



EL SIGLO NUCLEAR

DE CURIE A MERKEL Y DE BECQUEREL A FERMI

Jordi Bruno

Desde que se descubrió y hasta que fue utilizada con fines bélicos o para producir electricidad, la energía nuclear ha marcado las diferentes etapas del siglo xx. Una fuente de energía relativamente joven cuyo futuro se perfila muy difuso, a causa de los riesgos que plantea y de la corriente antinuclear que se reaviva cada día con más fuerza en la sociedad occidental.

Tendríamos que decir que «el siglo nuclear» tiene bastante más de cien años: en realidad es un siglo de 14.000 millones de años. Son los años que han pasado desde el *big bang*... sin embargo, el siglo xx ha sido el período en el que la denominada civilización humana ha podido gobernar, y por tanto utilizar, el fenómeno de la radiactividad, un fenómeno congénito a la construcción de nuestro planeta como lugar habitable. Vaya también por delante que tanto el resurgimiento como la decadencia de la energía nuclear en Europa han tenido como principal impulso el fanatismo germánico en sus vertientes nacionalsocialista y ecosocialista. Pero vayamos paso a paso...

■ EL ORIGEN DE TODO ESTO

El planeta Tierra en estos momentos es un sistema aislado desde el punto de vista termodinámico, es decir, que intercambia sobre todo energía con el gran reactor termonuclear que llamamos Sol y no intercambia materia con el resto del universo (exceptuando el polvo cósmico o algún meteorito). Eso no siempre ha sido así. Los orígenes de nuestro planeta han sido convulsos y fascinantes desde el punto de vista de la generación cósmica de los elementos que componen la tabla periódica. Entre todos estos elementos, y sobre todo entre los más pesados, aparecen isótopos inestables que son el origen del fenómeno de la radiactividad.

La observación de este fenómeno se documenta en la transición del siglo xix al siglo xx. En 1895 Wilhem Roentgen descubrió la radiación ionizante y produjo los llamados rayos X, en realidad partículas o radiación alfa. En 1896, Henri Becquerel observó que la peblenda (dió-

xido de uranio) oscurecía las placas fotográficas y pudo demostrar que la causa era otra forma de radiación ionizante, la radiación beta. El matrimonio Curie –Pierre y Marie– bautizó estos fenómenos como radiactividad, en 1896, como resultado de su trabajo sistemático y pionero en la determinación de elementos radiactivos a partir de la peblenda que desembocó en el descubrimiento del polonio. Ya en 1898 Samuel Prescott mostró que la radiación ionizante destruía las bacterias de los alimentos. Paul Ulrich Villard observó una tercera forma de radiación

ionizante en sus experimentos con sales de radio en la École Normale Supérieure de París en 1900. Tres años después Ernest Rutherford la llamó rayos gamma.

Todas estas observaciones requerían una cierta sistematización y fue Ernest Rutherford, considerado el padre de la energía nuclear, quien empezó a intentarlo. Él fue el primero en demostrar que la emisión de partículas alfa o beta de un elemento inestable generaba

un elemento diferente del original. En sus experimentos con nitrógeno y partículas alfa observó la producción de oxígeno. Asimismo, en 1911 Rutherford propuso que la carga positiva del átomo se concentraba en una esfera de radio muy pequeño (10^{-14} m), a la que denominó *núcleo*. Por contra, la carga negativa se localizaba en un espacio más grande (10^{-10} m) en forma de electrones.

■ ENTRAN LOS TEÓRICOS

Todo este hervidero de observaciones experimentales coincidió y alimentó los fascinantes desarrollos en el

«EL FUTURO DE LA ENERGÍA NUCLEAR DEPENDERÁ DE LA ACEPTACIÓN SOCIAL DE UNA TECNOLOGÍA ALTAMENTE ESTIGMATIZADA POR LA FORMA COMO NACIÓ Y POR EL RIESGO QUE IMPLICA»





campo de la física teórica que se estaban cocinando en un momento muy especial del desarrollo científico. Si bien el siglo XIX había sido el de los grandes avances en la química, está claro que la primera mitad del siglo XX ha sido el período que ha marcado el desarrollo de la física teórica y en especial el de la física relativa a la constitución del átomo. En este sentido el trabajo del físico danés Niels Bohr fue capital para la interconexión entre las observaciones ya mencionadas y el desarrollo de la teoría cuántica del átomo. Todo eso pasaba a principios de los treinta, una década en la que se desencadenó todo un rosario de acontecimientos sociales, económicos y científicos que creo que son la clave para entender el nacimiento y quizá también la muerte de la energía nuclear.

En 1932, James Chadwick descubrió el neutrón como partícula atómica sin carga del núcleo. En 1932, Cockcroft y Walton produjeron transformaciones nucleares bombardeando átomos con protones acelerados. Fue en 1934 cuando la hija de los Curie, Irène, y su marido, Frédéric Joliot, encontraron que algunas de estas transformaciones generaban radionúclidos artificiales (elementos radiactivos que no son estables). En 1935 Enrico Fermi, un físico italiano clave en el desarrollo de la fisión nuclear, estableció que si se utilizan neutrones en el bombardeo de átomos, la cantidad y variedad de radionúclidos que se generan crece.

A finales de 1938, Otto Hahn y Fritz Strassman demostraron en sus experimentos berlineses que elementos más ligeros, como el bario, se formaban indicando la existencia de la fisión atómica. Como veremos más adelante, este descubrimiento, hecho en el Berlín de 1938, fue fundamental para explicar la metamorfosis de los programas de investigación nuclear hacia programas militares. Al mismo tiempo, Lisa Meitner, que ya había emigrado a Dinamarca, trabajando con Niels Bohr, demostró, conjuntamente con su sobrino, Otto Frisch, que el neutrón era capturado por el núcleo y que eso propiciaba la fisión del núcleo en dos; la energía que liberaba este proceso se calculaba en unos 200 millones de electronvoltios. El propio Otto Frisch lo confirmó experimentalmente en 1939.

En paralelo, Werner Heisenberg, padre del principio de incertidumbre, presidía el programa nuclear alemán bajo el Ministerio Alemán del Ejército, que inmediatamente lo encaminó hacia las aplicaciones militares. La creación de este programa, con el nombre de *German Uranverein*, fue el motivo principal para el desarrollo de los programas militares en Gran Bretaña y posteriormente en los Estados Unidos.

Este desarrollo científico tenía carácter universal, pero se centraba principalmente en los laboratorios de Cambridge, Copenhague, Berlín y Roma. Al mismo tiempo, y en el contexto de la revolución soviética, Rusia se intere-



© Vitold Muratov

Los descubrimientos sobre la radiactividad efectuados a finales del siglo XIX por Pierre y Marie Curie abrieron la puerta a las trascendentes aplicaciones tecnológicas de la energía nuclear llevadas a cabo a lo largo del siglo XX.

só por todos estos avances y primero destacó a sus científicos en los laboratorios internacionales, principalmente en Cambridge y en Berlín, pero a principios de los años treinta empezó a establecer sus propios laboratorios, liderados por los científicos que habían estado en el exterior, principalmente Kirill Sinelnikov, Pyotr Kapitsa y Vladimir Verdnadsky. La invasión de Rusia por las tropas alemanas propició la creación del programa nuclear militar de la URSS, que es básico para entender la noción de la Guerra Fría y sus ramificaciones en el marco de la peor catástrofe nuclear civil documentada hasta el momento.

■ LA NECESIDAD DE PRESERVAR LA CIVILIZACIÓN Y LA BOMBA ATÓMICA

En su magistral *The Making of the Atomic Bomb* Richard Rhodes documenta que, tras los logros de muchos de los científicos bautizados como padres (putativos) de la bomba atómica, había una voluntad firme de parar la barbarie nacionalsocialista que muchos de ellos habían sufrido personalmente, y la necesidad de que el pensamiento racional y científico doblegase el fanatismo nazi. En este



© Department of Energy (USA)

Los científicos norteamericanos habían centrado sus investigaciones en las aplicaciones civiles de la energía nuclear hasta el ataque de Pearl Harbor en 1941, momento en que se inició el Proyecto Manhattan y el desarrollo de la bomba atómica. En la imagen, el doctor Julius Robert Oppenheimer, director científico del Proyecto Manhattan, y el general Leslie Groves, cuando regresaron en septiembre de 1945 a la zona cero de la primera prueba de detonación de la bomba atómica, que había sido realizada el 16 de julio de 1945 en Trinity, cerca de Alamogordo (Nuevo México).

sentido, ya desde el comienzo de la Segunda Guerra Mundial, los científicos británicos presionaron a su gobierno y el resultado de eso fue el *Memorándum Frisch-Peierls*, que ponía las bases para la construcción de la bomba atómica a partir de 5 kg de uranio 235.

A partir de aquí se creó el comité interuniversitario conocido como MAUD, que, conjuntamente con la empresa ICI (Imperial Chemical Industries), produjo los primeros kilogramos de hexafluoruro de uranio y estableció los mecanismos para la generación de neutrones lentos y la sección cruzada del uranio 235. El producto final del comité MAUD fueron dos informes: *Use of Uranium for a Bomb* y *Use of Uranium as a Source of Power* en julio de 1941.

Curiosamente, los científicos de los Estados Unidos, y particularmente la Academia Nacional de Ciencias, solo centraron la atención en el desarrollo energético, y no en el militar, hasta que el 7 de diciembre de 1941 los

«EL PROGRAMA “ATOMS FOR PEACE” DE EISENHOWER PRETENDÍA REORIENTAR DE MANERA SIGNIFICATIVA LOS ESFUERZOS CIENTÍFICOS HACIA LA UTILIZACIÓN NO MILITAR DE LA ENERGÍA NUCLEAR»

■ «ÁTOMOS PARA LA PAZ»: LA GENERACIÓN ELÉCTRICA NUCLEAR

Tan solo hicieron falta cinco años para llevar a cabo una parte de lo que se diseñó en el *Memorándum Frisch-Peierls*. Una vez acabada la guerra se podía empezar a pensar en la segunda parte del memorándum, «la caldera nuclear». La consecuencia directa del desarrollo de las bombas atómicas fue un incremen-

tado notable de la tecnología nuclear tanto por la parte angloamericana como por la parte soviética. Este desarrollo tecnológico dio paso a la creación de los primeros reactores nucleares de carácter experimental. El primer reactor capaz de dar energía fue el llamado Experimental Breeder Reactor (EBR-1), que se puso en marcha en diciembre de 1951 en Idaho. En 1953 el presidente Eisenhower propuso el programa «Atoms for Peace», que pretendía reorientar de manera significativa los esfuerzos científicos hacia la utilización no militar de la energía nuclear.

japoneses atacaron Pearl Harbor. A partir de la entrada en el conflicto bélico, las bases del Proyecto Manhattan se pusieron en marcha, y durante unos meses, científicos británicos y americanos, conjuntamente con destacados exiliados centroeuropeos, colaboraron intensamente. El fruto de esta colaboración se dio el mes de agosto de 1943, cuando el presidente Roosevelt y Winston Churchill firmaron un acuerdo por el que los británicos intercambiaban los informes de la comisión MAUD con los americanos, quienes, a su vez, les hacían llegar copias de los informes de progreso del Proyecto Manhattan.

Como ya es bien sabido, el primer ingenio atómico se hizo explotar en Alamogordo (Nuevo México), el 16 de julio de 1945. La primera bomba atómica fue lanzada sobre Hiroshima el 6 de agosto del mismo año y la barbarie fue completada en Nagasaki con la segunda bomba, que se lanzó el 9 de agosto. Este mismo día la URSS declaraba la guerra a Japón y al día siguiente se producía la rendición del ejército nipón. Contrariamente a lo que se habían propuesto los iniciadores, la bomba atómica no fue utilizada para parar el horror nazi, los alemanes habían desestimado la construcción de su bomba en 1942, y solo fue el inicio de una escalada militar sin precedentes. El programa nuclear soviético se puso rápidamente en marcha y la primera bomba atómica soviética fue detonada en Semipalatinsk (Kazajstán) en agosto de 1947. La «caliente» guerra fría estaba servida y la energía nuclear nunca se podría quitar de encima el estigma de su nacimiento.





Distribución de las centrales termonucleares de fisión en Europa (2011). Se aprecia una concentración en Europa occidental, sobre todo en Alemania, Francia y el Reino Unido.



Estados Unidos es el país con más centrales termonucleares de fisión del mundo. Correlativamente a la demanda eléctrica, las centrales se concentran en los estado orientales, los más poblados e industriales.

**«TODO INDICA QUE CUALQUIER
DESARROLLO DE LA ENERGÍA NUCLEAR
SE DARÁ EN LOS PAÍSES EMERGENTES,
ESPECIALMENTE EN CHINA Y LA INDIA»**



Japón confía una parte considerable de su generación eléctrica a las centrales termonucleares de fisión. En la misma dirección van China y la India. Es en los países de economías llamadas emergentes donde se prevé un mantenimiento y más activo desarrollo de esta tecnología en las próximas décadas, aunque el accidente de Fukushima (2011) puede introducir variables sensibles en el panorama.

Al mismo tiempo, en la URSS se trabajaba en el desarrollo de varios tipos de reactores y el primer reactor capaz de generar electricidad a escala comercial, el AM-1, se puso en marcha en Obnisk. Este reactor moderado por grafito fue el predecesor del tristemente famoso de Chernóbil, de tipo RBMK (acrónimo de *Reactor Bolshoy Moshchnosti Kanalniy* [*Реактор Большой Мощности Канальный*], es decir, reactor de gran potencia tipo canal). Ambos tenían como factor de diseño común la semejanza en cuanto a diseño a los empleados para producir plutonio para armamento nuclear.

Por la parte norteamericana, el desarrollo más importante en aquel momento fue el de los reactores de agua presurizada o PWR (acrónimo de *Pressurized Water Reactor*), que utilizaban dióxido de uranio enriquecido y que se moderaban y refrigeraban con agua (y no con agua pesada). El primer reactor de este tipo (Mark-1) lo desarrolló la marina americana para sus submarinos y fue instalado por primera vez en el *USS Nautilus*. A partir de aquí se desarrolló el reactor de PWR de demostración en Shippingport, Pensilvania, con 60 megavatios (MW) y que estuvo en funcionamiento desde 1957 hasta 1982.

Como los británicos no tenían acceso a uranio enriquecido, en Gran Bretaña se optó por desarrollar reactores que utilizaban uranio metálico, moderados por grafito y refrigerados con gas. Este tipo de reactores se conocen por Magnox y el primero de ellos se puso en funcionamiento en Calder Hall en 1957 y estuvo en servicio hasta el 2003. Se pusieron en marcha hasta 26 unidades de este tipo de reactores en Gran Bretaña.

■ EL DESARROLLO COMERCIAL DE LA ENERGÍA NUCLEAR: 1960-1985

Westinghouse empezó a desarrollar y a mejorar el diseño de los primeros PWR y el primer reactor de 250 MW se puso en marcha en Yankee Rowe en 1960. Fue operativo hasta 1995. Mientras tanto Argonne National Laboratory desarrolló los reactores de agua en ebullición o BWR (acrónimo de *Boiling Water Reactor*) y la General Electric puso en marcha el primer BWR de 250 MW, conocido como Dresde-1. Hacia final de los sesenta los reactores que se diseñaban, tanto PWR como BWR, eran de 1.000 MW.

Canadá desarrolló, por otra parte, su primer reactor comercial de CANDU fuel, que utilizaba dióxido de uranio natural y agua pesada como moderador y refrigerador. El programa nuclear francés no militar empezó en 1956 con un diseño muy similar al Magnox, pero a continuación se decantó por desarrollar su propia tecnología PWR en tres generaciones sucesivas, estrategia que le ha permitido tener un lugar predominante dentro del mercado nuclear mundial. Mientras tanto, en la URSS se optó por conti-



El accidente de Fukushima, el 11 de marzo de 2011, ha motivado un cambio de actitud generalizada ante la energía termonuclear de fisión. En la imagen, central nuclear de Cofrentes, en Valencia.

nuar desarrollando el tipo RBMK y el primero de 1.000 MW se puso en marcha en Sosnovy Boy en 1973.

En España, la primera central nuclear la construyó Westinghouse en Zorita (Cáceres), y era del tipo PWR, con 150 MW de potencia. Se puso en marcha en 1968 y estuvo funcionando hasta 2006; actualmente está en proceso de desmantelamiento. La primera generación de reactores nucleares se completó con el de Garoña (Burgos), un reactor BWR (General Electric) de 460 MW que tiene permiso de explotación hasta el 2013, y finalmente la central Vandellòs I (Tarragona), inaugurada en 1972, que fue el único reactor moderado con grafito y refrigerado con gas o GCR (acrónimo de *Gas Cooled Reactor*) que se construyó en España. De una potencia

instalada de 480 MW, funcionó hasta 1989, cuando sufrió un incendio en la sala de turbinas que fue calificado de importante en el ámbito internacional. Las inversiones necesarias para mejorar el reactor prescritas por el Consejo de Seguridad Nuclear lo hicieron económicamente inviable y se desmanteló.

La segunda generación de centrales instaladas en nuestro país fueron las de Almaraz I y II en la provincia de Cáceres (PWR Westinghouse, 2×1.040 MW), Ascó I y II en Tarragona (PWR Westinghouse, 2×1.035 MW) y Cofrentes en Valencia (BWR General Electric, 1.011 MW). La tercera generación de centrales nucleares la constituyen las centrales de Vandellòs II (PWR Westinghouse, 1.035 MW) y la de Trillo en Guadalajara (PWR Siemens, 1.077 MW). Estas últimas se pusieron en marcha en los años 1987-88 y son las últimas centrales establecidas en España.

Desgraciadamente, en 1984, a consecuencia de los ataques terroristas de ETA a la central de Lemóniz (Vizcaya), murieron cuatro obreros y dos ingenieros. La central no se llegó a poner nunca en marcha y el gobierno de Felipe González estableció la moratoria nuclear en España. Como consecuencia, de los 7.700 MW de potencia nuclear instalada en España, el 40% están en Cataluña; Cataluña y el País Valenciano juntos acaparan el 53% de la potencia nuclear española.

■ LA ENERGÍA NUCLEAR, HOY

El desarrollo comercial de la energía nuclear básicamente ha estado utilizando las tecnologías PWR y BWR. De la totalidad de reactores nucleares comerciales instalados actualmente, un 57% son del tipo PWR, un 22% de diseño BWR, mientras que los refrigerados por gas (GCR) son un 8%. El 13% restante son de diseños diversos, incluido el nefasto RBMK soviético.

Los Estados Unidos de Norteamérica son el país que domina la implantación comercial de esta tecnología, con 807 billones de kWh de generación hasta el año 2010; seguidos de Francia, con 408 billones de kWh, y Japón, con 279 billones de kWh. Rusia, Corea del Sur y Alemania tenían alrededor de 140 billones de kWh; Canadá, Ucrania y China, alrededor de 80 billones de kWh, y cierra la lista de los diez primeros países España, con 60 billones de kWh nucleares generados hasta el año 2010. Es interesante ver que la opción nuclear ha sido estratégica para países como Francia, pero también para Corea del Sur. En ambos casos el planteamiento estratégico de defensa de la independencia del país ha sido fundamental en el desarrollo de la opción comercial nuclear. Una lección que deberíamos aprender en nuestro país. Como se puede ver en los mapas, la distribución geográfica de las centrales nucleares se concentra sobre



ENERGÍA Y EDIFICACIÓN: COOPERACIÓN ‘VERSUS’ AUTOSUFICIENCIA

JOAN SABATÉ

Mejorar la eficiencia en el sector de la edificación es clave para reducir el consumo de energía. En el ámbito de la UE, la construcción representa el 40% del consumo de energía final total.¹ En nuestro país,² una vivienda consume anualmente, de media, unos 120 kWh por m², y emite unos 25 kg de CO₂ equivalente por m² para uso cotidiano, mientras que construirla representa la emisión de unos 1.000 kg de CO₂/m² adicionales.

Además, es un sector con un período de reposición extremadamente lento, lo que hace que las mejoras en las nuevas construcciones tarden mucho tiempo en generalizarse al conjunto del parque edificado. La alta inversión inicial, económica y ambiental, que implica construir un edificio hace recomendable intensificar las políticas de rehabilitación, en detrimento de las nuevas construcciones. Aun así, el ritmo de la rehabilitación es lento. Países pioneros, como Suiza, alcanzan ratios del 2,5% anual, mientras que en Cataluña, para reducir el 20% de las emisiones de CO₂ equivalente del sector habría que rehabilitar 70.000 viviendas anuales.³

La reducción de los consumos de las edificaciones pasa en primer lugar por reducir sus necesidades de calefacción, refrigeración y producción de agua caliente. En el Mediterráneo, el objetivo sería alcanzar demandas de calefacción inferiores a los 10 kWh por m² y año, reduciéndolas hasta una quinta parte de las actuales. Eso se consigue incrementando el aislamiento, pasando de los 5 cm actuales a 15-20 cm, eliminando los puentes térmicos, utilizando con inteligencia dos mecanismos específicos para el calor como son la inercia térmica y la ventilación, y, sobre todo, gestionando adecuadamente las aportaciones solares: captando el sol en invierno –y el urbanismo nos lo tiene que permitir– y protegiéndonos de manera efectiva en verano.

Reducir la demanda implica necesitar menos energía para obtener el confort deseado. Para producir el resto

habrá que utilizar aparatos más eficientes. En este sentido, la centralización de los sistemas de producción, con contadores de consumo individuales suele ser una buena estrategia. Pasar de la caldera individual a los sistemas colectivos con bombas de calor geotérmica, cogeneración o calderas de biomasa, a pesar de tener que superar a menudo las reticencias de los usuarios, permite conseguir reducciones adicionales del 30% al 50% de los consumos de energía final.

En este sentido, habría que considerar los edificios –y de manera más amplia el conjunto de la ciudad– como potenciales productores de energía, y no solo como consumidores, y hacerlo con una visión integradora. No se trata ya de pensar en la casa autosuficiente, como hacían los ecologistas de los años setenta, sino de conside-

rar el conjunto urbano como una suma de edificios muy eficientes energéticamente interconectados a diferentes escalas, que colaboran para obtener la máxima eficiencia. Un modelo más próximo a la simbiosis defendida por la biología contemporánea que a la competitiva autosuficiencia de un cierto darwinismo ya superado.

Por eso habría que acercar la generación eléctrica a los puntos de consumo y centralizar la producción térmica hasta hacerlas

coincidir (cogeneración distribuida, redes integradas e inteligentes de calor y electricidad). La correcta escala de producción (bloque, manzana, barrio...) permitiría, además, recuperar las sinergias aportadas por la complejidad de usos, como las producidas por la demanda simultánea de frío y electricidad para oficinas y equipamientos y de calor para producir agua caliente en las viviendas.

Finalmente, sería un error defender que la sostenibilidad pasa por eliminar completamente la refrigeración. En entornos urbanos densos, con un nivel de ruido o contaminación altos, o en zonas muy cálidas, los sistemas pasivos pueden no ser suficientes, someten a los usuarios a una situación prolongada de incomodidad o los fuerza a elegir ventilación *versus* ruido. Aceptar eso empeoraría la calidad de vida de las personas, que volverían a optar por los anticuados aparatos individuales colgados de fachadas y balcones. ☺

Joan Sabaté Picasó. Arquitecto y director de SaAS: Arquitectura y sostenibilidad (Barcelona).

«NO SE TRATA DE
PENSAR EN LA CASA
AUTOSUFICIENTE SINO DE
CONSIDERAR EL CONJUNTO
URBANO COMO UNA SUMA
DE EDIFICIOS EFICIENTES
ENERGÉTICAMENTE
INTERCONECTADOS»

¹ Resolución de 23 de abril de 2009, del Parlamento Europeo, recogida en la *Energy Performance of Buildings Directive* de 19 de mayo de 2010.

² MAÑÀ, F. *et al.*, 2003. *Paràmetres de sostenibilitat*. ITeC. Barcelona.

³ SABATÉ, J., 2011. «Construcció i habitatge: objectius i accions». In GAUSA, M. (coord.). *Cap a un habitat(ge) sostenible*. CADS. Barcelona.



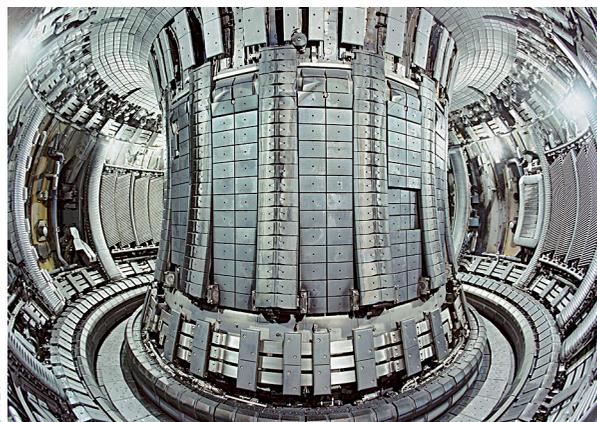
todo en la costa este de los Estados Unidos, Europa Central, Japón y Corea del Sur. En el resto de continentes el desarrollo de la energía nuclear tiene un carácter más bien anecdótico, con algunos reactores en México, Argentina, Brasil y Suráfrica.

La distribución de centrales nucleares seguramente será muy diferente en el futuro, porque, a medida que las instalaciones actuales en Europa y posiblemente en Norteamérica lleguen al final de su vida programada, difícilmente habrá una renovación en este entorno. En este sentido, las decisiones de Alemania y las no-decisiones de otros países que mantienen una moratoria nuclear *de facto* indican que cualquier desarrollo de la energía nuclear tendrá lugar en los llamados países emergentes, especialmente en China y la India. Aunque, al cierre de este artículo, nos llega la noticia de la aprobación del proyecto de construcción de dos nuevas centrales nucleares en los Estados Unidos de Norteamérica. Eso daría apoyo a la hipótesis de un cierto relanzamiento de la energía nuclear en los mercados no estrictamente mediatisados por las consecuencias de Fukushima.

■ **ESCENARIOS DE FUTURO:
¿FINAL DE LA FISIÓN E INICIO
DE LA FUSIÓN?**

Como ya dijo irónicamente en su momento uno de los principales actores de este drama, Niels Bohr, las predicciones son difíciles, especialmente sobre el futuro. En este sentido, el futuro de la energía nuclear no dependerá solamente de las capacidades de desarrollo tecnológico, ni de las nuevas generaciones de reactores de fisión, ni de realización de la quimera de la fusión. Los factores principales de desarrollo tendrán que ver con la aceptación social de una tecnología altamente estigmatizada por la forma como nació y en la que la ecuación de riesgo (*riesgo = probabilidad × consecuencias*), el factor *consecuencias* es muy elevado, aunque la *probabilidad* de accidentes sea baja. En este sentido, el accidente de Fukushima ha sido paradigmático: la probabilidad de que se desencadenase un terremoto de magnitud 9 en la escala de Richter capaz de provocar un tsunami de enormes proporciones era realmente muy baja, pero las consecuencias han sido muy importantes y creo que de mucho impacto para el desarrollo de la energía nuclear en los próximos diez o veinte años. Así, en Alemania, donde de hecho todo empezó, impulsado por el fanatismo de un régimen perverso y la indiferencia de la sociedad en general, se vuelven a desencadenar acon-

**«EL ACCIDENTE DE
FUKUSHIMA HA SIDO
PARADIGMÁTICO, PORQUE
LA PROBABILIDAD DE QUE
SE DESENCADENASE UN
TERREMOTO SEGUIDO
DE UN TSUNAMI ERA
MUY BAJA, PERO LAS
CONSECUENCIAS HAN SIDO
MUY IMPORTANTES»**



© ITER
Energía nuclear de fusión: ¿realidad futura o sueño inalcanzable? El reactor Tokamak del ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor), el programa más ambicioso de investigación nunca abordado, trata de conseguir el confinamiento magnético de una mezcla de deuterio y tritio llevada al estado de plasma por calentamiento hasta a más de 150 millones de °C. Esta especie de Sol en miniatura permitiría obtener cantidades inmensas de energía de origen nuclear sin apenas radiación peligrosa.

tecimientos catalizados por otra clase de fanatismo, el antinuclear, propiciado por un gobierno débil que necesita el voto de los fanáticos para continuar gobernando.

Según las estimaciones hechas por la misma industria nuclear (*Nuclear Century Outlook, WRN, 2012*), se prevé que acabará habiendo unos 2.000 gigavatios (GW) de potencia nuclear instalada en la más restrictiva de las previsiones y hasta unos 11.000 GW en las más optimistas. Resulta interesante ver que hasta el 2020 las previsiones al alza y a la baja son muy coincidentes y

que el crecimiento más fuerte (en el escenario optimista) no empieza hasta el 2060, aproximadamente. Eso solo significa que las incertidumbres sobre el desarrollo de la energía nuclear son en este momento muy altas y que solo podemos esperar un crecimiento orgánico basado en la prolongación de los reactores en operación, la ejecución de los proyectos que ya están en marcha y el desarrollo de nuevos grandes proyectos en la India y China.

El siglo nuclear ha sido científicamente apasionante, socialmente convulso y acaba económicamente debilitado. En el campo de la generación energética nuclear, como en tantos otros, el antiguo predominio euroamericano será sustituido por la dominación asiática. Todo lo hace prever. ☺

Jordi Bruno. Director de la Cátedra Enresa-Amphos en Sostenibilidad y Gestión de Residuos, Universidad Politécnica de Cataluña.

