

# El Humanista y la Energía Nuclear

CELSO VARGAS

## Resumen:

*Uno de los problemas que debemos enfrentar en este momento es la demanda de energía. Dependemos en un 87 % del carbón mineral e hidrocarburos. Esta dependencia se mantendrá en el futuro. Estos energéticos, como es bien conocido, contribuyen de manera significativa al calentamiento del globo con un 67% del total. Este artículo expone la tecnología nuclear como una alternativa ambientalmente inocua que puede satisfacer la demanda energética mundial. Se abordan de manera general los problemas principales relacionados con las centrales nucleares como lo son: el manejo de desechos, el reciclamiento de material gastado, la desviación de material nuclear, eficiencia de los reactores, e información al público en temas relacionados con energía nuclear. Finalmente, se enfatiza en la función importante que desempeña el humanista en la evaluación y difusión de estas tecnologías.*

## INTRODUCCIÓN

Este artículo presenta una perspectiva positiva sobre la tecnología nuclear, diferente de aquella relacionada con los usos bélicos. Se centra más bien, en lo que se conoce como los usos pacíficos de la tecnología nuclear. Fue escrito especialmente pensando en los profesionales del campo humano, los cuales desempeñan un papel muy importante en la formación de los costarricenses.

Está organizado de la siguiente manera: en la primera sección se presenta la delimitación del tema por tratar. En la segunda, se describe brevemente los retos mundiales para satisfacer las crecientes demandas energéticas de un mundo en expansión. Expansión debida al crecimiento mundial de la población y a las demandas para la satisfacción de sus necesidades siempre, en el contexto de la reducción al máximo el impacto sobre el medio ambiente, el cual se proyecta como uno de los problemas centrales en el siglo XXI. En la tercera, se analiza el problema de los reactores de potencia y de los accidentes nucleares. En la cuarta se analizan las medidas internacionales para abordar el problema. Estas medidas tienden a hacer mucho más segura la tecnología nuclear, la cual se visualiza como una importante alternativa para resolver parte de los problemas ambientales y de desarrollo implicados por el grado de desarrollo mundial actual y futuro. En las conclusiones se extraen algunas consecuencias sobre la utilidad de estos resultados para los profesionales relacionadas con las ciencias humanas.

### 1-. DELIMITANDO EL TEMA

En muchos ocasiones, cuando el humanista se refiere al campo nuclear o atómico 10

hace poniendo énfasis en los aspectos negativos, como los usos bélicos (construcción de bombas atómicas y armamento nuclear); en los principales accidentes nucleares como Three Miles Islands, Chernobyl y el reciente en Japón; en los problemas actuales sobre el manejo de desechos radiactivos; o en los problemas que han aparecido antes de 1995, con el sistema internacional de salvaguardias. Esta apreciación tiene importantes limitaciones. La primera de ellas es que no permite visualizar la dinámica interna del campo nuclear y la manera como se están abordando estos temas, así como los progresos que en esta materia se están realizando. La segunda limitación es que estos casos no agotan el vasto campo de los usos de la tecnología nuclear. En efecto, el campo conocido como usos pacíficos de la tecnología nuclear ha crecido extraordinariamente en los últimos años.

El no tomar en consideración la dinámica interna del campo puede imponer una limitación muy fuerte cuando se trata de valorar los nuevos desarrollos, sobre todo en aquellos casos en los que las aplicaciones de la tecnología nuclear pueden jugar un papel importantísimo, principalmente, en lo relacionado con los beneficios de esta tecnología en la solución de los importantes retos que enfrentan los distintos países, y en particular, en áreas en las que las tecnologías convencionales no constituyen la solución más adecuada o no existen del todo.

El campo de las aplicaciones de la tecnología nuclear es muy vasto y un listado de sus aplicaciones puede contarse por miles. Estas abarcan prácticamente todos los campos: agricultura, salud, medio ambiente, industria, recursos naturales, forestal, etc. Es difícil para una sola persona dominar con propiedad este campo y sus variadas técnicas. Muchas de éstas presentan ventajas comparativas, tanto económicas como de aplicación, respecto a las convencionales. Por otro lado, constantemente se desarrollan nuevas técnicas y se mejoran las existentes.

Este artículo se centra en solo uno de los campos de las aplicaciones que, por lo demás, es bastante polémico: el de los reactores de potencia. Estos tienen dos usos principales: la generación eléctrica y la investigación. En este momento, existen varios tipos de reactores de potencia y su descripción requiere bastante detalle, cosa que no puede abordarse en un artículo general como éste. Este breve trabajo se ocupa de la perspectiva de los reactores potencia en el contexto de los retos internacionales que plantea la demanda creciente de energía (debida a presiones sociales y exigencias de los nuevos modelos de desarrollo), así como del impacto ambiental (particularmente los relacionados con el cambio climático) de los medios tradicionales de obtención de energía comparada con la nuclear. Por otro lado, se aborda brevemente el problema de la generación de desechos y las medidas internacionales que se están adoptando para afrontarlo.

El objetivo general es visualizar el uso de tecnología nuclear como una buena alternativa para resolver algunos de los problemas que enfrentará este nuevo siglo, así como describir brevemente los esfuerzos que se están realizando para resolver los problemas más importantes relacionados con la tecnología nuclear, principalmente los relacionados con los factores humanos.

Uno de los factores críticos, como se indicará más adelante, para la adopción de la tecnología nuclear es el establecimiento de regulaciones y de prácticas que sean convincentes para el público, más allá del prejuicio general que se tiene sobre estos

temas. El humanista está llamado a desempeñar un papel fundamental en la socialización del conocimiento nuclear y en la modificación de percepción pública sobre el tema.

## 2-. ENERGÍA Y MEDIO AMBIENTE

El tema de la energía está directamente relacionada con tres variables o conceptos fundamentales: desarrollo, población y medio ambiente. Un incremento en el consumo energético está implicado en los nuevos requerimientos de las telecomunicaciones, el transporte aéreo, terrestre y marítimo. Lo está en los nuevos estándares de vida que propugnan los distintos modelos de desarrollo (globalización), incluyendo la demanda domiciliaria. También lo está en las nuevas tendencias de conectividad mundial. Por otro lado, estos requerimientos y expectativas serán aun mayores, si tomamos en consideración una población mundial en constante crecimiento. En este momento, la población alcanza los 5 mil millones de personas, y las expectativas de crecimiento señalan que para el 2050 esta población estará en un rango entre los 7 mil millones (proyección baja) y los 11 mil millones (proyección alta). Este crecimiento supone un incremento importante en el consumo energético en todos los sectores considerados claves para el desarrollo.

El estudio prospectivo de las Naciones Unidas (1996) sobre el crecimiento de la población, se sugiere que para el 2050 la India, probablemente excederá la población China la cual alcanza en este momento los 1,500 millones, mientras que naciones como Brasil, Indonesia, Nigeria y Pakistán tendrán más de 250 millones de habitantes cada uno.

En este momento, las tasas de consumo energético no están distribuidas simétricamente respecto a la población. Los países denominados desarrollados, los cuales representan menos del 30 % de la población mundial, consumen alrededor del 70 % de la energía. El crecimiento poblacional en estos países es muchas veces menor (en muchos casos tiende a ser cero) que el de los países en desarrollo. De ahí que en las consideraciones sobre perspectivas de consumo energético se tenga que diferenciar la alta disponibilidad energética en los países desarrollados y la cobertura mínima de este recurso en los países en desarrollo, así como la infraestructura requerida por los nuevos mercados. Sin embargo, también es importante tomar en consideración la tendencia que se observa en los países en desarrollo por alcanzar niveles cada vez más altos de inserción y participación mundial en respuesta a la dinámica interna de los mercados, lo cual implica, desde luego, una mayor demanda energética.

Según la proyección hecha por DOE (Department of Energy) de los Estados Unidos (estudio citado en OIEA, 1997 Y 1998) habrá un incremento de un 54 % en la demanda energética a nivel mundial en el 2050, comparado con la demanda actual de energía. Mucho de este consumo está relacionado con el surgimiento de las economías asiáticas, principalmente la de China e India.

La información sobre la distribución mundial de la energía según fuente energética, indica que el 87 % de la energía disponible es de origen fósil, mientras que un 6 % 10 constituye la energía nuclear y un 6 % la energía hidroeléctrica. Únicamente el 1% lo conforman las otras energías renovables, eólica, solar, térmica, etc. Por otro lado, en lo relacionado con electricidad, el 63 % es de origen fósil, mientras que el 19 % lo

constituye la energía hidroeléctrica, el 17 % la energía nuclear y un 1% la renovable no-hidroeléctrica (OIEA, 1998). La relación entre energía nuclear y las otras fuentes está sufriendo un cambio importante debido a la solicitud y construcción de nuevos reactores nucleares en varios países.

Cada día es más urgente tomar en consideración el impacto ambiental de las distintas fuentes de energía. Actualmente, en la estimación del impacto ambiental uno de los parámetros más importantes es el relacionado con las emisiones de gases con efecto de invernadero, es decir, aquellas emisiones que tienen asociado un eventual efecto de calentamiento del globo. Los estudios sobre los gases con efecto de invernadero indican que son cinco los principales gases responsables de este efecto. El mayor porcentaje de emisiones de estos gases es de origen humano, ellos son: CO<sub>2</sub>, Metano, Óxidos Nitrosos, Óxidos de Oxígeno y algunos gases volátiles. De ellos, el primero es el que se emite en concentraciones mayores a la atmósfera, supera el 90 % de todas las emisiones.

Las fuentes energéticas de origen fósil emiten grandes concentraciones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, y son responsables, a nivel mundial de alrededor del 75 % del total de emisiones de este gas. Estas estimaciones son similares a las obtenidas en el estudio realizado en nuestro país en relación con el tema (Instituto Meteorológico Nacional, 1995). Nuevamente se considera que para el 2015 habrá aumentado en un 60 % en el total de emisiones de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, donde el mayor porcentaje corresponderá a las emisiones debidas a los usos energéticos de origen fósil.

Los efectos ambientales, económicos y sociales del calentamiento del globo, han sido previstos en estudios realizados por diferentes organismos internacionales. Solo para mencionar dos ejemplos, en un estudio publicado por (Tiempo 1996) se establece que el calentamiento global en un grado centígrado global casi duplicará la población mundial propensa a sufrir enfermedades transmitidas por insectos y microorganismos, entre ellos la malaria, debido a una ampliación de los hábitats de los vectores involucrados en esas enfermedades. De igual manera, el impacto sobre la producción agrícola será significativo. Varios productos desaparecerán debido a una variación en las condiciones climáticas, mientras que otras decrecerán su capacidad reproductiva y en otros aumentará (Tiempo 1994). Se espera que para el 2050 el calentamiento global oscilará alrededor de un grado centígrado. El problema es que, un incremento de un grado, tendrá impactos muy grandes a nivel climático local, en el que no sólo la temperatura aumentará un grado, sino que la temperatura mínima tenderá a acercarse cada vez más a la temperatura máxima. A este nivel, se observarían cambios significativos en las capacidades reproductivas de plantas, por ejemplo, la mayoría de las orquídeas que requieren diferencias significativas entre la temperatura diurna y la nocturna.

Ahora bien, la demanda mundial de energía, y las consecuencias que para el medio ambiente tiene el uso de fuentes de origen fósil, contrasta con las expectativas acordadas a nivel político en la Convención Marco sobre el Cambio Climático, documento discutido y acordado en la Cumbre de Río, 1992. Una de las medidas ahí propuestas, para evitar las enormes consecuencias de un eventual calentamiento del globo, consiste en mantener (reducir) los porcentajes de emisión a aquellos emitidos en 1990. De 1990 al presente se considera que las emisiones han aumentado, en algunos lugares como Europa, en un 6%, mientras que en países como Costa Rica, posiblemente haya aumentado un poco más, debido al incremento en la utilización de los automóviles y la dependencia de hidrocarburos. El comportamiento de las concentraciones de CO<sub>2</sub> en la

atmósfera (para dos escenarios), según el IPCC (1998), es el siguiente:

a) Escenario más conservador. En la era preindustrial estas concentraciones eran de 280 ppmv (partes por millón por volumen), en este momento, es de alrededor de 360 ppmv, y se espera que para el 2100 ronde los 500 ppmv. El incremento de 80 ppmv, ha causado un incremento en la temperatura global de la superficie entre 0.3 °C y 0.6 °C.

b) Escenario radical. Para el 2100 las concentraciones de CO<sub>2</sub> en la atmósfera rondarán los 700 ppmv, con lo cual la temperatura global se incrementará entre 1.0°C y 3.5°C.

Si comparamos las fuentes energéticas de origen fósil con aquellas otras como la energía nuclear, vemos que ésta última, al igual que las hidroeléctricas y las renovables, no contribuyen con el calentamiento del globo, de manera tan significativa. En este sentido, éstas son consideradas por el Programa 21 de la Naciones Unidas como ambientalmente amigables o limpias. Sin embargo, en este momento y en el corto plazo las energías hidroeléctricas y las renovables tienen reducidas posibilidades de contribuir de manera más significativa a la satisfacción de la demanda energética proyectada (véase Rosen, M (1997)), debido principalmente a su reciente surgimiento. La tecnología nuclear, por otro lado, tiene esta posibilidad, pero dependerá de la manera como se aborden y solucionen varios de los problemas que, desde el punto de vista de la percepción pública, están asociados con esta tecnología, a saber, la seguridad de las instalaciones nucleares (incluyendo la protección radiológica y reducción de accidentes radiactivos), el manejo de desechos radiactivos, la viabilidad económica (costos más competitivos), los controles para la no desviación de materiales radiactivos delicados y de cómo el público en general pueda manejar mejor la información y esté en capacidad de comprender mejor los aspectos sobre los cuales está basada esta tecnología y sus beneficios. Estos problemas deben entenderse en un marco más general en el que la protección del medio ambiente debe adquirir cada vez mayor importancia.

Antes de abordar de manera breve a estos problemas, es importante presentar de manera muy esquemática algunas consideraciones sobre los reactores de potencia y de investigación, los porcentajes de desechos radiactivos y los accidentes nucleares, a fin de que sean la base para considerar la manera como están siendo abordados los problemas mencionados.

### 3.- REACTORES DE POTENCIA, DESECHOS Y ACCIDENTES NUCLEARES

Desde el punto de vista del público, hay dos problemas importantes que son normalmente asociados con los reactores de potencia. El primero de ellos es el de los desechos y el segundo, el de los accidentes nucleares. Veamos cada uno de ellos y las estrategias que se están utilizando para resolverlos.

#### 3.1.- El problema de los desechos radiactivos

La unidad básica, cuando se habla de contaminación o desechos radiactivos, es el radionucleido. Según los datos mundiales, el 99 % de los radionucleidos en los desechos radiactivos proviene, potencialmente, de los reactores de potencia. Sólo el 1 % están asociados con las aplicaciones (esto debido al tipo de materiales y equipo que se utiliza). Como resultado del proceso de fisión se generan otros desechos, (denominados así pues no son productos fisionables por sí mismos) conocidos como productos de fisión,

cuyos componentes son un número significativo de elementos (más de 20) relativamente pesados, ubicables en la tabla periódica entre el elemento 34 y el 58 (Weston y Zemansky (1956)). De esta manera se producen artificialmente (por fisión) nuevos isótopos. Generalmente a estos desechos se les denomina "de alto nivel", los cuales tienen una vida media variable. Este hecho da una gran heterogeneidad a los desechos resultados de un proceso de fisión, y por lo tanto, a los métodos para su clasificación, aun cuando en este momento se cuenta con algunos mecanismos para reducir su número. Sin embargo, el plutonio es uno de los productos de fisión del uranio  $^{237}$  más frecuente. El plutonio es directamente utilizable por los reactores de potencia una vez que ha sido enriquecido, es decir, es un producto de fisión también fisionable.

En este momento, existen en el mundo alrededor 440 reactores en funcionamiento y están en proyecto de construcción 36 más (OIBA, 1997). Estos reactores están distribuidos en 32 países. La cantidad de desechos radiactivos de alto nivel acumulados por estos reactores de potencial rondaron, en 1995, los 175 000 toneladas. De esta cantidad únicamente se reciclan alrededor de 70 000 toneladas, lo cual nos deja con 105 000 toneladas de material no reciclado. Esta diferencia es denominada "desechos netos de combustible gastado". Para el 2005, de seguir con el ritmo actual de crecimiento en los desechos, estimado en 11 000 toneladas anuales, el total acumulado ascenderá a 275 000 toneladas y que la capacidad de reciclamiento ascenderá a los 120 000 toneladas para el mismo parámetro.

La práctica usual en la gestión del combustible gastado proveniente de reactores de potencia, sigue alguna de las dos opciones siguientes: "un ciclo abierto e irreversible con evacuación directa del combustible gastado, y un ciclo cerrado basado en la reelaboración del combustible gastado y el reciclado del plutonio y el uranio en nuevos combustibles de mezcla de óxidos. [...] En la evacuación directa se coloca el combustible gastado en un emplazamiento y en condiciones que no permiten su recuperación. En la reelaboración se separa el plutonio y el uranio fisionables del material de desechos para su reutilización en combustibles nuevos" (Takáts y otros, 1993).

Aunque hasta el momento, la producción de desechos es 20 veces mayor que la capacidad de reciclamiento, se están haciendo importantes esfuerzos, sobre todo en el Japón por construir reactores que sean más eficientes en el reciclamiento de los productos de fisión. Sobre estos aspectos volveremos en la próxima sección del artículo.

### **3.2.- Accidentes nucleares**

Otro de los problemas importantes asociados con la tecnología nuclear, desde el punto de vista del público, son los accidentes nucleares. Para la percepción pública, la cual considera que los materiales nucleares son altamente riesgosos, los accidentes constituyen una buena confirmación de su posición. Sin embargo, estos no son tan frecuentes como sería de esperar desde el punto de vista del público. En efecto, se cuenta con más de 8000 años de experiencia acumulada en el funcionamiento de los reactores. En el contexto de esta gran experiencia acumulada, ha habido tres accidentes nucleares importantes: el de Three Miles Island en 1979, el de Chernobyl en 1986 Y más recientemente, el accidente en Japón (1999). Sin duda, el segundo de ellos es el que ha tenido mayores repercusiones tanto desde el punto de vista humano y ambiental como desde la percepción del público. Pero a su vez, ha sido uno de los accidentes más

investigados y que ha permitido refinar los estándares de seguridad y prevención, así como adoptar una serie de medidas internacionales al respecto.

El accidente se produjo debido a una falla en el diseño del reactor de grafito, lo que produjo que el agua de enfriamiento no fluyera de manera adecuada. En estas condiciones el reactor debió haberse detenido, pero no ocurrió de esta manera. El reactor siguió funcionando en condiciones anormales lo que produce un escalamiento debido al proceso de la reacción en cadena, produciendo la explosión del reactor.

Las consecuencias de este accidente fueron las siguientes: alrededor de un 6 % del material radiactivo fue liberado a la atmósfera, conteniendo algunos elementos que son bastante nocivos para la salud humana y animal. Murió un total de 31 personas, 106 recibieron dosis bastante altas de radiación. Alrededor de 200 000 personas se vieron involucradas en la limpieza del reactor durante los años 86 y 87, además de los 600 000 denominados "liquidadores" todos los cuales recibieron dosis que sobrepasan las permitidas para el público ocupacionalmente expuesto. También tuvieron que ser evacuados 116 000 personas y otras 400 000 viven aun en áreas clasificadas como "zonas de control estricto" (GIBA, 1997, Vargas, por publicar). Todas estas personas recibieron dosis, durante los meses siguientes al accidente, mucho más altas que las internacionalmente permitidas para el público. En total 1 116 000 personas se vieron directamente involucradas en el accidente. Los costos económicos fueron considerablemente altos.

Ahora bien, de un total de 117 000 personas que murieron por cáncer en la población involucrada, 3 420 personas fueron directamente asociados con los efectos de la radiación. Por otro lado, se sufrió trastornos económicos debido a cambios en la forma de suplir alimentos y otros productos a causa del accidente. Los efectos ambientales observados, han sido "exposición letal de árboles coníferas y algunos pequeños mamíferos en un área de 10 km alrededor del sitio del reactor. El ambiente natural ha comenzado a recuperarse visiblemente a partir de 1989, pero no se han observado efectos residuales en los ecosistemas" (GIBA, 1997).

Sin duda alguna, los efectos de accidente han sido considerables, pero también la evaluación y el aprendizaje obtenido. Una de las cosas que debe ser indicada es que trata de un tipo particular de reactor, que no es representativo de los demás reactores existentes. El reactor en cuestión, según se encontró en la evaluación realizada, presentaba problemas de diseño, de funcionamiento y de operación. Así pues, aunque doloroso, este accidente ha permitido que se adopten una serie de medidas internacionales en relación con los reactores que describo en la siguiente sección.

## INTERNACIONALES

Un conjunto importante de medidas internacionales se están adoptando en relación con los siguientes aspectos: a) seguridad en los reactores, b) incrementar la capacidad de reciclamiento y eficiencia de los reactores, c) manejo de desechos radiactivos, d) sistemas de salvaguardias y e) información a la opinión pública. Pasamos a considerar cada uno de ellos, muy brevemente.

### **4.1-. Seguridad en los reactores**

Algunas de las decisiones tomadas a partir del accidente de Chernobyl son las

siguientes:

1. No volver a construir reactores del mismo tipo de los de Chernobyl. En total fueron construidos 17 reactores de este tipo a nivel mundial. Varios de ellos han sido dejados fuera de funcionamiento. Algunos pocos todavía funcionan. Sin embargo, serán los últimos en su género.

2. La segunda decisión deriva del aprendizaje obtenido a partir de este accidente, esto es, la importancia de dar mayor protección al reactor a fin de evitar que el material radiactivo o radiación puede ser liberada al medio ambiente. Dentro de estas decisiones está el incrementar en tres capas el blindaje (o barreras) del material. La primera hecha de "arcilla y cerámica que guarda los productos radiactivos del proceso de fisión nuclear. El segundo, un circuito metálico reforzado primario que contiene el cilindro del reactor y las tuberías de conexión, retiene el material radiactivo liberado en un eventual daño en la barrera de cerámica y arcilla. La tercera y última barrera es una estructura cilíndrica de concreto pretensado que contiene el sistema primario del reactor- muchos con láminas de acero incrustado y algunos otros con una estructura de doble pared como es utilizado en un número grande de plantas estandarizadas francesas- retienen el material radiactivo que pudiera ser liberado por una falla del circuito primario" (OJEA, 1997).

3. Mejorar la supervisión por parte del OJEA durante todas las etapas de construcción de una reactor nuclear. De ahora en adelante, cuando un país decida construir un reactor nuclear, debe solicitar la autorización al OJEA. El proceso de construcción de un nuevo reactor conlleva una serie de autorizaciones. Para que se autorice una etapa, se deben satisfacer una serie de requisitos internacionalmente establecidos y normas de calidad estrictas. Entre las etapas más generales están las siguientes: selección del sitio, planos de construcción, supervisión de la construcción, personal calificado y puesta en funcionamiento (supervisión periódica del funcionamiento de la planta).

4. El establecimiento de un conjunto importante de requisitos que deben ser satisfechos a nivel de diseño de la planta, para los diferentes tipos de reactor (grandes, medianos y pequeños), poniendo énfasis en aspectos de seguridad y en sistemas de enfriamiento, según la experiencia generada hasta el momento.

Estas decisiones constituyen pasos importantes hacia el establecimiento de reactores cada vez más seguros. Los nuevos reactores reunirán condiciones de seguridad muy estrictas que harán que esta fuente energética se profile como una importante opción futura.

#### **4.2.- Incremento de la capacidad de rechinamiento y eficiencia de los reactores**

Otro de los aspectos que tendrá un impacto futuro importante en la percepción pública de la energía nuclear, 10 constituye los esfuerzos que está realizando el Japón por establecer una línea nueva de reactores mucho más eficientes con mecanismos de reciclamiento que contribuyan a invertir la relación actual entre desechos radiactivos productos de fisión y el reciclamiento del combustible gastado. El Japón ha estado experimentando con dos nuevos tipos de reactores, conocidos respectivamente como reactores reproductores rápidos (FBR) y los reactores térmicos avanzados (ATR). Los

primeros son muy eficientes en el uso del plutonio, y posiblemente se conviertan en los principales reactores que utilicen plutonio en el futuro, mientras que los segundos muestran una gran flexibilidad en el empleo del combustible, y por tanto, son muy apropiados para el reciclamiento del plutonio y otro material fisionable.

Existen reactores experimentales en funcionamiento actualmente en Japón. Sin embargo, un sistema más integrado se espera que comience a funcionar en ese año (2000). Es de esperar que en el futuro esfuerzos similares se realicen en otros países y que este tipo de tecnología pueda ser transferida a otros países con el propósito de proteger el medio ambiente, es decir, reducir las emisiones de gases con efecto invernadero, asociadas con los energéticos de origen fósil, como se indicó, e incrementar la producción eléctrica mediante este tipo de tecnologías.

### 3.3-. GESTIÓN DE DESECHOS RADLACTIVOS

La gestión de desechos radiactivos es una de las preocupaciones importantes en este momento. De su solución dependerá, en gran parte, la credibilidad que la opinión pública tenga de esta tecnología. Se están realizando importantes esfuerzos por dar un tratamiento ambientalmente inocuo de aquellos desechos que no sean reutilizables o que están almacenados en algunos botaderos.

Entre las medidas internacionales que se están adoptando están las siguientes: incrementar la capacidad de reciclamiento del combustible gastado y el establecimiento de normas internacionales en relación con la disposición de estos desechos, incluyendo no solo los desechos que derivan de centrales nucleares sino también los que resulten de las aplicaciones. Las consideraciones sobre el medio ambiente son centrales en el tipo de medidas que se están adoptando. El principio general es que no se debe transferir a las futuras generaciones los costos del tratamiento de desechos que ellos no contribuyeron a generar.

Las normas internacionales que estarán entrando en vigencia los primeros años de este siglo contienen una serie de criterios para la evacuación de los distintos tipos de desechos, para la selección de las instalaciones que serán utilizadas para la disposición temporal de los desechos, así como los criterios que deben reunir los repositorios geológicos profundos para la disposición definitiva de los desechos radiactivos de alto nivel. De igual manera, se ha tomado un conjunto importante de decisiones para asignar responsabilidades a las distintos países para la evacuación de los desechos que cada uno de ellos genere, y la prohibición de que estos sean depositados en el mar. Por otro lado, se están comenzando a establecer las condiciones para la vigilancia fronteriza a fin de evitar que se utilice, como se hizo en el pasado, para depositar desechos radiactivos. La entrada en vigencia de este conjunto de normas contribuirá de manera definitiva a cambiar la percepción pública que se tiene sobre la tecnología nuclear. Para mayores detalles véase Whippe, C. (1996)

### 3.4-. SISTEMAS DE SALVAGUARDIA E INFORMACIÓN PÚBLICA

Finalmente, dos aspectos importantes sobre los que se está trabajando tienen que ver con el fortalecimiento del sistema internacional de salvaguardias y con la búsqueda de formas de acercamientos entre el público y los expertos con el propósito de que utilicen información de primera mano sobre temas nucleares. Con respecto al primero de estos,

después del vencimiento del primer tratado de no proliferación de armas nucleares, se adoptó uno nuevo que tomó como base la propuesta 93+3. El nuevo sistema de salvaguardias fue adoptado de manera definitiva por los países miembros del OIEA en 1997. Este sistema contiene mecanismos más eficaces que el anterior para el monitoreo y el acceso a información nuclear en los países miembros del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), el uso de diferentes tecnología para llevar a cabo una mejor labor, así como nuevas formas de llevar a cabo el control entre países. A pesar de la sensibilidad política que los temas de salvaguardia poseen, este nuevo tratado constituye un paso muy importante para asegurar y promover los usos pacíficos de la tecnología nuclear en los países miembros. El tema de las salvaguardias es complejo y requeriría un estudio por separado ( véase el número especial de IEEE Technology and Society Magazine, 1990, sobre verificación, así como los números del Boletín del GIEA correspondientes a los años 1997-1998, Y Vargas (por publicar». En relación con el tema de la información a la opinión pública, desde 1994, el GIEA ha estado promoviendo reuniones en los distintos países (incluyendo Costa Rica) con representantes de medios de comunicación y otros miembros del público con el propósito de conocer mejor las inquietudes del público sobre temas nucleares y proporcionarles información de primera mano, a fin de que ellos puedan formar un mejor criterio sobre este tema y transmitido a otras personas.

Se espera que todos estos esfuerzos puedan contribuir a visualizar la energía nuclear como una alternativa importante y segura, que esté en capacidad de contribuir a resolver algunos problemas ambientales relacionados, en este caso, con el calentamiento del globo y el deterioro del medio ambiente. Sin embargo, el futuro de la tecnología nuclear dependerá, en gran parte, de la efectividad de estas medidas y de la manera en que el público pueda cambiar su percepción sobre los temas nucleares.

#### 4-. ¿ES RELEVANTE PARA EL HUMANISTA LA INFORMACIÓN NUCLEAR?

El humanista es un formador de opinión. A diferencia del ingeniero, quizá, está en mejor capacidad de relacionar aspectos científicos y tecnológicos con aspectos propiamente humanos, como el concepto de hombre, su producción literaria, sus valores, etc. De igual manera, tiene una gran sensibilidad sobre temas ambientales, y sobre el impacto de las prácticas humanas sobre el mismo. Sin embargo, a diferencia del ingeniero está más propenso a tener una visión sesgada de un campo como el nuclear, quizá debido al instrumental conceptual que está involucrado en el campo y de algunas percepciones que limitan una perspectiva más amplia. De esta manera puede transmitir valores y valoraciones que no responden propiamente a la "realidad" del campo, o que no hacen justicia a la complejidad involucrada en el fenómeno nuclear.

Por ejemplo, existe un error de concepción en relación con el plutonio. En ocasiones hablando con algunos colegas y ellos reflejan este tipo de error. El plutonio es un material radiactivo de alto nivel. Su nivel y peligrosidad no están directamente relacionados. El plutonio es peligroso cuando está sometido a un proceso de fisión, pero no lo es cuando no lo está. La vida media de este material es de 24 000 años, lo que significa que decae muy lentamente, y además la cantidad de emisiones por segundo es bastante baja. Más aun, la radiación que emite es principalmente radiación alfa. Como se recordará este tipo radiación está formada por núcleos muy pesados que no pueden atravesar, incluso, el tejido epitelial. Además, los rayos alfa tienen una velocidad de desplazamiento bastante baja, y recorre distancias muy cortas. Podría ser letal para algunos seres vivos, incluyendo al ser humano, si es liberado al medio ambiente en concentraciones muy altas, absorbido por ingestión y posteriormente distribuido al

torrente sanguíneo. Sin embargo, esta condición es muy difícil de cumplir, por la seguridad a la que normalmente es sometido. No se reporta hasta el momento accidentes debidos a la liberación de plutonio al medio ambiente. Existen otros materiales radiactivos de nivel bajo cuya peligrosidad en caso de accidente podría ser mayor, por ejemplo, el cesio 137 o el Cobalto 60, que tienen una actividad mucho más alta y emiten radiación gamma.

De esta manera, el conocimiento sobre el campo nuclear proporcionará el humanista nuevos elementos para evaluar la tecnología y para visualizar alternativas y criterios de decisión en asuntos relacionados con temas, como la demanda energética, de la que hemos comentado en este artículo. Pero sobre todo, debe conocer e informar sobre aspectos relacionados con la seguridad radiológica; aspecto este último sobre el cual nuestro país no tiene una amplia conciencia y cultura.

Estas consideraciones son, pues, una invitación para que los profesionales de las humanidades y educadores se interesen en el tema, evalúen la información y el desarrollo de este tipo de tecnologías, tomen las mejores decisiones y se conviertan en agentes de cambio, en el contexto de los usos pacíficos de esta tecnología.

(\*) Un agradecimiento muy especial a mi colega, el profesor Mario Alfaro, por la revisión de este trabajo y por sus valiosas sugerencias. También a la Licda. Rosaura Brenes por sus sugerencias en relación con los aspectos formales del artículo.

## BIBLIOGRAFÍA

Naciones Unidas (1992) **Programa 21**. Cumbre de la Tierra, Heredia, Costa Rica.

Naciones Unidas (1996) **World Population Projections**. UN, NY, 1996.

Organismo Internacional de Energía Atómica (AIEA) (1997) **Sustainable Development and Nuclear Power**. Vienne, 1997.

AIEA (1993) "**La Energía Nuclear y su Ciclo de Combustible en el Japón: se Cierra el Ciclo**". Boletín del AIEA, No. 3, 1993.

Rosen, M. (1997) "**Energy Efficiency and Sustainable Development**" en: IEEE Technology and Society Magazine. Winter 1996-1997.

Rosen, M. (1998) "**Energy Outlook and Role for Nuclear Energy**". En: AIEA (1998) Seminario Regional de Información Pública sobre los usos Pacíficos de la Energía Nuclear en América Latina. San José, 2-4 de Junio de 1998.

Takáts F. Y otros (1993) "**Gestión del Combustible Gastado Proveniente de Reactores de potencia y de Investigación: Situación y Tendencias Internacionales**". Boletín del IEA, No 3, 1993.

Tiempo (1994) "**Food Production at Risk**". IIED, London, UK. Agosto, 1994.

Tiempo (1996) "**Climate and Human Health**". IIED, London, UK. Setiembre, 1996.

Vargas, C. (Por publicar) "**El Accidente de Chernobyl**". Por publicar, Instituto

Tecnológico de Costa Rica.

Vargas, C. (Por publicar) "**El Sistema Internacional de Salvaguardias y el Uso de Tecnologías**". Por publicar, Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Weston y Zemansky (1956) **University Physics**. Addison-Wesley Publishing Company, Cambridge.

Whippe, C. (1996) "**Almacenamiento de Residuos Nucleares**". Investigación y Ciencia, agosto, 1996.