chernóbil) según NISA	12 millones de TBq según IAEA
<b>Respuesta emergencia</b>	Reacción rápida. Evacuación temprana de la población. Distribución KI. Restricción transporte y venta de comida de la región.	Reacción lenta de las autoridades a la hora de informar y proteger a la población. Distribución tardía de profilaxis y control alimentos.
<b>Zona evacuación</b>	20 km/20-30 km voluntaria	30 km
<b>Nº personas evacuadas</b>	80.000	116.000 alrededores/ 220.000 (Bielorrusia, Ucrania y federación rusa)
<b>Nº personas afectadas por radiación reportadas</b>	Ninguno hasta ahora	30 muertes y 200 lesiones determinísticas severas atribuibles a radiación. Más de 6000 cánceres de tiroides infantiles

Las emisiones líquidas fueron importantes en el medio marino debido al vertido de miles de metros cúbicos de agua contaminada.

No se han detectado contaminaciones en la población salvo externas en ropa que es fácilmente eliminable.

A pesar de la gravedad del accidente de Fukushima y de haber sido calificado en la escala INES con el mismo grado que Chernóbil, hay diferencias sustanciales con esta, las cuales se muestran en el cuadro siguiente:

Así mismo *José Tomas* aprovechó para comentar la relevancia de la protección radiológica en las instalaciones nucleares, siendo esta una disciplina científica cuya principal misión es estudiar los efectos de las dosis producidas por las radiaciones ionizantes y aplicar los procedimientos para proteger a los seres vivos sobre sus efectos nocivos.

Existen unos organismos internacionales que se ocupan de garantizar que la exposición a las radiaciones ionizantes de las personas y del medio ambiente sea lo más baja posible. El Comité Científico de las Naciones Unidas sobre los efectos de las radiaciones atómicas (UNSCEAR) tiene como misión evaluar e informar sobre los niveles y efectos de la exposición a las radiaciones ionizantes. Establece las bases científicas para evaluar los riesgos de radiación y establecer medidas de protección.

La Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP) establece medidas de protección para prevenir efectos deterministas y reducir la inducción de efectos estocásticos. Maximizar el beneficio neto. La ICRP establece recomendaciones para los trabajadores, el público y las exposiciones médicas (exposiciones predecibles) y para exposiciones potenciales (accidentes). Estas recomendaciones suelen ser adoptadas por los estados y se incluyen en su normativa legal en forma de leyes o reglamentos. En España la norma básica es el Reglamento de Protección Sanitaria contra las Radiaciones Ionizantes (Real Decreto 783/2001, de 6 de julio).

Los pilares o principios básicos de la protección radiológica son:

- Justificación: toda práctica con radiaciones ionizantes deberá ser justificada ante la autoridad competente.
- Optimización: las dosis individuales, el número de personas expuestas y la probabilidad de que se produzcan exposiciones potenciales, deberán mantenerse en el valor más bajo que sea razonablemente posible, teniendo en cuenta factores económicos y sociales (ALARA).
- Limitación de dosis: la suma de las dosis procedentes de todas las prácticas no sobrepasará los límites establecidos por la legislación vigente para los trabajadores expuestos y el público en general.

En las prácticas no se debe omitir ninguno de los principios expuestos anteriormente.

En intervenciones: el beneficio siempre tiene que ser mayor que el perjuicio. No se aplican límites de dosis sino niveles de intervención.

*Gómez Cadenas* destacó que «existe un abismo entre lo que los técnicos y científicos intentan transmitir y lo que la sociedad entiende. Tenemos un bloqueo social. En nuestra sociedad lo que está establecido es estar en contra de las nucleares.» Y destacó el hecho de que «nuestra sociedad ignora el problema energético y vive en la complacencia». *Ángel Pérez* respondió diciendo que «la energía nuclear vendrá si tiene que venir, pero no a petición social, sino por una crisis energética. Mientras tanto se trabajará para asentar las bases para que cuando haya que cubrir la necesidad, se pueda hacer de una forma más segura y eficiente.»

