

**EDUARD RODRÍGUEZ FARRÉ Y LA INDUSTRIA NUCLEAR: “[...] EN EL FUNCIONAMIENTO NORMAL, SIN PENSAR EN ACCIDENTES, LOS PRINCIPALES RIESGOS PARA LA SALUD HUMANA SON LOS PROVENIENTES DE LA GENERACIÓN DE RESIDUOS RADIATIVOS INHERENTES A LA PROPIA TECNOLOGÍA NUCLEAR.”**

20 de abril de 2006, Hospital Clínic de Barcelona (parcialmente editada en *El Viejo Topo*, nº 224, septiembre 2006, pp. 36-43).

La energía nuclear está de moda. El mismo año en que recordamos la tragedia de Chernóbil, se señala desde diversas instancias las ventajas de este tipo de energía e incluso la administración Bush, por boca de su presidente, la ha presentado como una energía alternativa dado que “no contamina ni contribuye al cambio climático”. Para conversar sobre los efectos de la industria nuclear en el medio ambiente y en la salud humana, hemos entrevistado a Eduard Rodríguez Farré, doctor en Medicina, Profesor de Investigación en Fisiología y Farmacología en el Instituto de Investigaciones Biomédicas de Barcelona (CSIC-IDIBAPS) y miembro de CIMA (Científicos por el Medio Ambiente)

*Si te parece, a lo largo de nuestra conversación, podríamos hablar de la industria, de las centrales nucleares, desde el punto de vista de sus consecuencias para la salud humana. Éste sería el asunto central de nuestro diálogo.*

*Al hablar de la energía nuclear se suele distinguir en ocasiones entre usos civiles y militares. El segundo uso, sin duda, presenta “problemas” para la salud y la vida de las personas, pero acaso la primera opción, el uso civil, no. Tal vez podría hablarse, como quería Eisenhower, de “átomos para la paz”. ¿Es así? ¿Puede afirmarse que el uso civil, pacífico, de la energía nuclear no ocasiona problemas importantes para la salud humana?*

En absoluto. Por un lado hay que tener en cuenta que el uso civil y el uso militar de la energía nuclear tiene muchos puntos de contacto y están íntimamente ligados en varios aspectos. Lo estamos viendo actualmente con el conflicto levantado por Estados Unidos respecto a Irán.

Irán está dentro de la legalidad del Tratado de No Proliferación de Armas Nucleares (TNP), pero, como es sabido, quien posee el ciclo completo de la energía nuclear civil también tiene en sus manos la tecnología para construir armas nucleares. Éste sería un primer punto. No se puede separar tajantemente el ciclo civil, la energía que se produce en las centrales nucleares, y el ciclo militar.

Por otro lado, el uso militar tiene como finalidad última la capacidad de destrucción de vidas humanas y el uso civil, obviamente, no tiene ese objetivo, pero este uso civil en absoluto es inocuo y presenta un serie de riesgos a lo largo de todo el proceso de producción de energía eléctrica: desde la obtención del uranio, pasando por el refinamiento, la separación isotópica, lo que llaman con

inteligente terminología de mercadotecnia, “el enriquecimiento de uranio” (tema que, si te parece, podríamos tocar más adelante), el uso en lo que es propiamente la planta nuclear para la obtención de energía eléctrica y, sobre todo, finalmente, uno de los puntos más críticos, los residuos que, inevitablemente, generan estas centrales. Unos con mayor intensidad, otros con menor intensidad, pero todos estos momentos comportan riesgos medioambientales y peligros para la salud humana.

***Centrándonos en esta última, en la salud humana, ¿cuáles serían entonces los principales riesgos que se presentan a lo largo del proceso?***

En el funcionamiento normal, sin pensar en accidentes, los principales riesgos para la salud humana son los provenientes de la generación de residuos radiactivos inherentes a la propia tecnología nuclear. Un reactor nuclear no es nada más que un sistema para calentar agua; para ello se utiliza la fisión del átomo de uranio 235 que, al romperse, al fisionarse (es a esto a lo que llamamos “desintegración nuclear”), produce varias docenas de radionúclidos<sup>7</sup>, radioisótopos -son términos prácticamente equivalentes-, elementos que tienen, aproximadamente, un peso atómico que es la mitad del uranio 235, entre el 40% y 60%. Hay, pues, docenas de productos radiactivos que van a quedar ahí, en algún lugar, y en algunos casos durante millares de años.

Esto representa, claramente, una hipoteca a futuro pero es también uno de los puntos críticos de contaminación ambiental que se origina no tan sólo alrededor de las centrales sino con su entrada en el medio ambiente, con su difusión por la biosfera y su entrada en los ciclos de las cadenas tróficas, en las cadenas alimenticias, de donde evidentemente pueden llegar a los humanos. Esto, insisto, en la hipótesis del funcionamiento normal de las centrales.

Hay aquí, pues, una generación de elementos radiactivos nuevos y, además, una difusión ambiental de los mismos porque siempre existen escapes; hoy por hoy, no hay forma de evitarlos totalmente.

***Este sería entonces el primer punto. ¿Habría algún peligro más en el funcionamiento normal de las centrales?***

Sí, claro que sí. El segundo punto importante es que estos diversos tipos de residuos, de núclidos radiactivos, estas toneladas de elementos radiactivos generados en el proceso del reactor nuclear para calentar agua y producir energía eléctrica que quedan ahí tras el proceso, hay que depositarlos en algún sitio. Para ello tenemos actualmente dos posibilidades: depositarlos en las propias centrales, esperando encontrar cementerios radiactivos adecuados, cosa que prácticamente en ningún país se ha logrado hasta la fecha (lo que conlleva que en las centrales haya una piscina, que está a la vista, para que primero se refrigieren), y la otra posibilidad, el camino seguido por dos potencias militares, que es, pues, uno de los puntos de conexión entre el ciclo militar y el civil, consiste en el reprocesamiento de estos residuos radiactivos generados en los reactores. Esto segundo lo están haciendo Francia y Gran Bretaña, que tienen las plantas de reprocesamiento de La Hague (Normandía) y de Sellafield (Cumbria).

<sup>7</sup> \_Término utilizado usualmente en lugar del más correcto de *radionucleidos*.

“Sellafield” es el nombre actual de la planta que antes se denominaba Windscale (Este cambio nominal lo podemos comentar posteriormente si tenemos tiempo).

En estas plantas se separa de todos estos residuos el plutonio que también se ha generado durante el proceso y que, como es sabido, tiene finalidades militares; se compactan los materiales y, en algunos casos, se devuelven al país de origen, como en el caso de Japón. Cada año viajan varios buques con residuos a través del Ártico, desde Japón a Gran Bretaña y Francia, se vuelven a compactar y se devuelven para ser depositados en cementerios radiactivos o bien, cuando son altamente radiactivos, se almacenan en estos dos puntos de la geografía europea que, claro está, son altamente contaminantes. En principio, todos estos residuos también tienen interés militar.

***Hablabas antes de uranio 235, ¿cuál es la diferencia entre el uranio 235 y el uranio 238? Hacías también referencia a la terminología usada: se habla del “enriquecimiento” del uranio o del “uranio empobrecido”.***

Aquí hay un tema que ha salido a la luz recientemente. Desde las guerras de Mesopotamia se ha utilizado la terminología “uranio empobrecido” y “uranio enriquecido”. Desde el punto de vista del impacto sobre la salud humana y de los impactos ambientales, e incluso desde el mismo punto de vista físico, todo esto es una terminología de marketing. Al decir que un uranio está enriquecido en algún aspecto, parece querer decirse que el otro es un uranio que ha perdido su valor y que, por consiguiente, ya no pueda tener uso productivo.

Empecemos por el principio si te parece. El uranio natural que hay en las minas es, fundamentalmente, una mezcla de uranio 238 (al decir 238 nos referimos al peso atómico, a la suma de los protones y neutrones del núcleo), y de otro isótopo que es el uranio 235. El primero está en la naturaleza en una proporción aproximada del 99,3%; el restante 0,7% es uranio 235, y hay también unas cantidades ínfimas de otros isótopos del uranio. Ambos tienen, prácticamente, la misma energía de desintegración y las mismas características radiobiológicas, si bien difieren en su periodo de semidesintegración, y se desintegran en forma de partículas alfa (formadas por dos protones y dos neutrones), que son partículas altamente energéticas y que puede ocasionar graves problemas en la salud cuando entran dentro de nuestro organismo: tanto el uranio 235 como el 238 tienen este tipo de desintegración y esto es lo que importa realmente de cara a sus posibles impactos sobre la salud humana.

Desde otro punto de vista, desde un punto de vista físico, la gran diferencia consiste en que el uranio 235 es un elemento que en física llaman fisible, es decir, que puede romperse, de forma tal que cuando recibe neutrones su núcleo se divide en otros elementos liberando energía. Éste es el uranio que interesa en los reactores nucleares o para hacer bombas atómicas, mientras que el otro, el uranio 238 al recibir neutrones no se fisiona sino que se transforma en plutonio y es a éste al que llaman “uranio fértil”. Esta es, básicamente, la principal diferencia que existe entre ambos (Conviene recordar que el plutonio es utilizado fundamentalmente en otra versión de las bombas atómicas).

Desde el punto de vista tecnológico, por lo que antes decía, para una central nuclear o para la fabricación de armas nucleares el que importa es el

uranio 235. Como la cantidad que hay de este uranio en la naturaleza es muy pequeña, lo que se busca es incrementar su proporción respecto al uranio natural. Éste es uno de los puntos críticos tanto en el ciclo militar como en el civil; de hecho, éste es el principal problema que existe actualmente con Irán.

***¿Y cómo se produce este enriquecimiento del uranio, es decir, para hablar con más precisión, cómo se consigue este incremento en la proporción de uranio 235?***

Del siguiente modo: la masa de uranio natural extraída del mineral se transforma en un gas (el hexafluoruro de uranio), se centrifuga, se ultracentrifuga, y en la centrifugación, como en cualquier otro proceso de este tipo, las partículas más pesadas van a parar a la parte del fondo del tubo, al lugar más distante del eje, y las menos pesadas quedan en el interior. A esta técnica se le llama de separación isotópica, y se utiliza en muchos procesos, se utiliza, por ejemplo, en los laboratorios biológicos. La ultracentrifugación, en este caso del uranio, es una tecnología muy complicada desde el punto de vista del material que se necesita: contenedores, rotores, etc. Es asunto de pura tecnología.

Quien dispone de este proceso tecnológico puede “enriquecer”, es decir, puede incrementar, como decíamos, la proporción de uranio 235 respecto del natural. Pero esto no quiere decir que un uranio sea “rico” y otro sea “pobre”, que es el error conceptual que parece difundirse: un uranio, el 235, es rico y el otro, el 238, es pobre, y por tanto ya no sirve para nada. ¡Claro que sirve! Del uranio 238 se obtiene el plutonio. Pero lo que está ocurriendo es que en todo este proceso de obtención de uranio para centrales nucleares, o incrementando la proporción de uranio 235 para armas atómicas, lo que se está obteniendo, decía, son grandes cantidades de uranio 238 que no tiene utilización inmediata, pero que en absoluto se puede decir que son inútiles.

Tanto en los reactores militares como en los civiles tenemos la cuestión de proporción de uranio 235. En un reactor civil viene a ser de entre un 3% y un 7%. Para obtener uranio que pueda ser usado militarmente se necesita incrementar la proporción de uranio 235 hasta un 70%, hasta un 80 % o más (que es, por ejemplo, la proporción de uranio 235 de la bomba de Hiroshima).

Así, pues, el uranio 238 puede servir para hacer plutonio. En el proceso de “enriquecimiento” en uranio 235 se producen grandes cantidades, millares de toneladas de uranio 238, y entonces se les ocurrió hace muchos años fabricar obuses antitanque y otros tipos de bombas de gran penetrabilidad recubiertas de este uranio sobrante. El uranio es un metal altamente pesado, es el metal más pesado que hay en la naturaleza, y el plutonio no existe de forma natural en nuestro planeta. Estos obuses recubiertos de uranio, al impactar con una coraza de tanque o con cualquier otro objetivo, al tener una gran penetrabilidad, dado que la fricción en contacto con el aire es altamente inflamable, se convierten en un aerosol. Este aerosol de uranio 238 se disemina por la naturaleza y puede llegar a centenares de kilómetros de distancia del lugar de la explosión. Este es el problema que ocurrió en la primera Guerra del Golfo, en la segunda Guerra, en los Balcanes; en todos estos lugares se han contaminado civiles y militares con partículas microscópicas de uranio que llegan al pulmón y pueden originar toda

una serie de problemas, fundamentalmente carcinogénesis y enfermedades derivadas.

***Sobre este último punto, déjame plantearte varias cuestiones. ¿Que países tienen actualmente la tecnología suficiente para lograr este incremento de la proporción de uranio 235?***

Los países que tienen el arma nuclear; los que tienen el ciclo completo son las potencias atómicas. Lo tiene Estados Unidos, lo tiene China, lo tiene Rusia, lo tiene Francia, lo tiene Gran Bretaña.

Hay aquí una cuestión que aun siendo, en principio, meramente histórica es interesante. En los años setenta se creó un consorcio que se llamaba "EURODIF" que es la abreviación de Eurodifusión (por el método de *enriquecer* uranio). El consorcio se encuentra bajo control francés y sus instalaciones también están en territorio francés. Participan en él una serie de países europeos [entre ellos España], que no tenían entonces ni tienen ahora el ciclo completo, además de Persia, de Irán (De hecho, creo que el Sha participó con un 10% en el consorcio). Observemos que ya en la época del Sha, Persia tenía intención de construir centrales nucleares. No sabemos si tienen también intenciones militares.

en el que participaban países europeos que no tenían entonces el ciclo completo más el Irán del Sha. Persia, en esa época, participó creo con un 10% en este consorcio. En la época del Sha, Irán ya tenía intención de construir centrales nucleares (si tiene también intenciones militares eso, hoy por hoy, no lo sabemos).

Países que no sean potencias atómicas y que tengan el ciclo completo, según creo, no los hay. Es muy caro, es un proceso de alto costo. Dado que hay consorcios que pueden producir el uranio incrementado en 235, la mayor parte de países lo compran a los pocos Estados que son suministradores de este procedimiento.

***Y en cuanto a los yacimientos, ¿que países tienen uranio natural?***

Uranio natural hay en Estados Unidos, hay en varios países africanos. Antes de la ocupación de Irak, tal vez lo recuerdes, salió en la prensa el tema de un embajador (o algo así) que había ido a Níger. Allí existen en la zona del desierto, al norte del país, una de las minas más potentes de uranio. Las controlan los franceses.

En España hay minas de uranio pero no son muy rentables. Hay en Ucrania, hay en otros países. Lo que pasa es que no hay demasiadas minas que sean utilizables. Es posible que haya en otros sitios, lo desconozco, no conozco exactamente su ubicación geográfica. Estados Unidos tienen seguro uranio natural, Francia lo obtiene a partir de África; Rusia seguro que lo tiene dada su superficie. China no lo sé, no sé cómo lo consigue pero seguro que tiene que tener alguna fuente para su metalurgia de uranio y el resto lo compra. O sea, la mayor parte de los países compran el uranio de las centrales nucleares a dos o tres grandes empresas, a las que fabrican los reactores: General Electric, Westinghouse.

***Cuando antes hablabas de los residuos, salió el tema de los transportes radiactivos. ¿Estos desplazamientos generan algún peligro destacable?***

El transporte es muy espectacular. Hasta ahora, según mi conocimiento, no ha habido problemas. Los materiales se transportan en contenedores que pueden resistir caídas de hasta 50 metros, que pueden recibir impactos, etc. Lo que pasa es que actualmente estamos en una situación política de inestabilidad por los atentados que pueden producirse. Éste es uno de los puntos vulnerables, al igual que las centrales nucleares. Una central tiene puntos muy vulnerables ante un ataque aunque éste sea muy artesanal.

***Pero hasta ahora, perdona que insista, en todos estos desplazamientos no se ha producido ningún accidente de gravedad.***

Según mi conocimiento, hasta ahora no habido ningún problema importante. Los accidentes que se han producido han sido los de los reactores nucleares y ha habido también otros accidentes de manipulación en las plantas de reprocesamiento, tanto en las europeas como en las militares que existían en Estados Unidos y Rusia. En Rusia, en la URSS mejor dicho, en los Urales, hubo varios accidentes también. Allí tenía la URSS varias instalaciones de reprocesamiento para obtener plutonio.

***Hablemos ahora, si te parece, de los accidentes, del funcionamiento anómalo de las centrales. Como sabes, desde hace cierto tiempo, estamos asistiendo a un relanzamiento de la industria nuclear. La actual administración norteamericana parece haber apostado por lo nuclear, llegando incluso a afirmar que se trata de una “energía limpia”. Yo quería preguntarte sobre uno de los argumentos que esgrimían y esgrimen los partidarios de este tipo de energía. Éstos sostienen que los accidentes son muy improbables (cosa que, como es sabido, ya decían hace años), y que cada vez tenemos más garantías de seguridad en las instalaciones, en los diversos procesos que se efectúan en ellas. Accidentes como el que ocurrió en Chernóbil hace ahora 20 años, dicen, son prácticamente irrepetibles, son casi impensables. ¿Crees que se puede argumentar en estos temas de esta forma, con esta seguridad?***

En absoluto. Como uno ya es viejo, a mí me recuerdan las argumentaciones que se usaban antes del accidente de la Isla de las Tres Millas y de Chernóbil. Recuerdo perfectamente que en los años ochenta se decía desde instancias favorables a lo nuclear que era más improbable un accidente en una central nuclear que le cayese un meteorito en la cabeza a un habitante de nuestro planeta (Yo he oído decir esto a los ingenieros nucleares con todo el aplomo). En los manuales de riesgo de la ingeniería nuclear se afirmaba que un accidente con peligro destacable era altamente improbable. Podrían ocurrir pequeñas fugas, sobre todo en las zonas de refrigeración que controlaban el intercambio del circuito primario en contacto con el reactor y el circuito de refrigeración, ahí podían haber pequeñas fugas, pero un accidente serio era improbable.

Muchos quizás recordarán la película “El síndrome de China”. No recuerdo ahora el nombre del director...

### ***James Bridges.***

Efectivamente, James Bridges. Estaba protagonizada por una joven Jane Fonda y por Jack Lemmon. La película era atractiva. Lo que se describía en ella a mí me recuerda lo que pasó en Vandellós el verano pasado. En la película se narraba que había una gran demanda eléctrica porque era verano, y, entonces, un ingeniero estaba advirtiendo que existían problemas en la refrigeración de la nuclear, que había que parar la central para reparar aquello. La empresa, claro está, decía que no se podía parar porque entonces se iban a perder millones y millones de dólares (era la época punta de demanda). Finalmente ocurría un accidente. Vandellós ha estado en una situación similar este verano pasado, en 2005. No digo que hubiera podido ocurrir un accidente, no lo sé, pero el hecho es que existían toda una serie de problemas de corrosión en los sistemas de refrigeración y no se paró la central porque también era época estival.

Casi todos los problemas que han tenido las centrales nucleares están precisamente en la tecnología que es inherente al proceso: se utiliza la desintegración del átomo para calentar agua; ello implica circuitos de refrigeración porque la desintegración del uranio 235 produce una cantidad inmensa de calor, que se ha de poder controlar para poder mover las turbinas, por un lado, y por el otro necesita refrigeración. Si falla ésta, es cuando puede ocurrir el accidente. Todos los accidentes se han producido en este punto crítico. ¿Por qué puede fallar la refrigeración? Pues porque fallan estos sistemas, como ocurrió en Vandellós I, donde hubo un accidente que estuvo al borde de haber sido muy grave. Evidentemente, todos los sistemas son redundantes pero han fallado más de una vez. Puede fallar también el sistema de energía eléctrica, puede haber errores humanos,...

***Pero, se podría argüir, y de hecho a veces de arguye en esta dirección, que todo esto que señalas es el pasado de las centrales, no su presente.***

La situación es, básicamente, la misma. Efectivamente se ha invertido mucho en seguridad, esto no se puede negar. Dado que es una tecnología con un evidente riesgo inherente son conscientes que es necesario invertir en seguridad. Pero, primero, el parque actual, las casi 500 centrales nucleares que existen en el planeta, están envejeciendo, son ya muy viejas porque hace muchos años que casi no se fabrican nuevas. La nueva tecnología quizá puede ser mejor pero el riesgo inherente sigue siendo el mismo, el reactor de agua presurizada. Los franceses abandonaron su tecnología, que era la de Vandellós I, que era distinta, que era la refrigeración por gas, y se está trabajando ahora on el reactor europeo de agua presurizada que es, prácticamente, similar al clásico de Estados Unidos (PWR: *pressurized water reactor*) que era de agua presurizada, que es el más usual. Otros, en cambio, son de agua hirviendo (BWR: *boiling water reactor*).

Pero en el fondo estamos ante unos riesgos que pueden ser similares. Por mucha tecnología moderna que se aplique, el diseño de una central nuclear sigue siendo el mismo ahora que en una central de hace 20 o 30 años. Una central sigue siendo un sitio donde hay barras de uranio incrementado en uranio 235, con un moderador de grafito (que podía ser antes el agua pesada en los reactores

militares), y unos sistemas de refrigeración. Toda tecnología, además, puede fallar y cuantas más centrales haya más probabilidades hay que en un punto o en otro de alguna de ellas se pueda producir un accidente.

Este es el principal riesgo de las centrales. Pero incluso dejando fuera el problema de los accidentes, el funcionamiento normal del ciclo nuclear, como decía, representa un riesgo medioambiental y un riesgo para la salud por la generación de radionúclidos.

Si me permites un momento, hay un punto en el que a mí me gusta insistir y es que hasta el año 1942, hasta mediados del XX, la radiactividad en nuestro planeta había ido disminuyendo desde su formación por las leyes de decaimiento radiactivo de la física. La vida ha ido evolucionando, pues, con un fondo radiactivo de tal forma que cuando más moderna o más reciente sea una especie habrá evolucionado con un fondo radiactivo menor. Aunque no sea de manera absoluta, esto se puede observar en la radiosensibilidad de las distintas especies. Los mamíferos son mucho más radiosensibles (o sea, que pueden manifestar efectos, pueden morir a dosis mucho más bajas) que especies de reptiles, y los reptiles son más radiosensibles que los peces. Los insectos son altamente radioresistentes, y ya te puedes imaginar lo que sucede con las bacterias. En los reactores -yo trabajé hace muchos años en uno de ellos en Francia-, en el agua de refrigeración, que es altamente radiactiva, de un reactor experimental se detectaban bacterias, a las que se llamó “el bacilo radiodurans”, ¡crecían allí bacterias bajo un fondo de millones de rads! Es una cantidad enorme que un mamífero cualquiera no aguantaría ni una hora.

### ***Rad..., ¿qué unidad de medida es ésta?***

Es una unidad de medida radiológica que cuantifica la dosis de radiación ionizante absorbida por una determinada masa de sustancia (rad: *radiation absorbed dose*). Un rad equivale a 0,01 julios de energía absorbida por kg de sustancia. Hoy en día la radiación absorbida también se expresa en grays (1 Gy = 100 rads = 1 julio/kg), unidad de medida coherente recomendada por la Comisión Internacional de Unidades y Medidas de Radiación.

### ***De acuerdo. Hablabas de la radiosensibilidad de las diferentes especies.***

Cuando más antigua es una especie viviente, empezando por las bacterias, más resiste las radiaciones ionizantes porque evolucionó con un fondo radiactivo mayor. Los mamíferos, las especies más recientes en la evolución, son mucho más radiosensibles que otras clases de vertebrados y éstos, a su vez, lo son más que los invertebrados. Por ello, la especie humana es mucho más radiosensible que la mayoría de especies. Existen excepciones, pero un escorpión, por ejemplo, resiste cantidades enormes de rads. Igual ocurre con muchos tipos de insectos, arácnidos, crustáceos. Los mamíferos, prácticamente todos, con 300-400 rads -la dosimetría actual lo expresaría como 3-4 grays- pueden morir. La dosis que puede matar a un mamífero no le hace nada o muy poco a insectos, a alacranes o al grueso de otras especies.

***¿Y cuándo surge, digamos, una innovación artificial en esta evolución y se interrumpe la disminución de la radiactividad?***

En 1942 irrumpe un fenómeno producido por la especie humana. Entra en funcionamiento en diciembre, en Chicago, el primer reactor nuclear, ideado por Fermi, el gran físico italiano. La pila atómica se la llamaba. Es el primer reactor que se estableció para obtener plutonio y para poder construir la bomba atómica.

A partir de entonces, con la intervención humana, ha ido aumentando la radiactividad en nuestro planeta. Hay un fondo de radiactividad natural que se distribuye según la geografía dado que depende de varios factores. Hay un fondo de radiación constante que proviene de la radiación cósmica, que forma en la atmósfera carbono 14 (y que forma también algún otro radionúclido), pero el fondo de radiación del planeta, que es el que nos puede afectar directamente porque puede llegar a introducirse en nuestro organismo, a lo largo del tiempo, como decía, fue disminuyendo, pero, en cambio, ha ido aumentando desde 1942. A través de los procesos tecnológicos de los reactores nucleares, introducimos en la biosfera elementos radiactivos que son elementos muy similares a los que fisiológicamente, de forma natural, utilizan los organismos. El estroncio 90, por ejemplo, que es uno de los elementos más importantes de la contaminación de Chernóbil, o el cesio 137, son radionúclidos que se incorporan al organismo: el primero actúa como el calcio y se incorpora en los huesos, el cesio 137 se incorpora en los músculos como el potasio, el yodo radiactivo se incorpora en el tiroides,... porque son equivalentes o iguales, como en el caso del yodo, a elementos no radiactivos que existen en la naturaleza y que son necesarios para la vida.

En todos estos casos estamos introduciendo este tipo de productos en nuestro organismo, lentamente si se quiere, pero en cantidades significativas. Y, sobre todo, volviendo al tema anterior, está la generación de residuos que aumentará cada año si se incrementa el número de centrales nucleares y con los que, como dijimos, no se sabe muy bien qué hacer.

***Pero esto, bien mirado, sin estar dotado de ningún poder especial, es hipotecar las futuras generaciones.***

Claro, claro. Esto representa una hipoteca a largo plazo, y no digo ya lo que ocurre cuando hablamos de radionúclidos de vidas enormemente largas. El estroncio 90 tiene una vida media de 30 años, lo que quiere decir que en ese período se ha reducido su masa a la mitad, que en los 30 años siguientes se habrá reducido otra mitad (de la mitad restante), lo que quiere decir que dentro de 60 años aún quedará la cuarta parte del estroncio inicial, o sea, que durará varias generaciones. Pero la situación se agrava aún más en casos como los del plutonio o los del americio, el elemento que se forma cuando desaparece el plutonio 239 (Dicho sea entre paréntesis, esto último permite rechazar una de las afirmaciones falaces que se han realizado últimamente y no creo que de forma inocente: el plutonio que estaba en Palomares está disminuyendo, se dice a bombo y platillo, pero en cambio no se comenta al mismo tiempo que ese plutonio se está transformando en americio y que el americio 241 es un isótopo altamente energético también y que puede incorporarse al organismo humano).

Así, pues, estamos en algunos casos ante millares y millares de años de permanencia. Aquí, además, hay un asunto que presenta una arista que permite la ironía: es un poco absurdo pensar que puede existir una institución humana que permanezca millares de años vigilando, controlando algo con eficacia. Las instituciones humanas más antiguas que conocemos son la burocracia china y la Iglesia católica; la primera tiene algo más de 2.000 años y la segunda debe tener unos 1.700 años de antigüedad como poder que tiene control de algo. Pues bien, pensar que dentro de 10.000 o 20.000 años puede haber alguien que siga vigilando el plutonio que se está generando ahora es, creo, totalmente ilusorio o, acaso, muy ingenuamente optimista.

Siempre surge aquí la respuesta tecnocrática: no nos preocupemos, como en otras ocasiones ya se encontrará una manera de hacer las cosas, pero esto es equivalente a la afirmar “después de mí, el diluvio”. No tenemos hoy ninguna tecnología previsible que pueda utilizarse de manera efectiva en este punto.

A veces aparece también la ciencia-ficción: estos elementos se pueden transmutar, se dice. Es evidente que hay tecnología para transmutar los metales, es el viejo sueño de los alquimistas, se puede por tanto transformar el plomo en oro, pero estos procesos son tan caros que es mucho más barato el oro que existe en la naturaleza que el oro que se pueda obtener de esta forma, aparte que esto sólo se puede conseguir con cantidades muy pequeñas en aceleradores de partículas de muy altas energías.

Sigue siendo pues un problema la hipoteca que representa la generación de residuos persistentes, sea con tecnología moderna, sea con tecnología más antigua (que en el fondo no son tan distintas como dicen).

***Por lo que acabas de apuntar, entonces el argumento que se utiliza desde atalayas defensoras de esta energía señalando que también existe radiactividad natural y que, por consiguiente, no deberíamos preocuparnos, es netamente falaz.***

Efectivamente, este argumento es falaz, totalmente falaz. Por un lado, por lo que decíamos, la vida, nuestra especie, ha aparecido en un fondo radiactivo determinado que ha ido disminuyendo desde el origen del planeta, pero nosotros estamos incrementado la radiactividad. Esto es un hecho radiobiológico comprobado, cuanto más antigua es una especie o un *phylum* más resistente es. Pero además, por otro lado, que la radiactividad natural no tenga efectos negativos, es una afirmación muy discutible porque también hay estudios en revistas científicas especializadas que muestran que hay diferencias de efectos (diversos cánceres, diferentes tipos de mortalidad) cuando la radiactividad natural es más alta en una región que en otra.

Hay un ejemplo típico en Europa que se estudió en los años ochenta. Tú recordarás que existían balnearios de aguas termales que publicitaban su excelencia diciendo que el agua de estos lugares eran radiactiva (Incluso yo he visto botellas de agua mineral en España en las que ponía “agua radiactiva”). En los años treinta, cuarenta, hasta los años cincuenta, que una cosa fuera radiactiva significaba que era muy moderna y muy buena porque era el último grito de la ciencia. En Europa hay un balneario de estos en los Alpes austríacos, a unos

1500 metros de altura, que se llama Badgastein, que es una de las zonas más radiactivas de Europa, incluso del planeta. Ahora, claro está, no publicitan que las aguas de allí sean radiactivas; ahora es un balneario -un “Spa” que dicen en alemán- usual, pero durante muchos años se había publicitado como lugar de alta radiactividad. Pues bien, se hizo un estudio, poniendo dosímetros a los empleados que trabajaban allí durante un año. Se trataba de ver si estos empleados quedaban afectados por su trabajo, en un lugar, insisto, de alta radiactividad *natural*. Lo que se comprobó sin ningún género de duda es que en las personas que trabajaban allí -también según el lugar donde lo hacían: oficinas, limpieza, cocina, los fisioterapeutas, las personas que estaban más tiempo en las zonas de aguas termales- se producía una incidencia de rupturas cromosómicas mucho más alta que en las personas que estaban menos expuestas a la radiación o que vivían en otras zonas de montaña similares pero con bajo nivel de radiactividad.

### ***¿Rupturas cromosómicas?***

Se entiende por *rupturas cromosómicas* aquellas lesiones causadas por un agente físico □radiaciones ionizantes en este caso□ o químico -raramente- en el material constituyente de los cromosomas y que llevan a la fractura de éste. Ello implica una rotura del filamento de ADN contenido en el cromosoma y, por lo tanto, una discontinuidad de la información genética. Las consecuencias son variables dependiendo de la capacidad de reorganización cromosómica y de reparación del ADN, así como de la zona de información alterada y del tipo de célula afectada. Pueden ir desde efectos nimios o nulos hasta la inducción de diversas patologías, en especial cáncer.

### ***De acuerdo Eduard. ¿Y entonces qué puede concluirse del experimento que explicabas?***

Podemos concluir que no es inocuo vivir en una zona de alta radiactividad natural comparándola con una zona, insisto, de baja radiactividad natural.

Este estudio que he narrado quedó ahí, quedó como un dato, pero se ha comprobado en otras zonas. Cuando la radiactividad natural de un área, por las razones que sean (porque hay potasio 40, porque hay uranio, porque hay elementos de las series radiactivas en general), es alta □existen diferencias de 1 a 5 o más□, la gente que vive allí puede tener más rupturas cromosómicas o determinadas afecciones. Este tipo de afecciones sigue siendo motivo de estudio, pero hay muy poca investigación en los últimos años sobre esta materia.

Este es otro tema sobre el que debería hablarse y del que no se habla apenas. La investigación sobre estas cuestiones quedó prácticamente parada en los años ochenta. En muchos casos eran estudios militares, estaban financiados por agencias militares y se difundían muy poco, o tan sólo en áreas restringidas.

### ***Pero perdona un momento. Según tu punto de vista, el parón investigador en estas temáticas, ¿por qué crees que se produce?***

Yo creo que se produjo a raíz de Chernóbil. En 1986, yo formada parte del Comité de Investigación en Salud de la Unión Europea, un comité en el que

había representantes de varios países. La mayor parte éramos médicos o personas del ámbito sanitario. Pues bien, ese comité, unánimemente, recomendó que, ya que se había producido el accidente, se estableciese un sistema de vigilancia epidemiológica y se estudiase la radiactividad de cada zona con los efectos que podía haber, a largo plazo, en la población. La recomendación fue rechazada de plano por las autoridades de la Comisión Europea.

Hay otro aspecto muy interesante también en este asunto. No sé si te has fijado que a lo largo de los últimos cincuenta años los departamentos o ministerios de salud nunca se han preocupado de estos temas, que han sido siempre los ministerios, los departamentos de energía, de industria; lo mismo ocurre en el marco de las Naciones Unidas. Ahora mismo hay una polémica muy importante sobre Chernóbil. La Organización Mundial de la Salud (OMS) firmó en 1959 una especie de convenio o acuerdo, un *memorandum of understanding* que dicen en inglés, con la Agencia Internacional de la Energía Atómica (AIEA) de Viena por el que todas las cuestiones relacionadas con la utilización de la energía atómica o con la radiactividad necesitaban el acuerdo de la AIEA. De este modo, los estudios que publica la OMS han pasado anteriormente por la Agencia; tampoco ha habido, desde entonces, programas de investigación propios de la OMS. La misma Agencia europea tenía y tiene un comité de radioprotección o radiovigilancia pero no son temas que hayan pasado nunca por los estudios de salud. Hay muy pocas investigaciones independientes epidemiológicas, radiobiológicas. La mayor parte de los departamentos de radiobiología dependían o tenían relación con instituciones militares: en Francia, el Comisariado de Energía Atómica; la Agencia de Energía Atómica en Estados Unidos; en Inglaterra, el Medical Research Council tenía unidades que estaban íntimamente ligadas con los departamentos de energía y con el de asuntos militares. Ha sido, pues, un sector que siempre ha quedado apartado, ha sido un sector reservado: o en manos militares o en manos de departamentos de energía o industria, pero nunca en departamentos de salud. Con lo cual, a la hora de mirar la literatura científica contrastada en revistas con revisión por pares, donde hay un consejo científico que es muy duro a la hora de aceptar un artículo, nos encontramos con que hay muy pocos estudios significativos y, además, con un parón claro en los años ochenta. Hasta *Nature* publicó estudios hechos por investigadores alemanes sobre la contaminación de Sellafield (Gran Bretaña, en la costa del mar de Irlanda)) y de La Hague (Francia, en la costa de Normadía), investigando cómo la contaminación por plutonio y otros radionúclidos llegaba hasta Noruega, por las corrientes marinas, y al interior de las regiones donde se ubican las plantas, por los aerosoles del mar (como esas instalaciones suelen verter sus aguas al mar, puede existir polución marina). Estos investigadores estudiaban cómo los aerosoles que forman las olas llegaban al interior del continente, cómo estaban contaminadas las especies marinas. Pero jamás, que yo sepa, se han vuelto a estudiar todos estos aspectos.

Si hay estudios, seguro que los habrá, son informes que quedan reservados dentro de las instalaciones de la industria o dentro de los departamentos militares. Sellafield en Inglaterra y La Hague en Francia tienen un control militar muy importante. Pero no aparecen en la literatura científica abierta y rigurosa, donde,

prácticamente, no aparecen este tipo de estudios. Haberlos “haylos”, pero son estudios muy puntuales. Aquí mismo, por ejemplo, en el marco de mi departamento de investigación del IIBB/IDIBAPS (Hospital Clínic de Barcelona), hicimos en 1997, un estudio con un neuropatólogo sobre afectación de neuronas por radiaciones ionizantes. Teníamos una financiación genérica y la destinamos a esto; publicamos posteriormente nuestro estudio. Puedes encontrarlo. Pero, como te decía, son artículos muy aislados.

### ***¿Y estudios epidemiológicos? ¿Se realizan este tipo de estudios?***

Hay alguno, en España hay alguno, un estudio que se hizo en el Instituto Carlos III sobre la incidencia de la leucemia en la población cercana a las centrales. Se han hecho también estudios en Inglaterra. O sea, hay estudios que muestran el riesgo de estas instalaciones y del ciclo nuclear, pero han ido disminuyendo notablemente a partir de los años noventa.

El problema fundamental para mí, por ejemplo, es conseguir financiación para este tipo de investigaciones. Ya sabes que en cualquier país europeo, en los Estados Unidos o en países desarrollados en general, la investigación se hace a través de convocatorias de programas que en su gran mayoría son para áreas específicas. Por ejemplo, en el área de biomedicina se propone estudiar la biología molecular de diversas enfermedades, se estudia la contaminación de un lago determinado, pero si un tema no está definido en estos programas es muy difícil conseguir fondos. Nosotros mismos nos encontramos con graves problemas. Tú no puedes pedir financiación para temas que interesan, y que crees de interés general, si no están en estos programas. Puedes ir al apartado de “promoción general del conocimiento”, como se llama en España, que es investigación muy básica, pero entonces te responden que eso es aplicación y que no hay programas adecuados.

En la Unión Europea, en los programas marco de investigación, no hay ningún tema de este tipo. Sólo existe en el Euratom pero aquí no hay convocatorias de investigación libre. Pueden haber contratos, trabajos que se hacen con instituciones de energía nuclear, programas orientados, pero, por lo general, no son estudios científicos independientes que aparezcan en la literatura de libre acceso.

### ***¿Y qué es el Euratom?***

El Euratom es la Comunidad Europea de la Energía Atómica (acrónimo de *European Atomic Energy Community*), una de las organizaciones constituyentes □ junto con la Comunidad Europea del Carbón y del Acero y la Comunidad Económica Europea □ de las Comunidades Europeas, entidad establecida en julio de 1967 al fusionarse los ejecutivos de estas instituciones y precursora de la actual Unión Europea. Euratom fue fundado en 1958 para promocionar la energía nuclear en Europa; creó un centro de investigación en Ispra (Joint Research Centre), Italia. Por los tratados fundacionales Euratom sigue manteniendo actividades y programas científico-tecnológicos con presupuesto □ muy considerable □ propio e independiente del Programa Marco de Investigación de la UE, si bien bajo el control de la Comisión Europea.

*Volviendo a un tema que has tocado anteriormente, el relativo a las enfermedades actuales. ¿Se podría afirmar entonces documentadamente que enfermedades como el cáncer o su mayor incidencia, que determinados tipos de cánceres tienen como origen el uso de este tipo de energía? ¿Crees que existe una relación de causalidad o alguna correlación positiva sospechosa entre ambas cosas? ¿Se podría afirmar una cosa así sin caer en tremendismos, o en formular una conjetura alegre o una afirmación sin base?*

Sí, sí, yo me atrevería a afirmarlo, como creo que harían muchos otros científicos; creo que se puede afirmar una cosa así. Lo que hay que matizar si acaso es que una parte -no digamos todos- de estos cánceres pueden estar originados por la energía nuclear, por los radionúclidos contaminantes del medio. La cuestión es que, por ejemplo, en un cáncer de tiroides tú no puedes distinguir si está originado por la radiactividad o si está determinado por otras causas; lo que sí puedes hacer es distinguir la incidencia de casos, como ha ocurrido en el accidente de Chernóbil. La tasa de cánceres espontáneos, de los que no sabemos su causa, es en principio constante; en el caso del cáncer de tiroides, no lo recuerdo exactamente, pero pongamos que fuera de 2 por cada 100.000 habitantes. Lo que está claro, lo que se ha comprobado sin sombra alguna de duda, es que a partir de 1986 tanto en Ucrania como en Bielorrusia y en Chequia, o como en muchos otros países en los que se ha podido investigar, en *todos* -insisto en todos- se incrementó esa tasa en los niños entre 5 y 10 y hasta 30 veces □según la contaminación local□ durante 4 o 5 años y luego se ha mantenido alta respecto a la existente antes del accidente (Éste es un cáncer muy precoz porque el iodo 131 que se emitió en Chernóbil, y que contaminó muchas áreas, dura pocos días, tiene una vida media muy corta, pero si en ese tiempo se concentra en la glándula tiroides, ahí puede inducir cáncer). Aquí sí que tenemos una buena comparación entre poblaciones no expuestas, o mejor dicho, entre poblaciones antes y poblaciones después, una serie histórica o una serie caso-control que llamamos nosotros: donde no había radiactividad inducida por el accidente existía esa incidencia de 2 por 100.000 habitantes; donde hubo iodo 131 la tasa subió el doble, el triple, o 5, 10 o más veces por cada 100.000 habitantes.

Está claro que hay una correlación entre esta contaminación y los cánceres. Lo que yo no sé, lo que no se puede afirmar, es si el cáncer concreto del señor X está determinado por esta contaminación o juega también en su caso la tasa espontánea de cáncer. Se puede llegar a saber midiendo la radiactividad pero como el cáncer aparece unos cinco años después de la exposición, en el caso del tiroides, el iodo radiactivo ya ha desaparecido, con lo que no hay pruebas objetivas de laboratorio, digamos, para determinarlo, pero lo que sí tenemos es la prueba estadística y epidemiológica de que hay una correlación directa entre la tasa de radiactividad del iodo y la aparición de estos cánceres.

*Y una correlación así, tan nítida, ¿es la primera vez que se conoce?*

No, en absoluto. Esto se conoció también en el área del Pacífico. Cuando las explosiones atómicas de los Estados Unidos en las islas Marshall en los años

cincuenta, se produjeron unos accidentes. Calcularon mal la distancia a la que se iba a desplazar la nube radiactiva y, desde unas islas de los atolones de este archipiélago, llegaron hasta 500 o 600 kilómetros de distancia, hasta allí llegó la nube radiactiva; todos los habitantes de aquella zona quedaron contaminados. Evacuaron a todas las personas afectadas, las llevaron a Estados Unidos y a todos los niños, que fueron los que quedaron más afectados, tuvieron que extirparles el tiroides.

Esto se ha podido comprobar también en Chernóbil. En los años 89, 90, 91, 92, en niños que vivían en las zonas afectadas apareció una tasa elevadísima de cánceres de tiroides; hubo que extirpárselo. Estos niños están sufriendo dado que tienen, y van a tener, una terapéutica sustitutiva toda su vida porque si no tienes tiroides hay que tomar hormona tiroidea, que es lo que está produciendo esta glándula en funcionamiento. Pero, por otro lado, incluso en adultos, años después, incluso hoy en día, está apareciendo una mayor incidencia de cánceres de tiroides.

Después de todo ello, podemos afirmar con fundamento que esta radiactividad ha determinado una serie de problemas muy directos como este tipo de cáncer, pero leucemias o linfomas también se pueden producir. Lo que ocurre es que hay un tasa de fondo; hay linfomas, hay cánceres de otros tipos, y esto incrementa las tasas habituales. Cuando hay radiactividad natural más elevada, muy probablemente también puede ocurrir un incremento así, si comparamos la situación con otra de radiactividad más baja. Lo que no podemos aceptar es esa afirmación, que es falaz, de que la radiactividad natural está ahí y no hace ningún daño. Como te decía, sí que hace daño, o sea, puestos, mejor que no hubiese, sin duda está haciendo algo. Lo que no podemos es cuantificar exactamente qué papel juega cada cosa porque muchas de estas enfermedades son multifactoriales, hay muchos factores que están incidiendo sobre todo ello. ¿Queda claro?

***Creo que sí, creo que queda claro. Se habla también en ocasiones, al comentar estas cuestiones, que la radiación es acumulativa. ¿Qué se quiere decir con ello? ¿Qué significa afirmar que la radiación es acumulativa?***

El problema de las radiaciones a la hora de medirlas de cara a su efecto es la dosimetría. Aunque la actividad radiactiva físicamente se mide en unidades de desintegración por segundo (esta unidad se denomina becquerelio (Bq): 1 Bq es una desintegración por segundo), el efecto biológico no depende sólo del número de desintegraciones, lo que llamamos *actividad*, sino que depende de la naturaleza de la desintegración. Así, no es lo mismo una radiación gamma, que es muy penetrante por no tener masa ni carga eléctrica, que puede atravesar grandes cantidades de materia (paredes, metales), como hacen los rayos X, por ser más energéticas, y que es, por tanto, más peligrosa desde el exterior, que una radiación beta que es un electrón negativo (existen electrones positivos que son los positrones pero esto no viene al caso) o una radiación alfa, como la del uranio o la del plutonio, que es un núcleo de helio (dos protones y dos neutrones), que tiene dos cargas positivas y una gran masa.

La radiación alfa, es cierto, es poco penetrante. Esta es una de las cuestiones que también se discuten. Puedes parar una radiación alfa con una hoja

de papel. Si aquí hay una fuente de uranio, le pones un papel, no sé, por ejemplo, media cuartilla del DIN A4, y un contador no detecta prácticamente ninguna partícula. La hoja la ha parado, no la ha podido penetrar. Una radiación beta, sin duda, tiene más penetrabilidad pero no debe pasar del milímetro. En cambio, una radiación gamma tiene una penetrabilidad de metros. Esta radiación es la que se usa en las fuentes de cobalto para mirar, por ejemplo, la textura interna de las vigas de acero (es similar a una radiografía) o en metalurgia para ver si están bien construidas las estructuras.

Así, pues, el efecto biológico va a variar enormemente según la naturaleza de esta radiación, no sólo por el número de desintegraciones. En la mayor parte de las radiaciones hay que distinguir además si la fuente de radiación es interna o externa. La externa tiene efectos pero preocupa menos. Sin duda, cuando hay mucha exposición a las radiaciones externas, como en el caso de los radiólogos, puede haber efectos importantes. Hasta no hace tanto tiempo la mayor parte de ellos tenían las manos esclerosadas, sufrieron muchos efectos porque estaban expuestos a radiación de rayos X, que es un tipo de radiación gamma débil, pero que atraviesa el organismo y puede romper el ADN. Pero lo que más importa, en lo que estamos hablando, son las radiaciones beta y las radiaciones alfa, las del plutonio, las del uranio, la radiación beta que pueda producir el estroncio 90. Esta radiación nos va a llegar fundamentalmente por la contaminación de las cadenas tróficas y se incorporará a nuestro organismo vía alimentos.

***Eso sería entonces lo que se llama, lo que llamabas, irradiación interna.***

Exacto. Esto es lo que llamamos la irradiación interna (Irradiación significa exposición a las radiaciones). Esta partícula alfa que con una hoja de papel, como decía, la puedo frenar, cuando he ingerido el radionúclido y se me ha acumulado dentro de una célula, al desintegrarse en su interior, prácticamente toda la energía se va a disipar allí y aunque su penetrabilidad es muy pequeña (si proviene del exterior puede quedar acumulada en la piel, pero sin atravesarla), al desintegrarse, decía, o bien mata la célula, y esto ocurre cuando hay buena suerte porque una vez la célula está muerta no pasa nada, o bien, por desgracia, si no la mata, en esta célula lo que hace es romper las cadenas de ácidos nucleicos; esta ruptura produce una mutación y esta mutación puede desencadenar a largo plazo un cáncer.

Pero hay también, no lo olvidemos, muchos otros efectos. Normalmente siempre se habla de que las radiaciones producen cáncer. Pero hay muchos otros efectos que no son los carcinógenos y que, en los últimos años, se les está dando más importancia en la literatura científica independiente por el siguiente motivo: estas radiaciones lo que hacen es producir lo que se llama un estrés oxidativo de la célula. Toda esta energía en realidad se disipa en el medio de la célula y, dentro de la célula, en el agua, y esta agua se ioniza, se transforma en agua oxigenada, o se transforma en peróxidos de hidrógeno, en una serie de moléculas llamadas “altamente reactivas”. Es decir, el agua normal que está dentro de una célula es inerte, pero si se ha transformado en lo que se llama un radical libre, un radical que la energía de la desintegración ha transformado, este radical va a originar un proceso oxidativo que altera o destruye las proteínas, destruye las

membranas, ocasiona un envejecimiento, disminuye la inmunidad, altera las funciones de las mitocondrias, modifica toda una serie de parámetros que hacen que el organismo sea mucho más vulnerable a otros efectos. De este modo, este organismo puede estar afectado por una serie de trastornos sea endocrinos, sea su poca resistencia a infecciones, sean alteraciones incluso neurológicas, etc.

***Esta es entonces la gran diferencia entre la radiación interna y la externa.***

En efecto. Ésta es la gran diferencia entre la radiación interna y la externa y ahí viene entonces la cuestión de la dosimetría y de la dosis acumulativa de las que hablábamos anteriormente. La dosis acumulativa se produce cuando lentamente, a lo largo del tiempo, vamos acumulando en nuestros huesos estroncio 90, cesio 137 en los músculos, o cuando el uranio 238, el mal llamado “uranio empobrecido”, por inhalación, se acumula en los pulmones en los ganglios linfáticos, en los huesos. Todo esto va acumulando la dosis de radiación.

Hay aquí una polémica a la que me referí de paso anteriormente. Aquí aparece lo que se llaman efectos estocásticos, esto es, efectos debidos al azar. Si la desintegración, una simple desintegración, altera un ácido nucleico ahí estaremos ante un efecto de todo o nada; si ha destruido el ácido nucleico va a originar una mutación y no va a depender de la dosis sino que va a depender del azar. La energía puede romper el ácido nucleico, y entonces ahí ya se ha producido un efecto, mientras que pueden ocurrir diez desintegraciones que no tocan el ácido nucleico. Es una cuestión probabilística. Este es el grave problema de la dosis alfa y beta de radiaciones: cualquier cantidad es muy peligrosa si consideramos que el resultante es probabilístico. Por tanto, el efecto resultante va a depender de una serie de variables: de la capacidad de la célula para reparar el daño, de las características específicas de aquella célula (no es lo mismo una célula epitelial que una célula del pulmón o que una célula del estómago). Hay, pues, toda un serie de factores, pero en parte está es la base de las fuertes discusiones que puede haber sobre si esta dosis es inocua o no .

***Pero entonces, según lo que señalas, no existen propiamente umbrales por debajo de los cuales el peligro es inexistente.***

Existe bastante consenso en que no hay un umbral de dosis por debajo del cual no pasa nada y por encima sí. Lo que pasa es que las reglas de las normativas reguladoras establecen unos umbrales; por debajo de ellos, se dice, no ocurre nada. Esto es muy difícil de aceptar: decir que “0,99 de radiación no produce efectos nocivos y 1,01 sí” es conceptualmente normativo pero en absoluto biológico; dependerá de la vulnerabilidad de los sujetos, de si son niños, de si son mayores, de si son adultos, de si es un feto, etc., hay toda una serie de aspectos de vulnerabilidad que no se pueden olvidar, pero, por otro lado, existe el grave problema de si, a diferencia de muchos otros compuestos de los que sí podemos afirmar que por debajo de una dosis no hay efectos nocivos, en las radiaciones y en algunos otros casos, existen estos efectos estocásticos con lo que resultaría que no hay un umbral cero, que no hay ninguna dosis que no tenga efectos.

*Pero teniendo en cuenta esto que acabas de comentar, y el tema de las patologías que no serían forzosamente cancerígenas, se puede entonces sostener lo siguiente: bueno, sí, hay un riesgo para la salud pero si nos fijamos en los países desarrollados, los lugares donde fundamentalmente se usa este tipo de energía, la esperanza de vida se han incrementado notablemente. A principios del siglo XX se vivía unos 40 o 50 años, pongamos, en cambio a finales, suele vivirse bastantes años más. Consiguientemente, aunque sea un peligro, como muchas otras situaciones, no hay por qué alarmarse. En definitiva, vivir con tecnología implica una serie de riesgos y éste es uno de ellos.*

Cierto, es un hecho que la expectativa de vida tiene una correlación enorme con las condiciones de vida y el grado de riqueza. Esto no es nada nuevo. En la época romana los senadores tenían probablemente una expectativa de vida de más de 80 años, lo que pasa es que, como sabemos, era una minoría muy, muy reducida de la población. Siempre los ricos han vivido más que los pobres, para decirlo en terminología llana.

Hay una correlación muy alta entre condiciones de vida, riqueza y esperanza de vida. La cuestión es distinta en este caso. Primero, dentro de condiciones de este tipo, no tiene por que ser admitido sin más éste, y cualquier otro tipo de contaminación, si se demuestra que hay riesgos para la salud o para el ambiente. Es posible que la esperanza de vida pudiera ser mayor si no existiese toda una serie de variables a las que estamos sometidos, sean las partículas microscópicas de la atmósfera emitidas por los automóviles, sean las chimeneas de combustión, sean los productos tóxicos que producen las incineradoras, sean las radiaciones que producen las centrales. Estos factores es evidente que están actuando. Por otra parte, no hay que centrarse exclusivamente en la esperanza de vida, sino en la calidad de vida y de salud. Toda una serie de patologías crónicas pueden estar influidas, favorecidas o determinadas, por los contaminantes ambientales.

Por otro lado, hay que tener en cuenta también la contaminación global. Es difícil pensar que esta contaminación va a quedar circunscrita sólo a los usuarios de este tipo de centrales. Las centrales que están en Francia no sólo contaminan Francia sino que están contaminando probablemente muchos otros lugares. Hay casos muy paradigmáticos, muy claros, de que la contaminación que se ha producido en un determinado lugar está afectando a territorios situados a millares de kilómetros.

***Antes dadas un ejemplo de ello. ¿Podías darnos otro?***

Sí. Hay un ejemplo a este respecto de los años setenta, de principios de los ochenta, de la época en la que Francia todavía hacía explosiones atómicas en la atmósfera. En un determinado momento apareció en la leche que se consumía en el Estado de Florida, de Estados Unidos. unos altos niveles de radiactividad, de iodo (bueno de iodo, de estroncio y de otros productos radiactivos), cuando no se habían producido explosiones en la atmósfera y no existían centrales nucleares en aquel entorno. ¿De dónde podía provenir entonces todo aquello? Téngase en

cuenta que Estados Unidos hay una red de radiovigilancia muy importante que, por cierto, no existe en muchos países europeos. La investigación llegó a la conclusión de que en varias granjas de Florida habían importado pienso forrajero de las islas del Pacífico Sur y que estas islas, y este pienso forrajero, habían quedado contaminados por las explosiones atmosféricas francesas. ¿Por qué había pienso forrajero en Florida? Porque los comerciantes de pienso compraron en el mercado el más barato, las plantas forrajeras más económicas, y en aquellos momentos, por varias razones, estaba de oferta el pienso de aquellas islas.

***Pero si este es el caso, si el principal riesgo proviene de las cadenas alimenticias, ¿no podría entonces practicarse una política de prevención muy rígida, muy extremada que impidiera de alguna manera que productos contaminantes afectasen a las poblaciones?***

En teoría podría existir, pero representaría un coste muy importante porque lo que entonces debería hacerse es el control radiactivo de lo que estamos consumiendo y esto implicaría un sistema de radiovigilancia y de analítica muy considerable que no existe prácticamente en ningún lugar. Existen redes de radiovigilancia ambiental en países como Estados Unidos, existen en Suecia. Cuando el accidente de Chernóbil fueron los suecos los que alertaron que estaba ocurriendo algo porque detectaron nubes radiactivas (entonces no existían en Europa Occidental más que dos o tres sistemas de vigilancia radiactiva). Es probable que Francia tuviera alguno, alguna otra de las potencias atómicas, Suecia y para de contar. Pero realmente es muy difícil pensar que se puedan hacer inversiones tan costosas para una cosa cuyo funcionamiento es, además, intermitente; o sea, las contaminaciones que puedan producirse son puntuales a menos que haya un caso de accidente.

Pero creo, en todo caso, que el tema que has puesto sobre la mesa es importante porque es evidente que hay una correlación entre expectativas de vida, calidad de vida y tecnología industrial. Pero esto, a pesar de todo, también es insostenible. Tenemos que pensar en los límites del crecimiento. El planeta no puede mantener el nivel de vida de Europa y de Estados Unidos durante mucho tiempo, con las tecnologías actuales, incluyendo la nuclear, porque entre otras consideraciones el uranio natural también es limitado y podría durar quizá unos 20 años más, multiplicando a escala las centrales que existen ahora y construyendo unas 1.000 más.

***Pero, entonces, perdona que te interrumpa de nuevo, Eduard, los defensores de este tipo de energía, que a pesar de este tipo de datos y reflexiones siguen siéndolo, suelen argumentar que las personas críticas a lo nuclear y a este tipo de desarrollo y crecimiento económico no tienen alternativa. Según su punto de vista, lo que proponen los críticos equivaldría a volver a una situación poco desarrollada, poco civilizada, a usar pocas tecnologías y además muy elementales, en definitiva parar la vida, detener el progreso, detener las mejoras. ¿Este sería el caso según tu punto de vista?***

Yo no lo veo así. Lo que sí creo es que falta un nuevo modelo de sociedad. Estamos pensando, estamos presuponiendo que el sistema actual, que

según mi criterio y según el criterio de muchos otros, es insostenible, implica un ilimitado crecimiento continuado. El sistema actual se basa, dicen, y no hay dudas razonables sobre ello, en el crecimiento, pero, al fin y al cabo, ¿qué quieren decir con esta afirmación? Yo creo que es un eufemismo para decir: o los grandes □y no tan grandes□ consorcios empresariales, la industria, los servicios, siguen incrementando sus ganancias, o, si no es el caso, el sistema no se mantiene.

Otra cosa es hacer productos que sean duraderos. La lógica económica actual, este sistema civilizatorio se basa en el recambio continuo de las manufacturas. Un ordenador se queda obsoleto a los dos o tres años, y eso siendo conservador. Todas las máquinas hay que renovarlas continuamente. La tecnología para hacer máquinas que duren más existe. Todos recordamos lo que duraban las neveras hace unos años; hay gente que ha tenido una nevera durante casi 30 años. Hoy una nevera dura, de promedio, 4 o 5 años, con dos compresores, con tal o cual supuesta innovación, con lo que quieras. La mayor parte de las tecnologías actuales, y las máquinas que producen, están diseñadas con una obsolescencia fija. Existen departamentos de obsolescencia en toda la industria para conseguir que el aparato que se adquiere no dure más que un tiempo determinado y, por ello, tengas que recambiarlo con cierta frecuencia. Esto, de entrada, ya indica un sistema de producción, un proceso de fabricación y distribución que habría que cambiar. Viviendo en las mismas condiciones, viviendo en la misma situación tecnológica en la que estamos hoy en día, sabemos que cualquiera de las cosas que usamos podría durar muchísimos años. Pero, claro, si tú eres el industrial que quiere fabricar ese producto, entonces suturarás el mercado en poco tiempo, no lo vas a poder renovar sino de forma lentísima, y esto, es evidente, es una cosa que al sistema capitalista, tal como lo conocemos, no le puede interesar en absoluto. Es inherente al propio sistema estar en crecimiento constante, lo que implica un consumo brutal de energía y, también, no lo olvidemos, de materiales, de materias primas. Tenemos cantidad de sistemas que están consumiendo, derrochando más bien, energía, sea el sistema de transporte, sean sistemas de consumo energético privado o de servicios, etc.

Yo no soy partidario de volver a un supuesto sistema bucólico y rural, como se preconiza en algunos ámbitos, a la Arcadia feliz, que nunca existió, porque esto generalmente ha sido un sistema de miseria y muy poco sano por lo demás. Aunque digamos a veces lo contrario, el campo de hoy no es el campo de hace 70 años donde teníamos tifus, cólera, carbunco, ántrax, donde había fiebres de malta,... todo esto ya ha desaparecido en muchos lugares, aunque no en todos, gracias a los avances sanitarios. Pero, fijémonos bien, ¿cuáles han sido los grandes avances sanitarios del siglo XX? Mucha gente piensa que han sido los medicamentos. Los fármacos han contribuido, sin duda; yo soy médico especializado en farmacología de formación. Pero las bases de la calidad de vida actual han sido los sistemas de saneamiento y de mejora de las condiciones higiénicas de las aguas, de los alimentos, de los hábitats, de la higiene, las vacunaciones de toda la población, etc; esto ha sido la clave para eliminar una cantidad enorme de enfermedades. La conservación de los alimentos, por

ejemplo, el refrigerador, ha sido uno de los elementos que ha contribuido más a la sanidad. Fijémonos ahora, por ejemplo, en uno de los problemas del Irak ocupado: se corta la corriente continuamente, los alimentos no se conservan, los ciudadanos nos lo pueden aprovechar, los alimentos se contaminan, crecen bacterias en pocas horas.

Los sistemas de acondicionamiento de alimentos, como decía, el saneamiento de ropa, es decir, sistemas muy de base que no representan grandes consumos energéticos comparados con lo que estamos consumiendo hoy en día, han contribuido a la sanidad enormemente. Esta renovación incesante de productos que tenemos, que estamos obligados a hacer, representa una enorme cantidad de energía. Y, evidentemente, estos aspectos no son más que algunos de los complejos factores -económicos, sociales- que están interactuando en nuestras sociedades de crecimiento continuado. Sin olvidar, además, que representan la meta, el santo grial deseado por las sociedades pobres, paupérrimas en muchos casos, del denominado tercer mundo.

***Y además están los residuos que generamos en esta loca aventura de consumo innecesario e irresponsable.***

Efectivamente. Fijémonos en las basuras que se están generando, en que tenemos que consumir las bebidas en latas de aluminio, en los miles de millones de toneladas que hay que eliminar, en las incineradoras que están procesando, mediante la combustión, esos residuos y gastando aún más energía y generando, por otra parte, contaminantes ambientales que afectan también a la salud pública. Esto es en esencia el sistema de producción actual. Tal como están las cosas, lo único que se nos puede plantear es la fecha de su colapso ¿Cuándo ocurrirá el colapso de esta forma de producir, de distribuir y consumir?

***Cuando apelas a esta forma de producir parece señalar al sistema capitalista pero si recordamos un poco a la historia reciente de Europa, y perdona que haga de abogado del diablo, en lo que se llamó Europa socialista o Europa del Este, el uso de la tecnología nuclear fue también importante y, si no recuerdo mal, hubo sectores de los partidos comunistas occidentales, como mínimo durante cierta época, partidarios de este tipo de energía. Parece, se podría decir, que no es una cuestión de sistema, de forma de producción sino que en países que intentaron otro tipo de vida, otro tipo de civilización, este tipo de energía estaba también muy presente.***

Esto es cierto, lo que pasa que al hablar de sistema no estamos hablando de los antiguos sistemas convencionales que eran el sistema capitalista y el sistema comunista. Al fin y al cabo, los sistemas del Este fueron, sobre todo, sistemas desarrollistas, lo que, sin duda, tenía su lógica, tenía su explicación. Pensemos de donde se partía. Lo que fue la URSS, la Rusia actual, partía de unos niveles mínimos y en 20 años hicieron un desarrollo inmenso, que es lo que está haciendo la China actual y en China, claro está, están apareciendo todas las enfermedades y todos los problemas originados por el desarrollo industrial descontrolado. Hay una serie de enfermedades que habían desaparecido de Europa y que han aparecido allí.

Recordemos que las categorías de límites del crecimiento y de conservación ambiental son conceptos que no aparecen hasta bien entrados los años sesenta, cuando la Unión Soviética como modelo, y los países industriales de Europa del Este (Polonia, la antigua Checoslovaquia) habían adoptado un modelo industrial propio de los años treinta y cuarenta, concepción que venía a decir que todo crecimiento en sí era bueno y que el control ambiental era un asunto que no tenía ningún sentido. Yo recuerdo haber visto en el sur de Polonia y en Chequia unas contaminaciones espantosas y si comentabas algo te decían, con la terminología de la época, que eras un pequeñoburgués. Pero, realmente, estaban presos en un modelo desarrollista donde, además, dado el sistema de confrontación que había, era una forma de actuar que, desde el punto de vista del control, de la vigilancia ambiental, eran sistemas más baratos pues los controles eran escasos o inexistentes.

Al fin y al cabo, no olvidemos nunca que toda la industria nuclear, que es el tema que nos concierne hoy principalmente, ha surgido en las potencias que hicieron la bomba nuclear. No olvidemos que el reactor que se utiliza en las centrales nucleares fue diseñado por el almirante Rickover para crear el submarino atómico, para reciclar lo que se había construido con una finalidad armamentística. Se hace el arma, la bomba, y a nadie se le había ocurrido que el reactor atómico pudiera servir para otra cosa que para obtener plutonio y fabricar las armas. A Hyman Rickover, que era un genio de la ingeniería, se le ocurrió que aquel reactor podía, además, producir energía que para un submarino es lo más esencial. El submarino convencional funcionaba, funciona, con baterías, con motores eléctricos en inmersión que tienen que recargar las baterías saliendo a la superficie. Pues bien, a este almirante se le ocurrió que si aquel reactor estaba produciendo calor, podía meterlo en un submarino como motor para generar electricidad. Incidentalmente podemos recordar que el almirante Rickover fue al final de su carrera un contundente defensor de la eliminación de la energía nuclear para cualquier uso. Su posición se fundamentaba sobre todo en que esta energía creaba radiación.

***Entonces, ¿este uso militar es el origen de las centrales nucleares?***

Sí, efectivamente. Este es realmente el origen del reactor, que luego se recicló para venderlo, con la consigna de los átomos para la paz, como reactor nuclear de producción eléctrica.

Los soviéticos hicieron lo mismo. Obtuvieron el reactor para conseguir la bomba atómica, tenían allí un instrumento que les podría producir energía y, con los conceptos vigentes en la época, se lanzaron también a este desarrollo. Luego siguieron los británicos y los franceses...

Hoy en día esta mentalidad impregna todavía la cuestión de la industria nuclear independientemente del sistema o del país. Incluso Ucrania está volviendo a hablar de relanzar la energía nuclear porque tiene grandes reservas de uranio.

Yo todo esto no lo plantearía con conceptos de otra época. Es evidente que cuando hablo, cuando hablamos del sistema capitalista, estoy pensando en este sistema de recambio y crecimiento continuo que requiere un consumo

energético enorme. La contraposición a esto, independientemente de que algunos podamos pensar o apostar por el ecosocialismo, es pensar en un sistema de producción que reconozca que hay unos límites en el crecimiento y que esto, hasta cierto punto, es ya independiente del sistema económico y de las relaciones de producción. Esta forma de producir y consumir no puede dar más de sí, este sistema despilfarrador de recursos está agotado en una planeta en el que estamos viviendo ya, si no me equivoco, 7.000 millones de personas, si ya no hemos sobrepasado esa cifra.

Esto es insostenible. En ciencia es un muy frecuente que las leyes de la naturaleza estén representadas por un gráfico curvilíneo-le llamamos la isoterma de Langmuir-, que crece exponencialmente al principio, que crece rápidamente, pero después, a partir de cierto punto, empieza a inclinarse, a inflexionarse, y entonces se satura en muy poco tiempo, y ahí se para el crecimiento. No hay ningún crecimiento exponencial o de otro tipo que pueda sostenerse. Aquí también nos encontramos ante esta alternativa.

Es evidente que se puede discutir interminablemente sobre este modelo o sobre otro, pero desde un punto de vista empírico hay que pensar que si existe una producción como la que hay hoy en día y unos recursos como los realmente existentes, entonces estos no se pueden mantener indefinidamente. Después, si quieres, estoy de acuerdo, empiezan todas las otras consideraciones que no hay que olvidar: si este sistema de producción, de recambios continuos, no se mantiene, se crean los problemas de falta de trabajo, de la falta de ganancias empresariales. Estas son las cosas que, acaso, tendrían que plantearse los pensadores y los sociólogos, yo no lo soy: qué futuro debemos plantearnos, a qué sistema debemos aspirar. Lo que es seguro es que, tal como vamos haciendo las cosas, en algún momento se producirá un colapso.

***Déjame hacerte las últimas preguntas Eduard. La primera tiene que ver con el uso militar. Dejando aparte el tema de la experimentación militar, al que tú ya has hecho referencia, la energía atómica en su aspecto militar más directo se ha usado en dos ocasiones, en Hiroshima y en Nagasaki. Para la salud de las poblaciones de estas dos ciudades japonesas, ¿qué efectos causaron las bombas, qué efectos sigue causando?***

Dejando aparte los efectos inmediatos de las explosiones que causaron decenas de millares de muertos y otros tantos heridos por la onda térmica y mecánica, los efectos de la radiación que se produjo están bastante bien estudiados. Casi todos los criterios que hay hoy en día de dosimetría, radiobiología y en efectos sobre salud provienen de los estudios de las poblaciones afectadas por las explosiones de Hiroshima y Nagasaki. Lo sucedido se siguió durante bastante tiempo, prácticamente hasta hace poco, incluso tal vez debe seguirse todavía.

Han existido muchas polémicas porque el mayor problema que han tenido los investigadores que han estudiado estos efectos es que no se conocía exactamente la potencia de estas bombas. Se sigue discutiendo si la potencia era de 10, de 20 kilotones, si emitían más neutrones, si emitían menos. Además, no lo olvidemos, las dos bombas eran distintas, por eso se hicieron dos. La de

Hiroshima era de uranio enriquecido, de uranio 235, mientras que la de Nagasaki era una bomba de plutonio, con lo que el tipo de explosión fue distinto.

Lo que se ha visto con toda claridad es que en esta cohorte de gente se han producido una serie de afecciones que luego han sido la base de todos los estudios experimentales y de dosimetría. Por otra parte, como es lógico, el conocimiento de los años cuarenta y cincuenta no es el de los años ochenta. En los años ochenta se vieron cosas que no se pudieron estudiar antes porque no se tenía el concepto ni el conocimiento científico adecuado. Por ejemplo, lo que antes he comentado de las rupturas cromosómicas. Los métodos de dosimetría cromosómica son metodologías de los años setenta y ochenta y, cuando se aplicaron a los supervivientes de Hiroshima y Nagasaki, se reformularon los criterios para ver si se habían subvalorado o sobrevalorado en algunos casos los efectos de las dosis que había recibido la población. El grave problema científico era saber qué dosis había recibido cada grupo de personas y relacionarlo con los efectos. Está claro que ha habido una incidencia enorme de leucemias y muchos otros tipos de cánceres que han acortado la vida, de problemas patológicos importantes como los que he citado, de problemas inmunológicos, de problemas cutáneos, genéticos, neurológicos,...

***¿Y puede afirmarse entonces que ahora, al cabo de 60 años., ya no hay apenas efectos de esas explosiones?***

Sigue habiendo algunos supervivientes ancianos en condiciones de vida precarias por las afecciones derivadas de la radiación recibida. Pero claro ¡han pasado ya 60 años! Lo que realmente tendríamos que conocer es cual es la radiactividad de fondo que existe hoy en día en Hiroshima y Nagasaki. Es evidente que los japoneses han realizado un trabajo muy minucioso de limpieza de tierras contaminadas. Hay estudios recientes como comentaba. Hubo muchos estudios durante muchos años para ver los efectos sobre el mismo ejército de Estados Unidos, estudios clasificados y que hasta los años setenta, a partir de los 30 años de los lanzamientos, cuando se suelen liberar los informes, no se empezaron a publicar. Otros no han salido aún, pero recientemente no se han hecho más estudios. Sería interesante saber si existe radiactividad residual y si ha afectado, si sigue afectando, a estas poblaciones.

***Sobre un tema que ha aparecido a lo largo de nuestra conversación, el accidente de Chernóbil, del que ahora se cumplen 20 años, ha habido recientemente una polémica de interés en torno a los efectos reales de ese accidente, cuya potencia radiactiva sería entre 50 y 100 veces la potencia de la bomba arrojada en Hiroshima. Desde fuentes más o menos oficiales se habla de un número reducido (aunque importante) de fallecidos, mientras que desde fuentes independientes, críticas, se dice que eso es una barbaridad, un engaño, y que los fallecidos y afectados son muchísimos más; se habla de más de 2 millones de ucranianos, unos 700.000 de los cuales eran niños. Viktor Bryukhanov, el director de la central en aquel momento, ha acusado a las autoridades políticas de proteger ante todo la industria militar con mentiras, al igual que algunos sectores de las comunidades científicas. Tampoco quedan al***

***margen de sus críticas países y gobiernos como EEUU, Japón, Francia y Reino Unido que, según él, ocultan las causas reales de los accidentes nucleares. Podrías explicarnos algo de esta polémica y cómo es que desde posiciones oficiales u oficiosas no se reconoce lo que realmente pasó y los efectos que ocasionó.***

Es un tema que nos llevaría muy lejos, que exigiría un tratamiento largo y tendido desarrollarlo mínimamente.

Se ha creado, efectivamente, una importante polémica y no es casualidad que aparezca ahora. El origen de todo es un informe que salió a la luz en septiembre u octubre del año pasado, que ahora se ha publicitado mucho y que aparece como un informe de la OMS (Organización Mundial de la Salud) en el que se dice *la verdad sobre Chernóbil* y se da la versión definitiva de los efectos; o sea, todo es muy publicitario. Es muy espectacular como han publicitado el resumen de prensa. Está escrito en inglés: “Chernobyl: the true scale of the accident; 20 Years Later a UN Report Provides Definitive Answers and the Ways to Repair Lives” ¡La verdad definitiva sobre Chernóbil!. El informe tal como está presentado es un texto de más de 600 páginas y tres volúmenes; el informe que se ha publicitado y que ha impactado a la prensa es un resumen de 6 o 7 páginas, al que realmente, desde un punto de vista científico, no se le puede dar ningún valor. Afirma que han fallecido unas 4.000 personas a lo largo de 20 años, que no van a haber más muertos, que la gente se puede reinstalar en esos lugares. Prácticamente es una apología para volver al uso de la energía nuclear. Esto es en resumen lo que viene a decir el informe que ha causado una grave sorpresa y una gran controversia.

Este informe se ha publicado y publicitado por la OMS y tiene que ver con lo que he comentado ya antes. En realidad, este informe se ha elaborado por la Agencia Internacional de la Energía Atómica (AIEA) de Viena. Existe, desde 1959, un convenio en el que la OMS para cualquier cosa relativa a los aspectos nucleares remite y se pone de acuerdo con esa agencia atómica. Esta Agencia se fundó, cuando aquello de los átomos para la paz, por la Organización de las Naciones Unidas, para promocionar el uso de la energía nuclear, por un lado, y por otro para vigilar, cuando se firmó, el TNE (Tratado de No Proliferación de Armas Nucleares), de ahí su intervención actual en el caso de Irán. Si uno entra en la web de esta Agencia de energía atómica, verá que todo es una defensa del uso de la energía nuclear y ahora están con un foro, que ya existe desde hace años, para promocionarla como solución a Kyoto, como energía limpia, como energía moderna. Allí se dan todas las presiones políticas que te puedas imaginar. El informe al que nos estábamos refiriendo, aunque se ha publicitado como un informe de la OMS, cuando se mira con detalle se ve que los créditos son los de la AIEA, el gobierno de la Federación Rusa, el gobierno de Bielorrusia, el gobierno de Ucrania, el Banco Mundial, el Foro Atómico. A la OMS la han incluido también pero, más bien, como adorno, para no levantar sospechas, para ganar credibilidad.

***¿Y cuál es tu opinión, desde un punto de vista científico, metodológico, de este informe? ¿Te parece un buen informe?***

El informe una vez se analiza, y téngase en cuenta que es muy prolijo y que realmente es muy técnico, ha sido realizado sobre áreas muy pequeñas de Ucrania, de Rusia y de Rusia Blanca (Bielorrusia o Belarus), sobre áreas contaminadas claro está, pero que no representan todas las áreas afectadas, no representan en absoluto las áreas de esos países ni del resto de Europa que quedaron afectadas. Antes he comentado que hay en Chequia trabajos científicos publicados sobre la tasa muy alta de cánceres de tiroides que apareció a lo largo de 4 o 5 años después del accidente y sobre otro tipo de fenómenos que se produjeron, y eso con los pocos datos que hay sobre estas áreas de fuera de la antigua Unión Soviética. Pero dentro de las tres repúblicas mencionadas de lo que fue la URSS, el estudio se restringe sólo a determinadas áreas seleccionadas con criterios un tanto oscuros. Otra cosa altamente discutible es la metodología que han empleado. Leyéndolo ves que incluso hay una gran incertidumbre sobre el tipo de metodología seguida.

Al mismo tiempo ha aparecido, también muy recientemente, un informe de la Academia de Ciencias de la Federación rusa, que han publicado en forma de libro, que es altamente crítico también con aquel informe y que calcula en más de 200.000 las personas afectadas a lo largo de estos 20 años. En el estudio de la OMS no cuentan los famosos liquidadores, que fueron aquellas personas, millares de personas, que intervinieron allí para construir el famoso sarcófago de Chernóbil, con el que cubrieron el reactor destrozado. Ahí el informe de la AIEA/OMS considera que hubo 15 muertos; los mismos datos rusos los aumentan a centenares, de 800 a 1.000 personas murieron por efecto de la radiación aguda.

Nos encontramos, pues, que este mismo informe de la Academia de Ciencias de la Federación Rusa establece cifras diez veces superiores. Hay otros informes científicos que también establecen datos muy distintos.

### ***¿Y tú que cifras crees más correctas?***

Desde un punto de vista estrictamente científico, yo no puedo dar una cifra. Los datos que tenemos indican que hubieron, que hay afecciones, pero no hay ningún estudio global de todas las zonas contaminadas de Europa que indique cuantas afecciones ha habido realmente. Existen informes parciales, como éste que explicaba de Chequia; existe el informe de la Academia de Ciencias de Ucrania, en todos ellos los datos dan cifras muchísimo más altas que las que cita este informe de la AIEA. Existen, además, datos que no han sido publicados; pensemos en que durante muchos años, en lo que fue la extinta Unión Soviética todos estos informes fueron reservados.

Tampoco Francia ha publicado nunca datos de la contaminación producida por Chernóbil. Recuerdo lo que pasaba cuando cruzabas el Rin en aquella época. En Alemania y Suiza, al cabo de los años, siguen manteniendo reservas y controles sobre cierto tipo de setas, sobre ciertos productos silvestres, porque el estroncio 90 y el cesio 137 están allí, sigue allí, pero si se cruza el Rin en dirección a Francia, los bosques siguen siendo los mismos, los territorios son los mismos, pero parece que existiera una frontera que hubiera parado la radiación.

En Francia todas las cuestiones radiactivas son reservadas. Hoy en día hay datos de Inglaterra sobre zonas contaminadas, hay datos que muestran, lo que es muy paradójico, que no hay unos criterios uniformes de análisis. En el mismo momento, en Bielorrusia, para la leche, se aceptan unos límites; en cambio, en Rusia se aceptan otros y en Ucrania otros distintos, pero estos límites no están próximos, varían desde los 20 hasta los 200 becquerelios por litro en estas tres repúblicas. No hay siquiera unos criterios de protección homogéneos y sigue habiendo radiactividad en muchos productos de estas zonas. Lo que pasa es que se han considerado seguros y entonces, se dice, ahí no pasa nada.

***¿Qué debería haberse hecho entonces en tu opinión?***

Lo que debería haberse hecho, y que ya he comentado antes, es haber establecido un sistema paneuropeo de radiovigilancia y de estudio de los efectos. Pero no existe tal sistema. Entonces, frente a un informe como el que comentamos, yo que no acostumbro a ser tan tajante, en este caso considero que no tiene valor científico alguno el informe de la Agencia Internacional de Energía Atómica. Hay otros informes de la OMS, en los que al parecer no ha intervenido la Agencia, que son muy distintos, aunque son muy técnicos, y, sobre todo, cuando se remite uno a lo único que tiene valor aunque siempre es bueno tener ciertas reservas: en el análisis científico, en principio, lo único válido es lo publicado en revistas científicas con comités de revisión por pares. Esos datos nos indican que el informe de la Agencia Internacional no se sostiene en absoluto.

¿Cuáles son entonces los datos reales? Pues tampoco lo podemos saber. Unos hablan de 200.000 personas, otros de 50.000. Nadie puede decirlo con seguridad, lo que pasa es que las cifras de nivel tan bajo no son aceptables cuando hay datos ya de aquella época en que la misma gente que estuvo trabajando allí señalaba que hubo una mortandad importante y existen, además, otros datos publicados que informan que en zonas concretas ya tuvieron entonces niveles altos de mortandad.

Tampoco podemos hacer caso de las ocasiones en las que lo que hay a veces, básicamente, es mucho reportaje periodístico. Con todos mis respetos hacia el buen periodismo, hay informes de este tipo que son poco rigurosos. No sé, por ejemplo, he hablado con una campesina y que me ha dicho que los terneros le nacen con dos cabezas o que hay montones de niños con malformaciones. Esto no tiene valor científico. Para obtener buenos resultados, hay que aplicar una metodología estricta. Los instrumentos, para poder analizar lo que ha ocurrido, son conocidos, los tenemos. En los casos concretos en que se ha hecho, en el cáncer de tiroides por ejemplo, es innegable que hay un impacto muy importante.

***Permíteme ahora hacerte una pregunta casi periodística. Desde el punto de vista de una persona como tú, informada y preocupada por la salud pública, ¿crees que se puede afirmar con fundamento que el uso civil de la energía nuclear -dejemos aparte el uso militar- es peligroso para la salud humana por las razones que se han expuesto y que, por consiguiente, lo***

***razonable sería intentar apostar de forma más o menos urgente por otro tipo de energías más respetuosas con la Naturaleza, menos peligrosas para el ser humano? ¿Crees que esto es una buena opción, qué es posible, que no es ninguna ensoñación, que no es confundir deseos con realidad?***

Sí, desde luego, sin lugar a dudas. Y como resumen final valdría la pena decir lo siguiente: se está creando una masa ingente, miles de toneladas de residuos radiactivos, que están ahí, y que pueden diseminarse por la biosfera por más controlados que se quieran tener; se está asumiendo un riesgo de accidentes, que ya han ocurrido y que pueden volver a ocurrir, y se está optando además por una vía energética que no parece adecuada para un sistema de calidad de vida como el que aspiramos en toda sociedad avanzada y que, además, deseamos no sólo para nosotros sino para toda la humanidad.

***Perdona Eduard que añada otra pregunta. Entonces, la argumentación de la Administración Bush que defiende que hay que apostar por la energía nuclear porque es una energía que no calienta el planeta, que es limpia, incluso alternativa, sería una falacia indiscutible e impresentable a un tiempo.***

Sería una de las tantas falacias de la Administración Bush. Simplemente, para ponerte un ejemplo: tanto la Administración Bush, como el Senado de Estados Unidos, y tanto senadores republicanos como senadores demócratas, lo que están utilizando más es la argumentación de que lo que dicen los científicos respecto del cambio climático es falso y que no hay que preocuparse por el calentamiento global, que realmente no existe. Pues bien, si existe algo, una de las pocas cosas en las que hay consenso en el mundo científico actualmente es que hay un calentamiento global del planeta, de nuestro planeta. Ha aumentado el nivel de CO<sub>2</sub>, existen los problemas conocidos del agujero en la capa de ozono. Esto último, por ejemplo, se discutía mucho, y era muy controvertido en los años ochenta, en los noventa, entonces había científicos que decían que sí y otro que decían que no, pero desde hace ya bastantes pero que bastantes años no hay ninguna revista científica seria, sea *Nature*, sea *Science*, las de más renombre general, que puedan negar el calentamiento global. Pero resulta que en algunas instituciones políticas de los Estados Unidos se está diciendo que esto es un mito de los científicos o incluso se ha llegado a decir públicamente, como en el caso de Crighton, el novelista asesor del presidente Bush, que es un mito que forma parte de una conspiración para atacar a Estados Unidos. Realmente es un absurdo, pero se ha dicho.

Esto no quita que en los mismos Estados Unidos haya muchas discusiones y comentarios entre la comunidad científica sobre lo que está haciendo la Administración Bush al retirarse de la firma del protocolo de Kyoto, por ejemplo. No olvidemos que, al fin y al cabo, la Administración Bush se ha retirado de todo convenio internacional: del de Kyoto, de la convención de Ginebra sobre prohibición del uso de armas químicas, no ha aceptado el Tribunal Penal Internacional. El gobierno republicano de Bush se ha considerado omnipotente y se ha retirado de todo control y de todo convenio civilizado. En el caso de Kyoto, como decía, está adoptando una postura de gobierno en la que niega la existencia

de un calentamiento global que hoy por hoy nadie discute en el seno de las comunidades científicas..

También existen, desde luego, otras posiciones. Los Estados Unidos son suficientemente grandes para que haya de todo, hay una enorme crítica a esto pero también hay un sector industrial que acepta el calentamiento global y que están desarrollando tecnologías para cuando se produzca un calentamiento patente y haya que actuar urgentemente. En definitiva, para estos sectores el calentamiento global es una oportunidad de hacer negocio y como tal aceptan que el calentamiento actual, por ejemplo, sube el nivel del mar pero con la perspectiva de hacer negocio con ello. Esta es otra postura.

***Luego por tanto, y esta sí que es mi última pregunta, el movimiento antinuclear que existió con mucha fuerza en España, en Europa, en Estados Unidos, y en otros lugares del mundo, a finales de los setenta y en los años ochenta, y que fue capaz de dar batallas no todas perdidas, ¿crees tú que a pesar de que el adversario es muy potente, a pesar de que en algunos lugares como Finlandia se está apostando por la creación de nuevas centrales nucleares con importante apoyo ciudadano, crees, decía, que debería renovarse, renacer, crees que el movimiento antinuclear debería incidir con buenas y renovadas razones en y con la ciudadanía?***

Sin lugar a dudas. Estamos además en una situación que quizás no existía hace 25 años o 30 años cuando empezó el movimiento antinuclear aquí: el nivel de conocimiento e información de la población es mucho mayor. Yo recuerdo que en los años setenta iba a lugares donde se iba a instalar una central nuclear a explicar estas cuestiones y tenías que hacer entonces un gran esfuerzo de divulgación, era muy difícil de comprender lo que estábamos intentando explicar. Hoy en día, para decirlo con una terminología algo antigua pero justa, aunque quizá ahora no suene muy bien, la gente está más ilustrada y casi todo el mundo tiene más formación. Estamos ante otra generación en la que hay mucha gente capacitada para poder llegar a entender bien estas cosas.

El movimiento antinuclear –que, además, debería ser algo más que antinuclear ya que tendría que apuntar hacia formas de sociedad distintas- tiene que incidir socialmente y puede volver a contar. De hecho, ya lo está haciendo. La plataforma antinuclear que se ha creado de nuevo en Catalunya, en el resto de España, en Europa, es una prueba de ello, se está moviendo, nos estamos moviendo otra vez.

Lo que hay que señalar es que, aunque esto es quizá un problema más bien sociológico, en buena medida es “la vieja guardia” la que está impulsando todo esto de nuevo. La gente joven, aunque ya esté participando, tiene que introducirse, tiene que implicarse mucho más en este movimiento. Los sectores jóvenes tienen que pensar las cosas no nos han sido regaladas, tienen que informarse bien y conocer cómo se obtuvieron algunas cosas. Si en su momento se llegó a parar la industria nuclear, y la paramos, fue por toda una serie de movilizaciones en Europa y en Estados Unidos, por los movimientos que entonces surgieron. Hoy en día resurge el interés por el tema, aunque sea un

asunto a corto plazo, porque los economistas hablan de una duración de apenas 20 años si se vuelve a revitalizar la industria nuclear.

Pero, insisto, los jóvenes, en primer lugar, y todos tenemos que saber qué se está jugando, que no es poco, en el momento actual.