

muy **ESPECIAL**

LA ENERGIA

HIDROGENO

**El limpio e inagotable
combustible del futuro**



NUCLEAR

**Cómo se
desmantela una
central inservible**



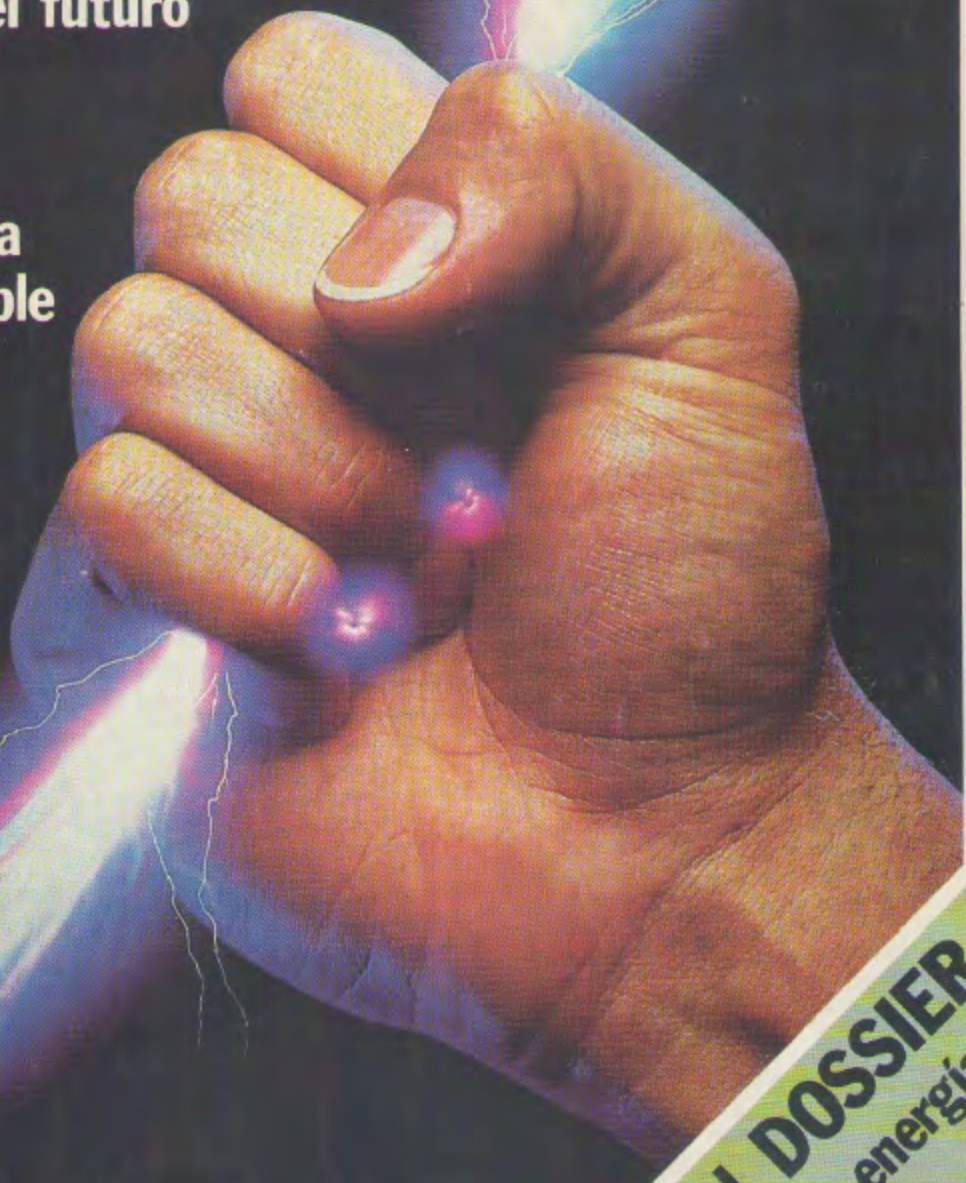
SOLAR

**Así serán las
orbitogranjas
del espacio**



ALTERNATIVAS

**La supercasa
ahorradora**



GRAN DOSSIER
Las otras energías



TODA LA ENERGIA QUE NECESITAMOS 4

El mundo ha emprendido la transición hacia un nuevo modelo energético.

AL SOL QUE MAS CALIENTA 22

Obtener electricidad a partir de la radiación solar ya sale rentable.

OPERACION PRADO VERDE 30

Ya han comenzado a desmantelarse las primeras centrales nucleares clausuradas.

LA FUSION NUCLEAR SE RESISTE 36

Los científicos siguen sin conseguir una reacción de fusión controlada.

DOSSIER Estado actual y perspectivas futuras de las otras energías. 43

DOSSIER

- EOLICA 44
- MINIHIDRAULICA 48
- BIOMASA 50
- COGENERACION 52
- GEOTERMICA 54
- MAREMOTRIZ 56
- HETERODOXAS 58

ESTA CASA ES UN CHOLLO 64

Lo último en técnicas de ahorro energético para casas y edificios.

HIDROGENO: LA FUERZA DEL AGUA 70

El combustible del futuro es limpio, inagotable y fácil de obtener.

MANIPULADORES DE ALTA TENSION 78

Así se fabrica y distribuye la electricidad que usamos en nuestros hogares.

GASTAN MENOS QUE UN MECHERO 82

La industria automovilística compite por desarrollar nuevos motores de bajo consumo.

¡CORRE, CORRE, QUE SE ACABA! 88

Las reservas de combustibles fósiles se están agotando a marchas forzadas.

ORBITOGRANJAS ELECTRICAS 92

Un fantástico proyecto para recoger en el espacio la energía que necesita la Tierra.

LA BIBLIOTECA 97

STAFF 97

DOSSIER



Las energías renovables ya están en condiciones de competir en pie de igualdad con las convencionales. La eólica sólo es una de ellas. Pág. 43



PORETTA/ELCORTICO

El ahorro energético no implica menos confort. Aislando bien las casas y usando electrodomésticos de alto rendimiento, podemos reducir el consumo en más de tres cuartas partes. Pág. 64



TECHNICAL/LOHRENG

Un sencillo proceso de electrólisis permite obtener del agua un combustible de alto poder energético: el hidrógeno. Pág. 70



VOLZ/LOHRENG

Las compañías petrolíferas perforan pozos cada vez más profundos, en lugares cada vez más inaccesibles. Las reservas, y no sólo las de oro negro, sino también las de los demás combustibles fósiles, están a punto de agotarse. Pág. 88






● Por Josep Puig y Joaquim Corominas ●

La pasmosa facilidad con que obtenemos un torrente de fuerza eléctrica simplemente apretando un botón; la comodidad de pisar un poco el acelerador y, casi como por milagro, salir disparados a cien por hora... nos hace olvidar demasiado a menudo la increíble complejidad del mundo de la energía, con todas sus implicaciones políticas, económicas, sociales y medioambientales, a escala, incluso, planetaria. Tres ejemplos muy recientes lo confirman: Japón ha detectado sobre su cielo las primeras partículas de humo procedentes de los pozos incendiados en la Guerra del Golfo, un conflicto internacional que ha costado decenas de miles de muertos y cientos de millones de dólares. Por las mismas fechas, un accidente considerado imposible entre un ferry y un petrolero frente a las costas de Génova ha estado a punto de arruinar, por la marea negra, la temporada turística en La Riviera. En España, un contrato firmado por el gobierno con los países del norte de África para que nos suministren gas natural arrincona 5.000 MW nucleares, alrededor de un billón y medio de pesetas invertidas por las empresas eléctricas en proyectos que ahora se revelan innecesarios. Efectivamente, la energía es mucho más que algo que pagamos por recibos bimensuales.

¿Dónde reside su grandeza? La física nos dice que la energía es la capacidad, mayor o menor, de realizar un trabajo o producir un efecto. Cuando el viento empuja los veleros, en lugar de remar podemos descansar. La gasolina y el gasóleo moverán un vehículo cargado en lugar de tenerlo que hacer nosotros. Una estufa de gas calienta nuestras casas, con lo que sentimos mayor comodidad y no precisamos ingerir tantos alimentos que nos aporten las calorías necesarias para mantener nuestro cuerpo a una temperatura superior a la del ambiente. La electricidad nos permite prolongar la luz más allá del día, así como disfrutar de múltiples electrodomésticos y equipos electrónicos.

Sin embargo, en el planeta vivimos mucha gente, y el uso a gran escala de la energía conlleva problemas. Cuando quemamos en pocos minutos un kilo de carbón o de petróleo, estamos liberando unos elementos químicos y una energía que tardaron muchos miles de siglos en acumularse y millones de años en transformarse. La inyección masiva, concentrada y repentina de estos elementos químicos en la biosfera —como el azufre, los óxidos de nitrógeno o el dióxido de carbono— sobrepasa la capacidad de la naturaleza para volverlos a asimilar. Los medios de comunicación se encargan de recordarnos las consecuencias un día sí y otro también: lluvia ácida, efecto invernadero, contaminación urbana...

A photograph of a wooden interior. On the left, a wooden staircase with a handrail leads upwards. On the right, a window with a wooden frame looks out onto greenery. In the foreground, several potted plants are visible, including a large one with long, pointed leaves. The lighting is warm and natural, highlighting the textures of the wood and the green of the plants.

Poner freno al despilfarro empieza por la propia casa

La energía más limpia y renovable de todas es la que ni siquiera gastamos. Una casa como ésta, construida con técnicas de arquitectura bioclimática —buen aislamiento de paredes y ventanas, orientación adecuada, acumuladores de calor solar...—, puede reducir a la mitad su factura energética. Si además incorpora bombillas de bajo consumo y electrodomésticos de alto rendimiento, el ahorro llega al 80 por ciento.

En los años cincuenta, una nueva tecnología —la fisión atómica— prometía acabar con estos inconvenientes de los combustibles fósiles. Pero a cambio de otros, algunos incluso más graves. El uranio es un elemento natural y se encuentra en muchas regiones del globo, aunque en unas proporciones muy bajas. En una central nuclear se manejan unas 500 toneladas de uranio enriquecido, el equivalente a 750.000 toneladas de tierras con alta concentración de este mineral. Además, en el reactor se forman elementos inexistentes en la naturaleza mucho más radiactivos que el uranio, como el plutonio, que tiene una vida de miles de años y que produce la muerte con sólo una milésima de miligramo que se ingiera. Durante el funcionamiento de toda central nuclear y de las instalaciones necesarias para preparar y procesar el combustible fisible siempre se escapa a la atmósfera y al agua una pequeña cantidad de sustancias radiactivas, a pesar de las grandes medidas de seguridad que se toman. Estos elementos radiactivos, aun siendo débiles, tienen la fastidiosa propiedad de acumularse en los seres vivos, sin que éstos los puedan expulsar o asimilar. Se van almacenando en los tejidos en proporciones cada vez mayores, hasta llegar a nosotros a través de los alimentos. Y ello sólo representa uno de los problemas de la energía nuclear. Muchos accidentes —Chernobil, el peor— se empeñan en demostrar a los ingenieros la imposibilidad de garantizar al cien por cien la seguridad de los reactores. Por no hablar del escollo aún irresuelto de los residuos radiactivos.

Todo este lastre negativo asociado al consumo masivo de combustibles fósiles y fisibles no ha sido reconocido hasta hace relativamente poco tiempo. Por la sencilla razón de que nunca hemos utilizado tanta energía como ahora. Se dice que en los últimos cien años el mundo ha gastado la misma energía que en toda la historia anterior. Pero hoy, los efectos están a la vista. Y cada vez son más los que apelan al sentido común: o reducimos drásticamente el consumo, o nos pasamos a otra forma de obtener energía. La primera solución no parece contar con muchos partidarios. En los países industrializados, casi nadie está dispuesto a renunciar a las comodidades de la *vida moderna*, mientras que por otro lado, no sería justo escamotear a las sufridas gentes del llamado Tercer Mundo la posibilidad de

mejorar su situación. Además, lo único que así conseguiríamos sería prolongar la agonía, pues ni el carbón ni el uranio son eternos. Por ello, parece más sensato inclinarse por la segunda opción: sustituir el actual modelo energético por otro basado en fuentes renovables y no contaminantes.

En realidad, si exceptuamos la de origen geotérmico y nuclear, toda la energía de que disponemos en la Tierra procede de una u otra forma del sol, incluso la contenida en los combustibles fósiles. El sol impulsa los vientos y éstos las olas. También evapora el agua que luego forma los ríos. En unión con la Luna, provoca las mareas. Hace crecer las plantas y los árboles, que nos sirven como leña o como forraje para alimentar animales de tiro. Y la parte ultravioleta de su radiación, la que nos pone morenos, es capaz de arrancar electrones de ciertos materiales, como el silicio, y producir una corriente eléctrica. ¿Por qué



La electricidad es la forma más práctica de transportar energía, pero su generación contamina.



Obtener materias primas para fabricar bienes requiere cada día mayores aportes de energía: cuando se agotan las vetas, hay que triturar más roca para extraer la misma cantidad de minerales.

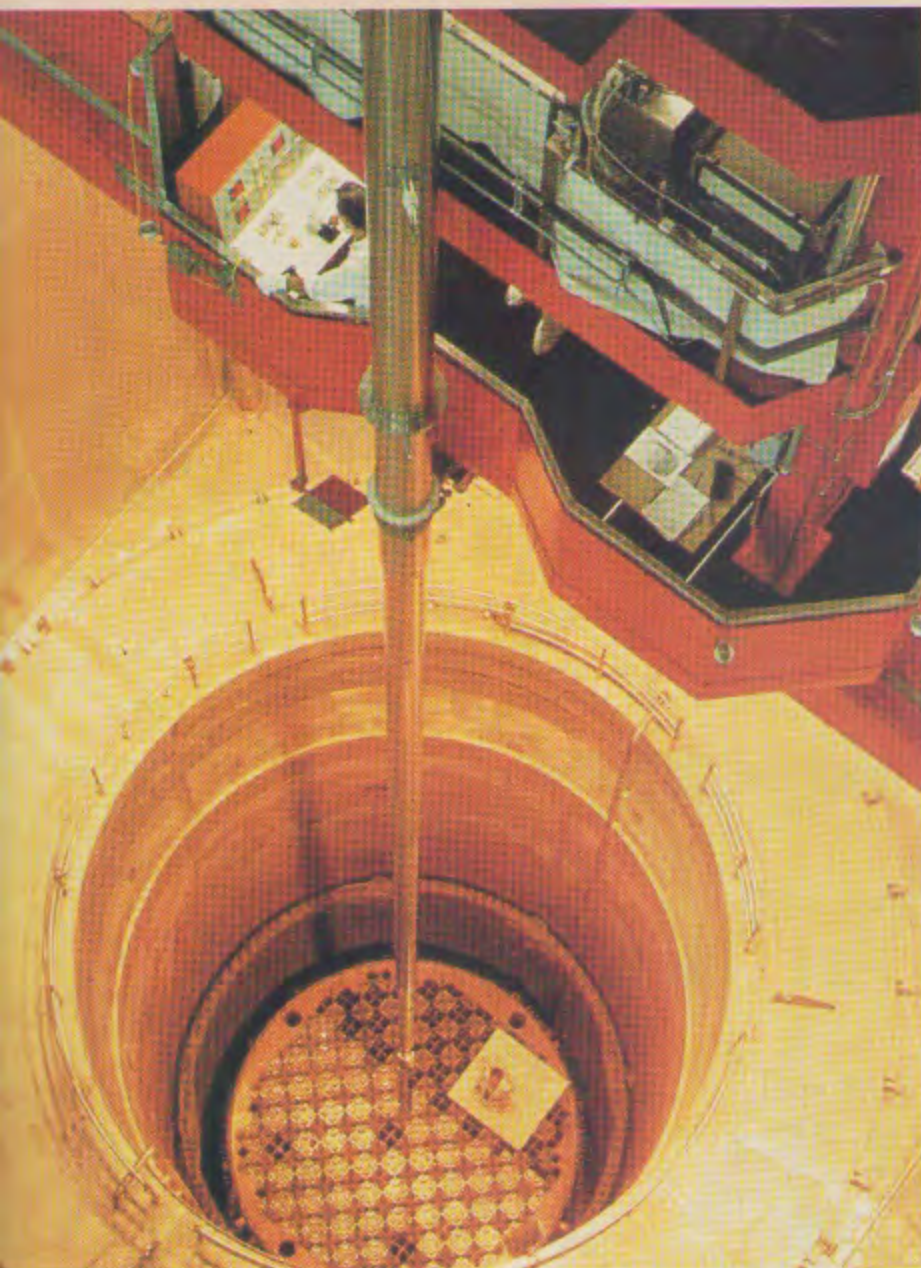
no aprovechar mejor esta fuente primordial, limpia e inagotable?

La explotación de sus manifestaciones directas —solar, hidráulica, eólica y maremotriz— no causa problemas de combustión, puesto que no queman nada, sólo extraen el contenido energético de la materia, o sea del aire o del agua. En cuanto a la leña y demás combustibles derivados de la biomasa —alcoholes, aceites, gases de fermentación—, si se tiene cuidado de no que-

marlos a mayor ritmo que la tasa de regeneración vegetal, no hay ningún peligro de incrementar el efecto invernadero, pues el dióxido de carbono —el humo— vuelve a reabsorberse en el proceso de la fotosíntesis.

Hasta aquí, todo habla a favor de dar ese gran salto adelante en la historia —cambiarnos a las fuentes renovables—, y es muy posible que ya hayamos levantado el primer pie. Sin embargo, la forma de gestionar la energía nunca ha sido una cuestión de estricta racionalidad, sino que más bien posee una dinámica propia de índole política y económica. Cada civilización y cultura ha aprovechado las fuentes energéticas de modo distinto. Los chinos usaban la pólvora para los fuegos artificiales, pero no para las armas. En la Roma imperial, los molinos hidráulicos eran poco utilizados para la molienda, con el fin de no desestabilizar el mercado de esclavos. En la Edad Media,

El modelo energético actual ha comenzado a languidecer



Primera carga de combustible en un reactor nuclear. Hubo un tiempo en que la fisión del átomo se veía como la panacea de la humanidad. Hoy, pocos la consideran ya una solución a largo plazo.



Construcción de plataformas petrolíferas en Stavanger (Noruega). Los combustibles fósiles no sólo contaminan la biosfera, sino que además se están acabando. Su sustitución empieza a correr prisa.

se prohibieron los de viento, para que sólo pudiera molerse en los hidráulicos: al estar situados en los ríos, era más fácil controlarlos y cobrar impuestos según la cantidad de grano molido.

En tiempos modernos, la introducción de la tecnología nuclear en España hace unas décadas también constituye un buen ejemplo de lo anterior. A comienzos de los años setenta y antes de que ocurriera la primera crisis del petróleo (1973), las principales compañías eléctricas decidieron construir centrales nucleares en lugar de las hidroeléctricas proyectadas porque los proveedores estadounidenses facilitaban tanto los equipos como los créditos (los americanos tenían que amortizar las enormes inversiones realizadas en su propio programa nuclear, tanto bélico como civil).

Esta política ha llevado a un fuerte endeudamiento de las compañías eléctricas e incluso a la quiebra de alguna de ellas. Pero como el suministro eléctrico es un servicio básico, están protegidas por el Estado contra las pérdidas económicas, de forma que los errores de antaño los acabamos pagando entre todos por dos caminos distintos, a través del recibo de la luz y con los impuestos.

Por cierto que en Estados Unidos la situación es muy distinta, puesto que si una empresa eléctrica pierde dinero, tiene que arreglárselas como pueda. Es por eso que en aquel país no se ha vendido un solo reactor nuclear desde 1979, al mismo tiempo que se ha cancelado la construcción de 105 desde 1974, cuando ya se sabía que no eran el negocio que se había prometido. Al principio se había dicho que la electricidad de origen nuclear sería tan barata que no valdría la pena leer los contadores. La realidad ha demostrado que la nuclear genera el kWh más caro: 9,1 pesetas, mientras que el de origen hidráulico o de gas natural cuesta 5 pesetas y el de carbón 7,2 o 8,7, según sea importado o nacional.

Pero, ¿por qué no están más implantadas las energías renovables? Las técnicas para su aprovechamiento son conocidas de antiguo. En 1615 ya se intentó usar un motor solar para bombear agua. En 1878, en la Exposición Universal de París se exhibe una imprenta accionada por energía solar. En el siglo VI antes de nuestra era, en Persia se utilizaban molinos de viento para bombear agua. En 1888 se presenta en la exposición de Cleveland el primer aerogenerador o molino de viento para producir electricidad. En 1939, en los Estados Unidos se construye la primera casa con calefacción totalmente solar.

Y también la tecnología del ahorro está bien desarrollada, pues no hay que olvidar que la energía no gastada es la más renovable de todas. En Nueva Inglaterra (Estados Unidos) un juez ordenó a las compañías eléctricas elaborar sus planes conjuntamente con los grupos ecologistas y de de-

fensa de los consumidores de la región. El resultado es que se han ahorrado grandes cantidades de energía eléctrica, que se preveen llegarán al 55 por ciento a final de siglo. El método para conseguirlo es sencillo: a los clientes que lo desean la empresa suministradora les cambia gratis las bombillas y los electrodomésticos por otros de bajo consumo, y además les aísla térmicamente las paredes de la vivienda. El usuario se beneficia con el 80 por ciento del ahorro pagando menos en la factura, y la compañía eléctrica se queda con el 20 por ciento restante. De esta forma tiene que invertir menos que construyendo nuevas centrales. Alguien ha dicho que en lugar de instalar megawattios, instala *negawattios* o wattios negativos.

Aun así, multitud de obstáculos entorpecen, todavía, el avance de las energías renovables, algunos de ellos inherentes a su propia naturaleza. Están muy dispersas en el territorio, tienen poca densidad energética, son intermitentes, imprevisibles y difíciles de transportar. Para poder disponer de la energía donde y cuando la necesitamos, debemos acumularla, lo que complica y encarece su uso. La primera casa solar, para garantizar calefacción en invierno, tenía enterrado en el sótano un depósito de agua de su mismo volumen. El agua se calentaba durante el verano lo suficiente como para aguantar el frío y largo invierno de Massachusetts. En este sentido, existen muchas esperanzas puestas en el hidrógeno como medio para concentrar, transportar y manipular energía eléctrica generada con máquinas solares, eólicas o hidráulicas.

Por otro lado, el hecho de que las fuentes renovables estén al alcance de todos y de que por lo general no precisen de una tecnología muy compleja para su utilización, ha hecho que las grandes empresas no se interesen apenas por este negocio, pues temen la competencia que significaría la aparición de muchos talleres pequeños. En el fondo, todo el sistema energético —fuentes, tecnología, enseñanza, política— ha evolucionado de acuerdo con las grandes empresas, que han ido desplazando a las pequeñas. Aunque también es verdad que la producción centralizada de energía favorece su distribución en los grandes núcleos urbanos e industriales. Disponer de electricidad o de gas canalizado en una ciudad es muy fácil, pero muy difícil en medio del campo, aunque se esté debajo de una línea de alta tensión o de un

gasoducto. En una ciudad, donde se concentra la mayor parte de los usuarios, es difícil utilizar las fuentes alternativas. En las zonas rurales, en cambio, su aplicación no presenta problemas, pero como hay pocos usuarios apenas existen empresas interesadas en comercializarlas.

A pesar de todo, gracias al tesón y el esfuerzo de algunos investigadores, ingenieros e industriales, las energías renovables ya son competitivas, incluso sin considerar los costes de los efectos medioambientales derivados de la utilización de la energía, que en el caso de las renovables es muchísimo menor que en las fósiles y en la nuclear. Tal como propusieron miles de organizaciones ecologistas en el documento *Objetivos Globales para una Década Verde*, redactado con ocasión del Día de la Tierra celebrado el 15 de junio de 1990, de aquí al año 2020, con el estado actual de la tecnología renovable podríamos combatir el calentamiento de la atmósfera reduciendo las emisiones de dióxido de carbono a un tercio



Experimentos con hidrógeno. Este gas concentra la energía de las fuentes renovables.



Primeros pasos hacia la era solar. La empresa californiana Luz vende a la red de suministro nacional la electricidad que generan sus colectores cilindro-parabólicos: 275 MW, de momento.

de las actuales, limitar la lluvia ácida reduciendo las emisiones de óxidos de azufre en un 90 por ciento y las de óxidos nitrosos en un 75 por ciento, y evitar al mismo tiempo el envenenamiento radiactivo de los sistemas naturales. Ello pasa por la creación de una infraestructura energética segura y sostenible en el tiempo y en el espacio, que sólo se conseguirá con la introducción lo más rápidamente posible de artefactos que hagan un uso eficiente de la energía, e ins-

talando en todo el mundo una potencia equivalente a 100.000 MW en sistemas de generación de electricidad a partir de fuentes renovables antes de finalizar el siglo.

A más largo plazo, la transición a las energías blandas, por su propia naturaleza, abarcará otras áreas de la actividad humana, forzando incluso un cambio generalizado en la mentalidad de la sociedad. Según Paul Ehrlich, prestigioso profesor de la Universidad de Stanford, "descubrir la forma de obtener energía abundante y barata sería como dar una pistola a un idiota", ya que las ventajas derivadas de esta hipotética bendición se volverían irremediablemente en nuestra contra. Algunos axiomas acuñados en los años cincuenta y sesenta, cuando los precios del petróleo estaban por los suelos y las primeras centrales nucleares comenzaban a ponerse en servicio, corroboran esta afirmación.

**Alternativa con futuro:
aprovechar la
generosidad del sol**



ventajas e inconvenientes. Las energías renovables están a disposición de todos y no precisan una tecnología muy sofisticada. En cambio, son intermitentes, imprevisibles y difíciles de almacenar.



una sociedad futura basada en el uso racional de la energía y el respeto a la naturaleza no viviremos con menos comodidades. Todo lo contrario: nuestra calidad de vida aumentará sensiblemente.

Se decía entonces, por ejemplo, que disponiendo de energía abundante nunca faltarían materias primas, pues para obtener los metales se podrían triturar rocas con una riqueza mineral ínfima. Pero no se tenía en cuenta que el 95 por ciento de las tierras son ordinarias, y el cinco restante acabaría convertido, tarde o temprano, en amontonamientos estériles. También se pensaba que se podrían producir tantos fertilizantes como fuera necesario, olvidando que los abonos minerales acaban polucionando las aguas superficiales y subterráneas. En definitiva, se podría fabricar todo lo que se necesitara, decían, sin tomar en consideración los problemas derivados de la generación masiva de residuos de todo tipo, que ya hoy estamos padeciendo.

Si la avidez material de la humanidad continúa siendo ilimitada y la conciencia planetaria primitiva, simplemente utilizaremos la energía para producir más y más residuos. Las palabras de Donella Meadows, co-autora del bestseller *Los límites del crecimiento*, al resaltar la herida que el despilfarro de la energía (y de otros bienes comunes) ha abierto en la humanidad, son muy ilustrativas al respecto:

“Soy de las que deseo que la fusión fría sea un espejismo, cosa que probablemente será. Deseo que los seres humanos tengan más tiempo para aprender a vivir dentro de unos límites, a vivir en armonía con los demás y con la Tierra. Deseo que la humanidad tenga más tiempo para aprender a encontrar propósitos más dignos que la acumulación de poder o riqueza. Lo divertido es que si algún día y de buena gana deseamos vivir apaciblemente, con moderación y sin egoismos, nos daremos cuenta que ya tenemos una fusión fría al alcance de la mano, pues la fusión es la fuerza que hace brillar las estrellas, incluyendo el Sol. La energía solar nos llega en cantidades muy superiores a las que necesitamos, generada por un fabuloso reactor de fusión que está localizado a una distancia de 150.000 millones de kilómetros, que tiene una vida esperada de varios miles de millones de años, y que no requiere ningún gasto de inversión ni de mantenimiento. Es una energía en la cual no pensamos mucho, porque nos llega suavemente, sin prisas. Y es difícil que alguien la acapare. Debido a los locos cálculos de nuestra economía, que contabiliza sólo los beneficios para algunos seres humanos y no tiene en cuenta que los costes se reparten sobre la mayoría de la población y sobre los sistemas naturales, consideramos que es cara. Pero ni es cara, ni contamina. Y está ahí para ser captada y utilizada tan pronto como estemos dispuestos a aprovecharla.”

Josep Puig y Joaquim Corominas son doctores en ingeniería industrial por la Universidad Politécnica de Cataluña. Ambos trabajan como profesores de Recursos Energéticos en la Universidad Autónoma de Barcelona.



EOLICA *Los aerogeneradores se imponen* ● **MINIHIDRAULICA** *Presas más ecológicas y baratas* ● **BIO-MASA** *La energía verde* ● **COGENERACION** *El ahorro en la industria* ● **GEOTERMICA** *Al calor del volcán* ● **MAREMOTRIZ** *Olas, mareas, diferencias térmicas...* ● **HETERODOXAS** *El poder del ingenio*

LAS OTRAS ENERGIAS

Textos elaborados por
Josep Puig y
Joaquim Corominas

LOS AEROGENERADORES SE IMPONEN

Siembra vientos y recogerás buenos kilowatios

Con hélices de resinas sintéticas y generadores compactos de alto rendimiento, los nuevos molinos de viento producen electricidad a precios cada vez más competitivos.

El viento es una manifestación indirecta de la energía que nos envía el Sol, pues aparece como resultado del diferente grado de calentamiento de la superficie de la Tierra por los rayos solares, así como por el movimiento de rotación del planeta sobre sí mismo (fuerza de Coriolis). Se considera que un 0,7 por ciento de la radiación solar incidente en las capas altas de la atmósfera acaba transformada en la energía cinética de los vientos (2,3 W/m²), aunque mediciones directas dan valores ligeramente superiores (de 4 a 10 W/m²). Considerando que la aportación del sol en su interacción con el sistema atmósfera-tierra es de 172.000 TW (un terawatio son 1.000 megawatios), sólo 1.200 TW están destinados a mantener la circulación general de la atmósfera, es decir los vientos.

La fuerza eólica fue reconocida como una fuente energética de libre disposición ya en tiempos muy remotos. Las primeras referencias históricas sobre el aprovechamiento del viento para mover máquinas son unos molinos de eje vertical que figuran en obras geográficas del siglo V a. de C. Los citan en el Sijistán, área comprendida entre lo que hoy es Irán y Afganistán, donde sopla un viento muy constante llamado *de los 120 días*. En Europa no se tiene constancia de la construcción de

molinos de viento hasta el siglo XII. A diferencia de los asiáticos, los europeos eran exclusivamente de eje vertical, y se usaban, además de para la molienda de grano, para otras muchas tareas: bombeo de agua para riego, desecación de zonas húmedas, accionamiento de bateadoras de papel y tejidos, aserraderos, etcétera.

El diseño básico de los molinos de viento no varió mucho hasta el siglo XVIII, cuando Lee, Meikle, Smeaton, Hooper, Cubitt y otros ingenieros introdujeron múltiples innovaciones tecnológicas: orientación automática, aspas tipo persiana, correas de transmisión y otros dispositivos mecánicos. A principios del siglo XIX, estas máquinas habían alcanzado tanta complejidad que se las puede considerar con justicia las primeras fábricas totalmente automatizadas de la historia.

La invención de la máquina de vapor y su aplicación a la molturación (Inglaterra, 1781) significó un golpe casi mortal para los molinos de viento, ya que no podían competir en horas de funcionamiento, a pesar de las mejoras introducidas para aprovechar una amplia gama de vientos. No obstante, en Estados Unidos, a principios del siglo XX todavía funcionaban más de 6 millones de pequeños aeromotores multipala. Inventados por Daniel Halliday en 1850, se utilizaban sobre todo para bombear agua de los pozos.



En muchas regiones del mundo



Aerogenerador del parque eólico (Gerona), que consta de seis má

Hay quien ha dicho que estos típicos molinillos tuvieron un papel tan importante en la colonización de Oeste americano como el famoso revólver Colt y, por supuesto, los caballos, ya que permitió que los grandes rebaños de reses pudieran disponer de agua para abreviar. Tenían diámetros comprendidos entre los tres y cinco metros, y eran capaces de bombear unos 40 litros por minuto con vientos de 25 km/h.



Los molinos persas de tela.



A principios del siglo XIX, los modelos más avanzados eran auténticas fábricas automatizadas.



El eje vertical—como éste, de tipo Darrieus—no necesitan orientarse.

En 1888 Charles F. Brush construyó en su casa de Cleveland (Ohio, EE.UU.) un molino para generar electricidad. El aerogenerador, fijado sobre una torre de 18 metros de altura, tenía 144 palas de 17 metros de diámetro. Estaba acoplado a una dinamo de 12 kW, y la electricidad por él producida alimentaba 350 bombillas de incandescencia, dos lámparas de arco y tres motores.

En Europa, el profesor Paul La

De las aspas de tela de algodón a la fibra de carbono

Cour, con ayuda del gobierno danés, construyó en Askov (1892) un aerogenerador para abastecer de electricidad a la universidad donde trabajaba y también al pueblo. La Cour optó por utilizar la corriente generada para disociar electrolíticamente una disolución acuosa de hidróxido sódico. El oxígeno y el hidrógeno resultantes eran almacenados en gasómetros. Antes de acabar el siglo pasado, la escuela de Askov se iluminaba con bombillas Drummond, que daban una flama blanquecina producida por la mezcla de oxígeno e hidrógeno en el interior de un cilindro de zirconio.

En el año 1903 se fundó en Dinamarca la Asociación para la Producción de Electricidad a partir del Viento, que publicaba su propio diario, asesoraba y realizaba proyectos de electrificación eólica. Tanto éxito obtuvieron en su gestión, que a finales del primer tercio de siglo, aquel llano y ventoso país nórdico ya había instalado aerogeneradores con una potencia total de 200 MW.

Pero no fue únicamente en Dinamarca donde resurgió el interés por la energía eólica. Sobre esta época también se realizaron importantes trabajos en Inglaterra (donde se estableció la primera planta de pruebas para aerogeneradores en 1925),

en Finlandia (donde S.J. Savonius inventó su conocido rotor), en Francia (donde M. Darrieus construyó tres aerogeneradores de eje vertical utilizando

palas que disminuían su rendimiento al aumentar la velocidad del viento) y en Alemania (donde A. Flettner inventó un original sistema de captación basado en el efecto Magnus, aplicándolo a la impulsión de un barco, el *Buckeau*, con el que atravesó el Atlántico en 1925).

Considerado hoy como el verdadero padre de la energía eólica, M. L. Jacobs empezó a experimentar con el viento en 1920, en su rancho de Minnesota. Once años más tarde fundó la Jacobs Wind Electric Co., llegando a fabricar miles de aerogeneradores que exportaba a todo el mundo. Eran máquinas tripala, con un diámetro de hasta 4,5 metros y regulación centrífuga del ángulo de la pala. Producían de 400 a 500 kWh/mes, y se emplearon profusamente para suministrar electricidad a poblaciones y ranchos remotos.

Sin duda, la mayor máquina eólica del primer tercio de siglo fue la erigida por la Unión Soviética en 1931 en Balaklava (Crimea). Consistía en un rotor tripala de 30 metros de diámetro, con un generador de inducción de 100 kW de potencia. Producía más de 200.000 kWh/año, pero la invasión nazi destruyó este

supermolino y truncó el proyecto soviético de construir aerogeneradores gigantes de hasta 30 MW.

La entrada del segundo tercio de nuestro siglo representó una prueba de madurez para la energía eólica. El primer intento de desarrollar un gran sistema de generación de electricidad a partir del viento fue acometido por P.C. Putman, quien diseñó un enorme aerogenerador de 1.250 kW (1,25 MW). Construido por la empresa S.M. Smith Co. en la cima de Grandpa's Knob (Vermont, EEUU), tenía un rotor bipala de 53 metros de diámetro. Funcionó desde el 19 de octubre de 1941 hasta el 26 de marzo de 1945, fecha en la que un defecto estructural en una pala hizo que se rompiera y saliera disparada hasta una distancia de 200 metros.

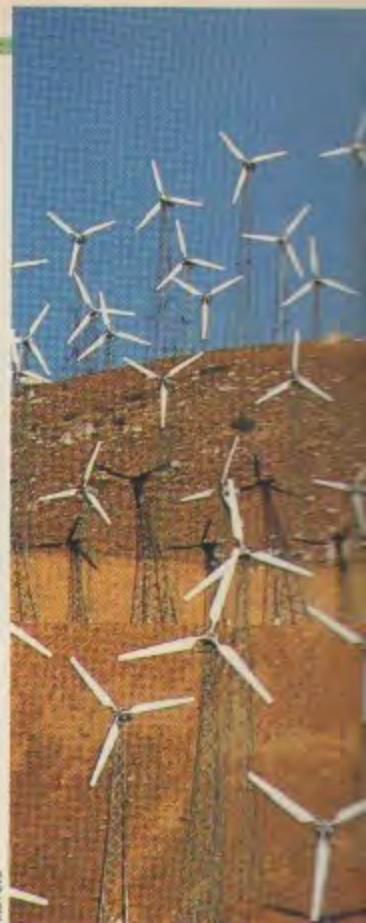
A pesar de que el intento acabara en fracaso, en un libro que narra la experiencia, el doctor V. Bush, decano de la Escuela de Ingeniería del Massachusetts Institute of Technology, vislumbraba así el porvenir de la aerogeneración: "Esta máquina ha demostrado que en un futuro no muy lejano se podrán iluminar las casas y accionar las fábricas mediante la energía producida por sistemas de conversión eólica."

Comenzó a hacer realidad su sueño Dinamarca, una vez más pionera en la explotación de esta fuente de energía limpia y renovable. A lo largo de los años cuarenta, este peque-

ño país carente de combustibles fósiles y de potencial hidráulico vio cómo la fuerza del viento suministraba grandes cantidades de electricidad. El ejemplo del profesor La Cour había cundido. Aerogeneradores tipo Lykkegaard y FLS-Aeromotor funcionaron durante varias décadas produciendo millones de kWh al año. El mayor de ellos, un tripala de 24 metros de diámetro y 70 kW de potencia, producía 140.000 kWh/año. Instalado en la isla de Falster, funcionó desde 1942 hasta 1958, y el kWh salía a mitad de coste que el generado mediante combustibles fósiles.

A partir de la Segunda Guerra Mundial, y bajo la dirección de J. Juul, se emprendieron los trabajos que culminaron con la construcción del aerogenerador de Gedser (1957), tripala de 24 metros de diámetro y 200 kW de potencia. Su producción alcanzaba casi 400.000 kWh/año y estuvo funcionando a la perfección hasta 1967.

Otras experiencias exitosas también tuvieron lugar en Inglaterra (aerogenerador construido por J. Brown para la North Scotland Hydroelectric Board, tripala, 15 metros de diámetro y 100 kW de potencia), en Francia (aerogenerador BEST-Romani, tripala de 30 metros de diámetro y 800 kW de potencia, que estuvo funcionando desde 1958



PHOTO

California posee los parques

hasta 1963 en Nogent-le-Roi; aerogeneradores Neyrpic de 132 kW y 1.000 kW en Saint-Remydes-Landes), en Alemania (aerogeneradores diseñados por el profesor U. Hütter, de 10 kW hasta 100 kW. El mayor de ellos funcionó en Stotten más de 6.000 horas entre 1957 y 1968).

La década de los setenta pasará a la historia como aquella que contempló el reconocimiento de una tecnología que interesadamente se intentó arrinconar, a pesar de haber demostrado su viabilidad técnica y económica. Buscar por qué se abandonaron casi todos los proyectos eólicos de los años cincuenta y sesenta sería cuestionar la vía energética que se ha generalizado a lo largo de los últimos años en los países industrializados, basada en el petróleo y las nucleares. Incluso en nuestro propio país no se puede alegar ignorancia, a tenor de las palabras del que fuera presidente de la extinta Comisión Nacional de Energías Especiales (1961): "Actualmente existen prototipos de instalaciones eólicas cuya construcción en serie permitiría iniciar la explotación



PHOTO

Sala de registro y control, totalmente informatizada, del parque de Rosas (Gerona).



... con un total de 17.000 aerogeneradores y 1.500 MW de potencia instalada.



agosto de 1990 fue inaugurado en Gales el mayor aerogenerador europeo de eje vertical. Con una altura de 43 metros y un diámetro del rotor de 35 metros, tiene una potencia de 500 kW, suficiente para cubrir la demanda eléctrica de 50 viviendas.

Objetivo año 2000: en todo el mundo, 9.000 megawattios

industrial de la energía del viento.” De todas formas, sería injusto no mencionar algunos loables esfuerzos realizados en California a partir de 1973, o la singular experiencia de la escuela de Tvind, en Dinamarca, donde en 1975 se inició la construcción de un aerogenerador de 54 metros de diámetro. Desde entonces ha estado funcionando más de 40.000 horas y generado 7 millones de kWh. Tuvo que llegar la llamada segunda crisis del petróleo (1980), tuvieron que presentarse los primeros problemas con la energía nuclear y detectarse los síntomas del calentamiento global de la atmósfera debido a las emisiones de CO₂ producidas por los combustibles fósiles, para que la energía eólica empezara a ser tomada en seria consideración. Hoy ya nadie se atreve a dudar de que la eólica es una fuente de energía plenamente competitiva frente a

las convencionales, como lo han demostrado las experiencias de los parques eólicos de California y de Dinamarca –los más importantes del mundo, con potencias instaladas de 1.500 MW y 300 MW respectivamente–, que han sido posibles gracias a la combinación de la iniciativa privada y el soporte gubernamental.

Durante la década de los ochenta se han instalado en el mundo más de 20.000 aerogeneradores, con una potencia cercana a 2.000 MW, generando cerca de 3.000 millones de kWh/año (año 1990). Según el Dr. D. Linley, presidente de la Asociación Europea de Energía Eólica, se prevé que en el año 2000 haya instalados, sólo en Europa, 3.000 MW eólicos, y 9.000 MW en todo el mundo. En España, el último Plan de Energías Renovables (1989) calcula instalar 70 MW hasta el año 1997. Mientras tanto, la situación actual es la siguiente: Parque de Ontalafia (Albacete) 10 aerogeneradores (AG) y 300 kW; Tarifa, (Cádiz) 19 AG y 1.800 kW; La Muela (Zaragoza) 14 AG y 545 kW; Estaca de Bares (La Coruña) 13 AG y 1.650 kW; Rosas (Gerona), 6 AG y 550 kW; y Granadilla (Canarias) 5 AG y 1.050 kW. Total: 67 aerogeneradores y 5,9 MW de potencia.

En cuanto a los avances tecnológicos, los siete últimos años han sido decisivos, a pesar de las más que modestas inversiones gubernamentales en investigación y desarrollo: el coste del kilowatio instalado y de la energía producida ha disminuido en dos tercios, mientras que el factor capacidad supera el 25 por ciento y el factor disponibilidad llega ya al 95 por ciento. Hoy en día la energía eólica evita la introducción en la atmósfera de más de 3 millones de toneladas de CO₂ cada año, además de grandes cantidades de otros contaminantes. Y si llegan a hacerse realidad las previsiones de Comunidad Europea para cubrir el 20 por ciento de la demanda eléctrica con parques eólicos en el 2000, habremos ahorrado al efecto invernadero 250 millones de toneladas de CO₂ y 3 millones de óxidos sulfurados. Merece la pena intentarlo.