

ANALYTICAL ENGINEERING PEACEFUL COEXISTENCE OF NATURE, THE ATOM AND THE MAN

ABSTRACT

The accelerating scientific and technological revolution transforming science into a direct productive force, it becomes reality that not long ago belonged to the world of fantasy. But the vast and increasing human activity is also of negative consequences. We note with alarm and concern a river rushing past, suddenly dried up, that the suburban pine is no longer attractive to urban noise has increased. The man and nature, two words that often jump to the pages of newspapers and books, spoken on radio and television or just in conversations. And it should be noted that until recently the term "ecology" that he only knew a small group of specialists. Preserving nature and they do not reduce but increase their fertility so that not only ourselves but future generations can enjoy its wealth, is one of the most important tasks. A task that can not leave anyone indifferent. This article provides an engineering analysis to the relationship nature, atom and man, in order to clarify and, in some ways to collaborate, to understand that human beings is a necessary symbiosis for the future of humanity.

Keyword: Nuclear energy, atom, radiation, radioactivity, fossil fuels.

INGENIERÍA ANALÍTICA A LA CONVIVENCIA PACÍFICA DE LA NATURALEZA, EL ÁTOMO Y EL HOMBRE

Roger Siberman Fields

Centro de Energía Atómica del Sur de Europa
rsibermanf@iespana.es

(Artículo de REFLEXIÓN) (Recibido el 28 de julio de 2009. Aceptado el 25 de septiembre de 2009)

RESUMEN

La revolución científico-técnica transforma a la ciencia en una fuerza productiva directa, convierte en realidad lo que no hace mucho pertenecía al mundo de lo fantástico. Pero la inmensa y creciente actividad del hombre reviste también consecuencias negativas. Con alarma e inquietud observamos que un río, antaño caudaloso, se secó de súbito; que el pinar suburbano dejó de ser atractivo, que el ruido urbano se intensifica. El hombre y la naturaleza, dos palabras que saltan con frecuencia a las páginas de diarios y libros, las pronuncian en la radio y la televisión o simplemente en conversaciones. Y hay que señalar que hasta hace poco el término "ecología" lo conocía sólo un reducido grupo de especialistas. Preservar la naturaleza y además no reducir sino elevar su fecundidad a fin de que no sólo nosotros sino también las generaciones venideras puedan disfrutar de sus riquezas, es una de las tareas más importantes. Una tarea que no puede dejar a nadie indiferente. En este artículo se hace un análisis ingenieril a la relación naturaleza, átomo y hombre, con el objeto de esclarecer y, de cierta forma colaborar, para que los seres humanos comprendan que es una simbiosis necesaria para el futuro de la humanidad.

Palabras clave: Energía nuclear, átomo, radiación, radiactividad, combustibles fósiles.

INTRODUCCIÓN

No son de ayer ni de hoy las relaciones entre la sociedad y la naturaleza. A lo largo de la historia de la humanidad las gentes, preocupadas en primer término por satisfacer sus necesidades, violaban con bastante frecuencia las leyes elementales de la naturaleza, y ahora es cuando se revelan con mayor agudeza las consecuencias. Actualmente, en los tiempos de la revolución científico-técnica, la potente industria

moderna ejerce una influencia colosal en la naturaleza.

En su actividad productiva los hombres crean y explotan máquinas, edificios, carreteras, empresas, minas y muchas otras obras, sin las cuales es imposible el fomento industrial. Los residuos o desechos producen una degradación de la biosfera. Por ejemplo la producción agraria: en un año, para abonar los campos, se invierten unos cuatro millones de toneladas de

pesticidas; en la tierra se acumulan sustancias perjudiciales para el hombre; se supone que dentro de 50 años la concentración de arsénico en la tierra aumentará 250 veces. Las centrales térmicas causan ingentes daños al medio ambiente: actualmente se arrojan a la atmósfera entre 200 y 250 millones de toneladas de ceniza y unos 60 millones de toneladas de anhídrido sulfuroso (Sweet, 2006); en el año 2000 estos residuos llegaron a 1,5 mil millones de toneladas. Incluso las aguas residuales calientes, evacuadas sin enfriamiento especial de las centrales térmicas, influyen perjudicialmente en la flora y fauna de los ríos. El crecimiento del consumo de electricidad es un proceso objetivo imposible de frenar (Nuclear Energy Agency, 2007 -1). De lo que se trata es de reducir al mínimo los daños.

ECOLOGÍA Y ENERGÉTICA: FUERZAS DE ATRACCIÓN Y REPULSIÓN

Todos los países del planeta deben establecer normas ilimitadas de evacuación de desechos tóxicos a la atmósfera. A la administración de cualquier empresa que las vulnere se le debe imponer multas o llegar al cerramiento por los órganos de inspección sanitaria. Los estados deben invertir ingentes sumas para la construcción de instalaciones protectoras del medio ambiente, crear centros de hidrometeorología que reciban, procesen e informen acerca del estado del aire en las ciudades. En el mundo se estableció que la mitad de los desechos perniciosos en las grandes ciudades, corresponden a instalaciones energéticas y a los transportes automóviles (Bodansky, 2004).

Es el momento de cerrar las salas de calderas que funcionan con carbón o productos derivados del petróleo. Sin embargo, no es nada fácil acabar con esto.

Aún no ha llegado la hora de la tecnología sin residuos, pero a fin de acelerar su llegada para solucionar los problemas latentes relacionados con la protección de la naturaleza, los estados deben aumentar anualmente las asignaciones para lograrlo pronto; implementar esfuerzos para lograr este objetivo, de la misma manera que lo hacen para diseñar e implementar armamento de defensa. Es una cuestión de intereses en la que debe primar en invertir ingentes medios para mantener el equilibrio ecológico y también en los intereses de la

presente y futuras generaciones (Murray, 1990). Estamos obligados a preservar la naturaleza para nuestros nietos, que aprenderán a obtener energía sin gastos ni pérdidas suplementarias. Todos los métodos actuales que se utilizan para obtener electricidad influyen, de un modo u otro, en el medio ambiente; incluso las centrales hidroeléctricas, que a primera vista parecen inocuas. Entre otras cosas, la hidro-energética influye negativamente en el desagüe fluvial, incluso si es regulado artificialmente (Nuclear Energy Agency, 2007 -2). Con frecuencia eso incide de manera negativa en la fauna de los ríos; entorpece el desove de los peces; los pantanos inundan extensiones considerables de sembradíos y masas forestales.

Hoy, según los especialistas, la alternativa más razonable de todas las existentes es fomentar la energía nuclear (Hore-Lacy, 2006). En todo caso, a pesar de las contradicciones y divergencias en la apreciación de la energía nuclear en general, la opinión de la mayoría de los científicos coincide en un punto: las centrales nucleares no son peligrosas para el medio ambiente y para el hombre. A esta conclusión llegaron, a propósito, los participantes en una conferencia organizada por la IAEA -International Atomic Energy Agency- en 1977, en la ciudad austríaca de Salzburgo (IAEA, 2007).

De hecho, la experiencia acumulada en lo que concierne a centrales nucleares prueba que, desde el punto de vista ecológico, superan considerablemente a las centrales térmicas. Y este no es ni mucho menos el único argumento a favor de la energía átomo-eléctrica; las centrales nucleares son, más que nada, empresas industriales que, al evaluarlas, hay que tener en cuenta factores tales como rentabilidad, amortización, etc. (Nuclear Energy Agency, 2007 -2) ¿Qué dicen a ese respecto los economistas?

ENCONTRAR SALIDA A LA CRISIS ENERGÉTICA

El desarrollo de la civilización se ha ligado siempre a la búsqueda de nuevas fuentes de energía. Y a pesar de que de las fogatas del hombre primitivo nos separan muchos milenios, en este punto no hemos ido muy lejos. La humanidad sigue obteniendo por combustión 9 de 10 partes de la energía necesaria; se quema materia prima muy

preciosa como petróleo, carbón o gas para obtener infinidad de cosas necesarias y útiles (Shimizu and Fujii-e, 1995). Además, el coeficiente de rendimiento de las máquinas caloríficas -bien sea un motor de combustión interna o una instalación de fuerza de vapor- supone poco más de un tercio, así que la energía obtenida se utiliza sólo de manera parcial. Cada año en diversos países se ponen en funcionamiento centrales eléctricas de distintos tipos, la producción de electricidad en el mundo crece sin cesar y se duplica por término medio cada diez años. No cabe la menor duda de que en un futuro previsible, empezarán a escasear los recursos energéticos naturales conocidos y utilizados con ayuda de métodos técnicos tradicionales. Dicho con otras palabras, lo que la naturaleza creó a lo largo de épocas geológicas, puede consumirse en el curso de varios decenios (Tashimo and Matsui, 2008).

La gente quiere saber con claridad cuánta energía necesitará en un futuro más o menos próximo, por ejemplo dentro de 100 años. ¿Durarán mucho los métodos actuales de producción de energía para satisfacer las necesidades? ¿Romperá el equilibrio ecológico el fomento de la energía? Al respecto se expresan opiniones muy contradictorias y poco consecuentes (van Leeuwen, 1985). Con frecuencia se da por realidad lo imaginado, por ejemplo cuando se propone suplantar inmediatamente los tipos de combustible químico por nuevas fuentes recuperables, como la energía de las mareas, la del sol o la geotermal.

Son distintos los criterios acerca de las reservas de combustible existentes en nuestro planeta. Con bastante frecuencia no concuerdan unos con otros, y ya no es de extrañar que sea difícil evaluarlas. Además, todo lo que la naturaleza creó no puede equipararse a lo que por ahora es accesible para extraer con medios modernos. Por ejemplo, al extraer el petróleo, una parte considerable queda en el subsuelo, lo mismo ocurre con el carbón y el gas. Según datos estadísticos presentados en 1974 en la IX Conferencia Energética Mundial, casi el 88% de las reservas potenciales totales de combustibles útiles son sólidas, generalmente carbón (Nuclear Energy Agency, 2007 -3). Las reservas de éste se calculan aproximadamente en unos 112 billones de toneladas de

combustible convencional. Con esta cantidad se podría llenar un cubo gigantesco, cuyo lado sería dos veces mayor que el pico más alto del mundo, el Chomolungma o Everest. Digamos que esto no subraya tanto la ingente cantidad de reservas de hulla como su limitación.

Las reservas de combustibles líquidos - generalmente petróleo- se calculan en 740 mil millones de toneladas y las de gas aproximadamente en 630 (van der Pligt et al, 1984). Como regla, los especialistas en sus pronósticos se refieren a las reservas, que hoy se justifican económicamente, para extraerlas y utilizarlas. Son mucho menos que las potenciales: baste decir que en total, se estiman en unos 3,8 mil millones de toneladas de combustible convencional. ¿Durarán mucho estos recursos? No es fácil responder a esta cuestión. Si consideramos los resultados de investigaciones realizadas por varios autores, podemos determinar que al año 2020 el hombre consumirá 2,5 veces más energía que en 1975, y que en el 2050 el índice será de 8,3 veces (Forsberg, 2005). Esto significa que para mediados del siglo XXI se consumirán 3/4 partes de los recursos posibles. Estos pronósticos, un tanto cautos, indican que para el año 2100 el consumo de energía superará los recursos conocidos hoy de combustible orgánico (Nuclear Energy Agency, 2007 -2).

¿Cuáles son las vías de desarrollo de la energética mundial? La mayoría de los especialistas proponen concentrar los esfuerzos a elaborar nuevas fuentes de energía ecológicamente más puras y renovables - energía del viento, de las olas, marea, energía térmica del océano y del sol- (Hore-Lacy, 2006). Es verdad que a pesar de que prácticamente son inagotables, en el balance general de la energética mundial juegan por ahora un papel insignificante. Todos los intentos de utilizar en amplia escala dichas fuentes, los frena el bajo coeficiente de rendimiento y el alto costo de los equipos. Por lo que parece, se requerirá mucho tiempo para que estas fuentes puedan cubrir en cierta medida las necesidades energéticas del hombre.

Algunos científicos proponen asignar medios adicionales para fomentar las fuentes tradicionales de energía, en especial el carbón; a esta conclusión llegó un grupo de especialistas americanos, que estudian la

política energética nuclear, en su informe "Energética nuclear: problemas y alternativas" redactado recientemente (Herbst and Hopley, 2007). Es difícil aprobar semejante afirmación. Las reservas de carbón están repartidas por la tierra muy irregularmente: del 70 al 90% se concentran en sólo 3 países, incluido EE.UU., y a medida que se agotan, habrá que utilizar carbón de baja calidad; además, aumentará la contaminación de la atmósfera con ceniza y dióxido de azufre.

Hay que decir que es prematuro hacer pronósticos pesimistas; la ciencia conoce hoy métodos mucho más eficaces para producir energía. Se trata, en primer lugar, de la energía nuclear que se obtiene mediante reacciones en cadena al fisurar elementos pesados como el uranio y el plutonio. Tomemos una central eléctrica térmica que funciona con carbón de piedra y produce 15 mil millones de Kwh de electricidad al año, y gasta 5 millones de toneladas de carbón. Una central nuclear de idéntica potencia requerirá de 350 a 400 toneladas de uranio (Hore-Lacy, 2006).

Como se ve, la economía salta a la vista: se ahorran decenas de vagones en el transporte; el desarrollo de la energía nuclear es sobre todo muy importante para las regiones donde los recursos minerales son nulos o la extracción no es rentable, y donde no habrá que transportar electricidad a grandes distancias; se reducen las pérdidas, ya que las centrales nucleares se emplazan cerca de los lugares de consumo para que puedan producir electricidad barata. Los nuevos medios técnicos deberán ganarse un "lugar bajo el sol" al demostrar su racionalidad económica. Dicho con otras palabras: ser más rentables que sus predecesores. Puede decirse que los reactores nucleares industriales hace tiempo que superaron dicha etapa y hoy sólo las mejores centrales térmicas pueden concurrir con las nucleares por el costo de kWh (IAEA, 2007).

Por lo general, una central nuclear produce electricidad de entre 3 y 6 dólares por 1.000 kWh más barata que la térmica. Por ejemplo, durante los crudos inviernos registrados en el estado de Nueva Inglaterra -USA-, los reactores nucleares fueron los que asumieron todo el peso en la producción de electricidad. De esta manera hoy se hace cada vez más evidente que es racional fomentar la energía

nuclear. Según estimaciones de la OIEA, el potencial de esta energía en el mundo se duplicará por término medio cada cinco años (Marple and Young, 1999). Actualmente, en varios países la energía nuclear supone una notable proporción en la elaboración de energía: en Suiza alcanza el 20%, en Inglaterra el 15%, en Alemania el 12%, en los EE.UU. y en los países de la Unión Europea el 10% aproximadamente. Estos índices son característicos también para Bulgaria, Japón, la India y algunos otros países (Rullhusen, 2006).

EL ENTERRAMIENTO ETERNO

En una revista científica apareció un artículo en que se detallaba que había demasiadas personas que no sabían nada de la energía nuclear (Watson and Scott, 2009). Que cargue lo irónico de esa expresión la conciencia de su autor, pero lo que nadie puede negar es el sinfín de discusiones que suscitó este tema en los últimos tiempos en muchos países. Por ejemplo, en el gobierno de Suecia surgieron divergencias sobre la cuestión de construir o no centrales nucleares en el país, lo que produjo una crisis gubernamental y el cambio de gabinete; el presidente de EE.UU.

Jimmy Carter propuso en su gobierno no utilizar la tecnología nuclear con plutonio; muchos recuerdan los acalorados debates desarrollados en el parlamento alemán al mismo respecto; los enemigos de la energía nuclear recurren a huelgas sedentarias; constantemente hay choques con la policía y se llegan a presentar hasta víctimas. Así pues estas cuestiones científico-técnicas adquieren carácter social y político (van der Pligt et al, 1984). A esta lucha se han visto arrastradas gentes que a veces sin querer son instrumento en la lucha coyuntural de los monopolios, los productores de toda clase de energía. Por lo que parece, habrá que examinar si son justas las objeciones de los enemigos de la energía nuclear.

La radiación nuclear no es un fenómeno nuevo. El hombre apareció y se desarrolló en un mundo lleno de radiactividad; partículas cósmicas traspasan nuestro cuerpo cada segundo; el suelo que pisamos, las paredes de nuestras casas, el agua, los alimentos que consumimos son radiactivos; el uranio, el torio, el radio y otros elementos, están muy difundidos por el planeta y nosotros existimos

al lado de ellos; más aún, nuestro cuerpo también es radiactivo. El fondo natural radiactivo existe en nuestra tierra desde que ésta apareció y de hecho no ha variado su intensidad, y el organismo humano hace tiempo que se acomodó a la radiación natural (Tae et al, 2007). La tarea consiste en que el uso de las instalaciones nucleares no aumente ese fondo natural, objetivo que pueden lograr la ciencia y la técnica actuales.

A juicio del eminente científico soviético, especialista en física nuclear y presidente de la Academia de Ciencias de la antigua URSS, Anatoli Alexándrov, los problemas fundamentales para proteger al hombre y al medio ambiente de perniciosas influencias de la industria nuclear, están ya resueltos en el plano científico-técnico, y elegir unos u otros métodos protectores depende sólo del costo del equipo (Yarygin et al, 2001). Cuando el hombre descubrió el fuego recibió también el humo y la ceniza de hogueras y calderas; cuando descubrió la energía nuclear, recibió la "ceniza" radiactiva de las empresas nucleares. Estos desechos, para muchas personas, parecen una amenaza insuperable y omnipresente; es lógico que nos preguntemos si existe el peligro más mínimo de que los residuos radiactivos de una central nuclear puedan penetrar en gran cantidad en el medio ambiente, y si es conveniente proseguir esta empresa arriesgada (Vaillancourt et al, 2008).

En 1975 había en el mundo 130 centrales nucleares con una potencia total de 83 millones de kilovatios. El aumento de dichas centrales abre esperanzadoras perspectivas para cubrir plenamente las necesidades energéticas. Además, la cantidad de residuos radiactivos no ha crecido considerablemente: según cálculos de la revista americana *Time*, el total de desperdicios de las centrales nucleares en el año 2000 ocupaba la superficie de un campo de fútbol, si se colocaba en una capa de seis pies de grosor (Rullhusen, 2006).

Los residuos radiactivos se dividen en tres categorías fundamentales: 1) residuos del funcionamiento y reparación de centrales nucleares: gases y líquidos, restos de combustible, equipo radiactivado, etc.; 2) residuos de isótopos radiactivos utilizados en distintas ramas industriales, instituciones científicas y médicas; y 3) residuos de elementos termógenos de las centrales

nucleares en las empresas que reponen el combustible utilizado (Vaillancourt et al, 2008). El mayor peligro corresponde al combustible nuclear que se extrae del reactor tras cumplir el plazo de funcionamiento. Dicho combustible contiene numerosos productos radiactivos formados durante la fisión de núcleos atómicos.

La radiactividad del combustible usado baja al principio rápidamente, los primeros diez años en 1.000 veces; después el ritmo disminuye bruscamente, sólo al cabo de 100 mil años bajará otras 1.000 veces. Estos desechos, a diferencia de otros residuos industriales, no se pueden destruir por ningún método conocido hasta hoy (Vaillancourt et al, 2008). No pierden su radiactividad incluso elaborándolos químicamente, por eso requieren un control seguro: se concentran en pequeños volúmenes y se aíslan. Los trabajadores de la industria nuclear llaman a esto "enterramiento eterno".

EL PRIMER CONTACTO

Si la noticia sobre las explosiones nucleares en Japón espantó al mundo entero, la noticia de la puesta en funcionamiento de una central nuclear colmó de esperanzas los corazones de las gentes, porque la energía nuclear puede, y debe, ser utilizada en bien del hombre (Bodansky, 2004). La historia de la energía nuclear comenzó en unos complejos tiempos, a mediados de los años 50. En el mundo ardían conflictos militares: caían bombas sobre Guatemala; en Indochina tronaban los cañones; crecía la histeria militar; el Pentágono planeaba un golpe nuclear contra los países del socialismo. Por entonces, no lejos de Moscú, en la pequeña ciudad de Obninsk, se comienza a construir una central nuclear; la energía del átomo por primera vez se utilizaría para fines diferentes a los bélicos.

Empezaron a repiquetear los contadores de neutrones, se movieron las agujas de los instrumentos. Regulado por el hombre comenzó el proceso de disgregación del átomo. Al cabo de mes y medio se elaboró el primer "vapor atómico", que con fuerza se lanzó contra las palas de las turbinas y por los cables fluyó la corriente nacida del átomo. La potencia de la primera central -5.000 kw- hoy podría parecer modesta, pero para lograrla los faraones de Egipto necesitarían 100 mil esclavos; en la edad media, 10 mil caballos; toda la flota de vela de Gran Bretaña en la

época de su apogeo no podría desarrollar semejante potencia.

COEFICIENTE DE RESISTENCIA

En la exposición mundial de Bruselas en 1958, en el local del famoso "Atomium", símbolo del siglo XX, había el siguiente *stand*: un dispositivo automático acercaba periódicamente un papel amarillo al contador de partículas nucleares, y este contador, a causa de la alta radiactividad, se "atragantaba" por la sobrecarga. La hoja pertenecía al cuaderno de notas de la renombrada estudiosa de la radiactividad, Marie Curie-Sklodowska, dos veces galardonada con el Premio Nobel. Las notas se hicieron a finales del siglo XIX, cuando trabajaba con un nuevo elemento -el radio-, que daría nombre al fenómeno de radiactividad. ¡Qué portentosa debía ser aquella actividad, cuando la hoja seguía irradiando medio siglo después!

Al desconocer el influjo mortífero, incluso de micro-cantidades de radio, los descubridores de los elementos radiactivos no eran lo suficiente precavidos con estas nuevas y poco estudiadas fuentes de radiaciones, por lo que todos los objetos que utilizaron los científicos recibieron una fuerte radiactividad. Largos años de manipular sustancias radiactivas, en especial cuatro años de trabajo agotador para concentrar el radio, se dejaron notar: Marie Curie cayó enferma de leucemia y murió.

En 1936, en Hamburgo, fue erigido un monumento a los roentgenólogos y radiólogos de todas las naciones, que ofrendaron sus vidas a la ciencia; en el monumento figuraban 110 nombres y cada año se van sumando nuevos. Puede decirse, sin pecar de exagerados, que el primer grupo de investigadores de sustancias radiactivas y radiaciones ionizantes, murió de leucemia o por tumores malignos (Tashimo and Matsui, 2008). El trabajo heroico de estas personas, ante las cuales inclinamos la cabeza, permitió obtener importantes datos sobre los niveles de radiación permisible.

Por recomendación de la Comisión Internacional de Protección Contra la Radiación, la dosis de radiación permisible se establece a un nivel tan bajo que excluye la posibilidad de agudas radiaciones (Nuclear Energy Agency, 2007 -3). Además, el riesgo debe ser mínimo y justificado en comparación

con los beneficios que obtiene la sociedad por la utilización de fuentes naturales de radiación. El grado de radiación no puede ser superior al que existe en aquellos sectores de la industria y la ciencia en los que hay segura protección (Tae et al, 2007). Además, la dosis de radiación permisible está también determinada para la población que vive cerca de las instalaciones nucleares. La radiación ionizante es heterogénea: no son sólo rayos X y radiación gamma, sino también flujos de partículas alfa, de protones, neutrones, etc.

Todos ellos disponen de distinta capacidad de penetración, por lo que, para determinar la dosis de radiación, se requiere una unidad general. A esa unidad se la denominó *rem*, cantidad de cualquier tipo de radiación equivalente por su acción biológica a un *roentgen*. Para las personas que trabajan directamente con sustancias radiactivas se ha establecido una dosis de radiación equivalente a 5 *rem* al año (Watt Com Energy, 1990).

En la industria aeronáutica hay un término especial: coeficiente de resistencia. Esto quiere decir que la resistencia mecánica del futuro avión se calcula con arreglo a la situación en que se requiere la máxima sobrecarga. Igual coeficiente tienen las normas de seguridad contra la radiación, 5 *rem* al año es la dosis. La medicina, por ejemplo, considera que incluso una radiación de 50 *rem* -de una sola vez- no provoca enfermedades (Vaillancourt et al, 2008).

Por ahora es imposible excluir las posibilidades de averías que puedan causar al personal radiaciones extremas, y es imposible planificar esa dosis de radiación. Ciertamente que la posibilidad de serias averías en una central nuclear es casi nula, los especialistas occidentales la equiparan a la "posibilidad de que caiga un avión de reacción sobre un campo de fútbol abarrotado de gente". Pueden ser objeto de radiación personas que no están directamente relacionadas con sustancias radiactivas: por ejemplo, el personal administrativo que pasa por locales donde se llevan a cabo trabajos con fuentes de radiaciones ionizantes.

NUEVAS FUNCIONES DEL REACTOR

La central nuclear Nikolskaya construida más allá del círculo polar, es bien conocida fuera de las fronteras de Rusia. Pero son pocos los que saben que en la granja que hay en el

recinto de la central hay un criadero de truchas. Este hecho sirve para ilustrar las relaciones entre el progreso científico-técnico y la coexistencia pacífica de la energía nuclear y la naturaleza. En las aguas del lago Imandra, calentadas por el reactor de la Nikolskaya, pueden instalarse criaderos de truchas con una productividad anual de 5 mil toneladas. Con la puesta en marcha de la segunda fase de la central el exceso de calor de las aguas termales permitieron criar unas 10 mil toneladas de peces. Esta es la cantidad que produce aproximadamente toda Dinamarca, que ocupa el primer lugar del mundo en la exportación de truchas.

Desde los primeros días en que comenzó a funcionar este criadero se lleva un permanente control de su producción. Los análisis se hacen sistemáticamente con arreglo a una metodología elaborada especialmente. Las investigaciones prueban que el nivel de radiactividad de las truchas, es incluso más bajo que el de los peces que se crían en embalses naturales. La utilización del calor de las aguas termales de las centrales nucleares es una de las cosas que preocupan a los especialistas nucleares; les preocupa también otra cuestión ¿es suficiente que las centrales nucleares produzcan sólo electricidad? Pues hay que decir que la economía, aparte de electricidad, necesita también ingentes cantidades de energía calorífica.

Un importante consumidor de calor es la industria altamente desarrollada, gasta tanto combustible orgánico como se invierte para producir electricidad. Además, la industria lo utiliza, por lo general, para obtener altas temperaturas, sin las que no pueden realizarse diversos procesos de metalurgia, química y otras ramas esenciales. Los físicos trabajan para que las funciones que ejerce el petróleo, el carbón, y el gas lo asuman las instalaciones nucleares (Braams and Stott, 2002).

Por ahora, en las centrales nucleares se forma una temperatura que oscila entre los 300 y 400 grados Celcius y, para utilizar directamente esta energía calorífica en la industria, estos índices son insuficientes. Además, el coeficiente de rendimiento para transformar el calor en electricidad mediante dichas temperaturas, es relativamente bajo, cerca del 30%. Urge la necesidad de construir reactores que permitan alcanzar temperaturas

de 800 a 1.000 grados C; en dichos reactores, en lugar del agua -principal calor portador-, debe utilizarse gas, por ejemplo el helio. Calentado a una temperatura de 1.000 o más grados, llegará a las empresas por tuberías y tomará parte en procesos tecnológicos que consumen mucha energía. Con su ayuda se podrá obtener hierro por reducción directa del mineral; la obtención de hidrógeno industrial será mucho más sencilla, etc.

Pero no sólo la industria necesita fuentes de energía baratas: gran cantidad de combustible natural lo consume la calefacción, y también en esto las instalaciones nucleares pueden prestar un servicio al hombre. En el Instituto de energía nuclear I. V. Kurchátov, de Moscú, se concibió un esquema técnico de central nuclear para el abastecimiento calorífico; estas centrales suministrarán a la población agua caliente y calor. Una central de un millón de kilovatios de potencia, consumiendo al año de 15 a 16 toneladas de uranio débilmente enriquecido, puede calentar una ciudad de 250 mil habitantes. Una central térmica corriente necesitaría no menos de un millón de toneladas de carbón.

En el mundo hay zonas económicas en las que escasea el agua potable: repúblicas de Asia Central, Kazajistán, la cuenca del Donbass -Ucrania- y la costa oriental del mar Caspio, cuyos desiertos adyacentes no son menos penosos que el Sahara: en verano las temperaturas alcanzan los 40 grados C sobre cero, mientras que en invierno, las heladas llegan a 30 bajo cero, sin que caiga un solo copo de nieve. En esta tierra rigurosa, en la península de Mangyshlak, emplazada en la costa oriental del mar Caspio, los geólogos descubrieron en los años 50 yacimientos de petróleo, gas natural, carbón, mineral de hierro.

La explotación se complicaba en vista de que el agua hay que transportarla desde centenares de kilómetros. Actualmente en la península se levanta la ciudad de Shevchenko, que obtuvo un premio de la Unión Internacional de Arquitectos, "por un brillante intento de humanizar un paisaje urbano tradicional en unas complejas condiciones naturales" (Marple and Young, 1999). Los parques, avenidas y glorietas ocupan 250 hectáreas. Hay aquí un jardín botánico. El vecino de Shevchenko consume tanta agua

como un moscovita. En destiladores gigantescos, calentados por un reactor nuclear de neutrones rápidos, el agua salada y amarga del Caspio adquiere las propiedades gustativas requeridas. La instalación potabilizadora dio vida a esta ciudad. La energía nuclear se desarrolla a tal ritmo que hoy incluso es imposible pronosticar en qué campos encontrará aplicación. Lo que no cabe duda es que el átomo civil seguirá asimilando nuevas y nuevas especializaciones.

UN NUEVO REACTOR

Como prueban los pronósticos, las reservas mundiales de uranio barato no son muy grandes. Un reactor corriente de agua ligera de mil megavatios de potencia consume en su funcionamiento cerca de 5.000 toneladas de uranio natural. Mil centrales de este tipo consumirían 5 millones de toneladas de uranio, o sea, todas las reservas conocidas por ahora.

Además, en los tipos de reactores que se utilizan hoy, de neutrones lentos, el uranio natural se economiza muy mal, para obtener energía térmica se utiliza entre el 1 y el 2% de este precioso material (Braams and Stott, 2002). Esto se debe a que en la reacción en cadena participa sólo el núcleo de un solo isótopo, el del uranio 235, y en el uranio natural sólo hay un 0,7%. Para obligar a funcionar a otro isótopo, el uranio 238, que constituye la parte esencial de este mineral, se construyó el llamado *breeder*, reactor de neutrones rápidos (McCracken, 2005). La idea se debe a los físicos rusos cuando aún se construía el pionero de este tipo de energía nuclear.

La particularidad del reactor de neutrones rápidos radica en que como combustible se utiliza otro elemento fisionable, el plutonio. Del combustible usado se extrae el plutonio y se carga el *breeder*, donde también se introduce el no fisionable uranio 238. Los neutrones rápidos, sin moderador, obligan al plutonio a realizar una reacción en cadena, como resultado de la cual se obtiene una considerable cantidad de energía calorífica, y del hasta ahora infértil uranio 238, se obtiene combustible de plutonio. De esta manera el *breeder* no sólo se abastece de combustible sino que ofrece la posibilidad de hacer aprovisionamientos. Con el empleo de reactores de neutrones rápidos en calidad de

combustible, prácticamente puede utilizarse todo el uranio natural (Forsberg, 2003).

En los años 50 se demostró teóricamente que era posible construir un reactor generador y proyectarlo y construirlo requirió no poco tiempo (Marple and Young, 1999). Hoy la fabricación de *breeders* es una de las perspectivas generalmente aceptadas para fomentar la energía nuclear: desde 1974 funciona en Francia el Phenix de 250 mil kilovatios; en Gran Bretaña fue puesto en marcha poco después el reactor PFT de la misma potencia; en Alemania se terminó la construcción del reactor SNR-300; Japón también cuenta con lo suyo. Para el año 2000 los franceses obtenían con *breeders* el 40% de toda su electricidad. En los países de antigua URSS, la primera central experimental de neutrones rápidos de 12 mil kilovatios fue puesta en explotación en 1969; en 1973 produjo electricidad la central nuclear de Shevchenko con un reactor de 350 mil kilovatios de potencia; posteriormente se puso en marcha un reactor de 600 mil kilovatios en la central Belozerskaya, el tercer generador de dicha central.

CONCLUSIONES

Hace un cuarto de siglo que el átomo para fines pacíficos comenzó a trabajar en la Tierra, y actualmente ya entra con pie firme en nuestra vida. La medicina y el espacio, la biología y la metalurgia, la construcción de maquinaria y la industria textil, la geología, industria naval; el campo de aplicación del átomo se ensancha constantemente. La humanidad es testigo de brillantes descubrimientos científicos y soluciones técnicas, y en primer plano figuran los logros de la energía nuclear.

La experiencia en la explotación de centrales nucleares, las primeras instalaciones industriales de neutrones rápidos -*breeders*-, prueba que en un próximo y no lejano futuro se solucionará el abastecimiento de energía. La humanidad tiene aún la posibilidad de utilizar ilimitados recursos termonucleares, es decir, la energía producida al formarse núcleos atómicos más pesados de los más ligeros. Instalaciones termonucleares de fusión experimental se abren en Rusia y USA - Tokamak-10 y PLT-; programas para fomentar la energía termonuclear se aprueban en varios países.

Las posibilidades de la ciencia son ilimitadas, pero su aplicación la dirige el hombre. El descubrió el átomo y el fenómeno de radiactividad, inventó la bomba atómica y construyó las centrales nucleares. Su futuro depende de a dónde dirigirá la potente energía del átomo, en bien de la paz o para fines bélicos. Hoy no hay nada más importante que

frenar la carrera de los armamentos nucleares y cesar por completo todas las pruebas de armas nucleares. En la fachada de la central nuclear Novovoronezhskaya se pueden leer las siguientes palabras: "Que el átomo sea un obrero y no un soldado". Este es el único camino para seguir utilizando la energía nuclear.

REFERENCIAS

1. Bodansky, D. (2004). Nuclear Energy: Principles, Practices, and Prospects. USA: Springer.
2. Braams, C. M. and Stott P. E. (2002). Nuclear Fusion: Half a Century of Magnetic Confinement Fusion Research (Series on Plasma Physics). USA: Taylor & Francis.
3. Forsberg, C W. (2003). Hydrogen, nuclear energy, and the advanced high-temperature reactor. International Journal of Hydrogen Energy, Vol. 28, No. 10, pp. 1073-1081.
4. Forsberg, C. (2005). Futures for hydrogen produced using nuclear energy. Innovative Nuclear Energy Systems for Sustainable Development of the World. Progress in Nuclear Energy, Vol. 47, No. 1-4, pp. 484-495.
5. Herbst, M. A. and Hopley W. G. (2007). Nuclear Energy Now: Why the Time Has Come for the World's Most Misunderstood Energy Source. USA: Wiley.
6. Hore-Lacy, I. (2006). Nuclear Energy in the 21st Century: World Nuclear University Press. USA: Academic Press.
7. IAEA (2007). Energy, Electricity and Nuclear Power Estimates for the Period up to 2030. 2007 Edition. Reference Data Series No. 12007.
8. Marples, R. D. and Young J. M. (1999). Nuclear Energy And Security In The Former Soviet Union. USA: Westview Press.
9. McCracken, M. G. (2005). Fusion: The Energy of the Universe (Complementary Science Series). USA: Academic Press.
10. Murray, J. (1990). Can nuclear energy contribute to slowing global warming? Energy Policy, Vol. 18, No. 6, pp. 494-499.
11. Nuclear Energy Agency (2007 -2). Nuclear Energy Data 2007 Edition. USA: Organization for Economic.
12. Nuclear Energy Agency (2007 -3). Nuclear Regulation Transparency of Nuclear Regulatory Activities. Workshop proceedings - Tokyo and Tokai-Mura. (Nuclear Regulation). USA: USA: OECD publishing.
13. Nuclear Energy Agency. (2007 -1). Nuclear Development Risks and Benefits of Nuclear Energy (Nuclear Development). USA: OECD publishing.
14. Rullhusen, P. (2006). Nuclear Data Needs for Generation IV Nuclear Energy Systems. USA: World Scientific Publishing Company.
15. Shimizu, A. and Fujii-e Y. (1995). Self-consistent nuclear energy systems. Proceedings of the International Symposium on Global Environment and Nuclear Energy Systems. Progress in Nuclear Energy, Vol. 29, Supplement 1, pp. 25-32.
16. Sweet, W. (2006). Kicking the Carbon Habit: Global Warming and the Case for Renewable and Nuclear Energy. USA: Columbia University Press.
17. Tae, J. L, Kyung H. L. and Keun-Bae O. (2007). Strategic environments for nuclear energy innovation in the next half century. Progress in Nuclear Energy, Vol. 49, No. 5, pp. 397-408.
18. Tashimo, M. and Matsui K. (2008). Role of nuclear energy in environment, economy, and energy issues of the 21st century - Growing energy demand in Asia and role of nuclear. Progress in Nuclear Energy, Vol. 50, No. 2-6, pp. 103-108.
19. Vaillancourt, K., Labriet M., Loulou R. and Waaub J. P. (2008). The role of nuclear energy in long-term climate scenarios: An analysis with the World-TIMES model. Energy Policy, Vol. 36, No. 7, pp. 2296-2307.
20. van der Pligt, J., Eiser R. J. and Spears R. (1984). Public attitudes to nuclear energy. Energy Policy. The Sizewell Collection, Vol. 12, No. 3, pp. 302-305.

21. van Leeuwen, J. W. S. (1985). Nuclear uncertainties: Energy loans for fission power. *Energy Policy*, Vol. 13, No. 3, pp. 253-266.
22. Watson, J. and Scott A. (2009). New nuclear power in the UK: A strategy for energy security? *Energy Policy*. Article in Press, Corrected Proof.
23. Watt Com Energy (1990). *Nuclear Energy: A Professional Assessment*. Watt Committee. Report number 13. USA: Watt Committee on Energy Publications.
24. Yarygin, V. I., Mironov V. S., Solovyev N. P., Kolninov O. V., Kolesnikova V. V., Chernyavsky A. I. and Smolyansky A. S. (2001). Synthesis and investigation by means of electron energy loss spectroscopy of metal replicas fabricated from nuclear microfilters. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, Vol. 185, No. 1-4, pp. 228-234.

Ω