

centrales nucleares: vigilancia de la radiactividad del medio ambiente

El presente artículo es obra del Profesor Pierre Pellerin, de la Facultad de Medicina de París, Director del Servicio Central de Protección contra las Radiaciones Ionizantes, del Instituto Nacional de Sanidad e Investigaciones Médicas, Ministerio de Sanidad Pública y Seguridad Social de Francia; y Director del Centro Internacional de Referencia de la Organización Mundial de la Salud para la Radiactividad del Medio Ambiente.

Pronto hará veinte años que comenzó a funcionar la primera central eléctrica nuclear.

En 1970, más de cincuenta centrales repartidas por todo el mundo representaban una potencia eléctrica total de 22 000 MW, y las estimaciones actuales prevén 4 000 GW para el año 2000.

Es decir, la industria nucleoelectrónica no se encuentra ya en período experimental, como parece creer a veces un público poco informado. Ha alcanzado la mayoría de edad, tras algunas adaptaciones a las que no escapa en su juventud ninguna técnica nueva y, en los últimos cinco años, ha pasado a ser uno de los recursos energéticos con que deben contar los países desarrollados, siendo de esperar, dada la importancia creciente que cobrará en el futuro, que llegará a sustituir a la mayor parte de esos recursos.

Así, gracias únicamente a su electricidad nuclear, un gran país europeo, recientemente paralizado por una huelga en las minas de carbón, ha podido mantener, durante casi dos semanas, una reserva vital de energía y, en particular, hacer que continuaran funcionando sus hospitales. ¿Puede imaginarse consagración más espectacular?

Paralelamente el perfeccionamiento de los propios reactores ha habido una evolución considerable, aunque todavía poco conocida del gran público, en toda una serie de esferas indisolublemente ligadas al desarrollo de la electricidad nuclear.

Por ejemplo, con la experiencia adquirida en los últimos decenios, y tras algunos tanteos inevitables, han ido precisándose los principios jurídicos fundamentales de la responsabilidad en la explotación de las centrales, las normas prácticas de protección radiológica, las reglas apli-

cables a los estudios previos de los emplazamientos y a la interpretación correcta de los resultados de la vigilancia, así como las modalidades de organización eficaz de los servicios de control.

Simultáneamente se ha perfeccionado la tecnología de los aparatos de medición de actividades bajas, la de los radioanálisis de precisión, y la de depuración de efluentes y tratamiento de los desechos radiactivos. Estas técnicas son hoy enteramente distintas de lo que eran hace diez años.

Por tanto, para comprender bien la organización actual del control del medio ambiente en torno a las centrales nucleares es indispensable un conocimiento exacto de los diversos elementos de esta importante evolución y de las etapas ya alcanzadas.

Principios fundamentales de una vigilancia racional

Conviene, primeramente, recordar los principios en que se fundan las normas de seguridad. Después, será oportuno definir claramente las responsabilidades: las de las autoridades de sanidad pública y las de los explotadores de centrales nucleares.

A: Normas de seguridad — Han sido fijadas por la Comisión Internacional de Protección Radiológica (CIPR) para evitar todo efecto biológico nocivo de las irradiaciones o de la contaminación radiactiva, bien sea para el individuo (efectos somáticos) o para sus descendientes (efectos genéticos). A tal objeto la CIPR ha establecido límites de seguridad, que han hecho suyos numerosas recomendaciones internacionales o reglamentos nacionales, en forma de «equivalentes de dosis máximas admisibles». A partir de estos límites, teniendo en cuenta los consumos cotidianos medios del «hombre estándar», la CIPR ha calculado, en especial, las «concentraciones máximas admisibles» en el aire y en el agua para los diversos radioelementos en función de sus respectivas radiotoxicidades. Estas concentraciones máximas admisibles se han calculado en primer lugar para los trabajadores expuestos a las radiaciones. Para la población en general, la CIPR recomienda aplicar a las concentraciones máximas admisibles previstas para los trabajadores (CMAT) un coeficiente suplementario de seguridad de 1/10 (CMAP), teniendo en cuenta el hecho de que, en virtud de los reglamentos, los trabajadores expuestos son objeto de una vigilancia mucho más estricta que la concebible para toda una población.

Hay que subrayar el carácter excepcional del trabajo efectuado por la CIPR desde hace más de 25 años. Ningún otro factor nocivo ha sido jamás objeto de investigaciones tan a fondo, ni de confrontaciones tan numerosas entre investigadores, higienistas y juristas de todos los países y de todas las doctrinas. Este esfuerzo se explica por el hecho de que se trata de un nuevo riesgo, aparecido recientemente en un mundo ya muy avanzado en el plano tecnológico. Así, los investigadores y los higienistas han tenido a su alcance medios de los que antes jamás se dispuso para luchar contra las contaminaciones tradicionales, con frecuencia más importantes y peligrosas pero, por desgracia, desde hace mucho profundamente arraigadas en el medio ambiente . . . , en los hábitos y en la tolerancia.

Las normas de la CIPR son sumamente severas, indudablemente las más estrictas, para peligros comparables, de todas las normas de seguridad relativas a otros agentes nocivos. Ciertamente, si estos últimos hubieran sido desde un principio objeto de disposiciones equivalentes a las que hoy se adoptan para las radiaciones y la contaminación radiactiva nadie hablaría hoy de los problemas planteados por la contaminación del ambiente.

Por supuesto, las normas de la CIPR, en la práctica, deben ser interpretadas y adaptadas a cada tipo de central nuclear en su medio ambiente particular. Como veremos más tarde, se trata de un trabajo cuya responsabilidad incumbe a los servicios competentes de sanidad pública de cada país.

Pero, más allá de las particularidades de cada reglamento y de una cierta libertad en cuanto a los medios de aplicación, subsisten siempre los principios fundamentales de un control

práctico y eficaz, hoy ya bien conocidos, bien definidos y comunes a todos los países interesados, principalmente gracias a la acción de las organizaciones internacionales.

B: Responsabilidades de las autoridades de sanidad pública — La finalidad de toda medida de higiene pública es proteger la salud de los individuos. Es decir, corresponde a los servicios médicos especiales de sanidad pública, y en primer lugar a los médicos radiobiólogos, determinar las condiciones a que debe someterse la industria nuclear para que se respeten las normas y no sufra detrimento la salud humana.

No obstante, como la irradiación y la contaminación radiactiva pueden causar tal detrimento por conductos más o menos complejos del ambiente en que el hombre vive (posible difusión en la atmósfera, en el agua, en los suelos, en la cadena alimentaria), los médicos de los servicios de sanidad pública, para tomar sus decisiones, tendrán que hacerse asesorar por especialistas en diversas disciplinas: ecología, geología, meteorología, tecnología nuclear, por no citar más que las más importantes. Es decir, la protección del medio ambiente, tanto aquí como en otras esferas, es condición previa para la protección del ser humano.

Pero en ningún momento habrá que perder de vista el principio fundamental de que la responsabilidad última es de índole médica. Es esta una idea capital, tanto si se trata de proteger la salud de la población como la de los trabajadores de la industria nuclear, en cuya necesidad insisten particularmente la CIPR, la Organización Mundial de la Salud, el Organismo Internacional de Energía Atómica, el Comité Científico de las Naciones Unidas y, en consonancia con ellos, los diversos países que poseen una industria nuclear avanzada.

Por esta razón las autoridades de sanidad pública son las que en todos los países desempeñan el papel principal en lo que se refiere a la vigilancia de las centrales nucleares.

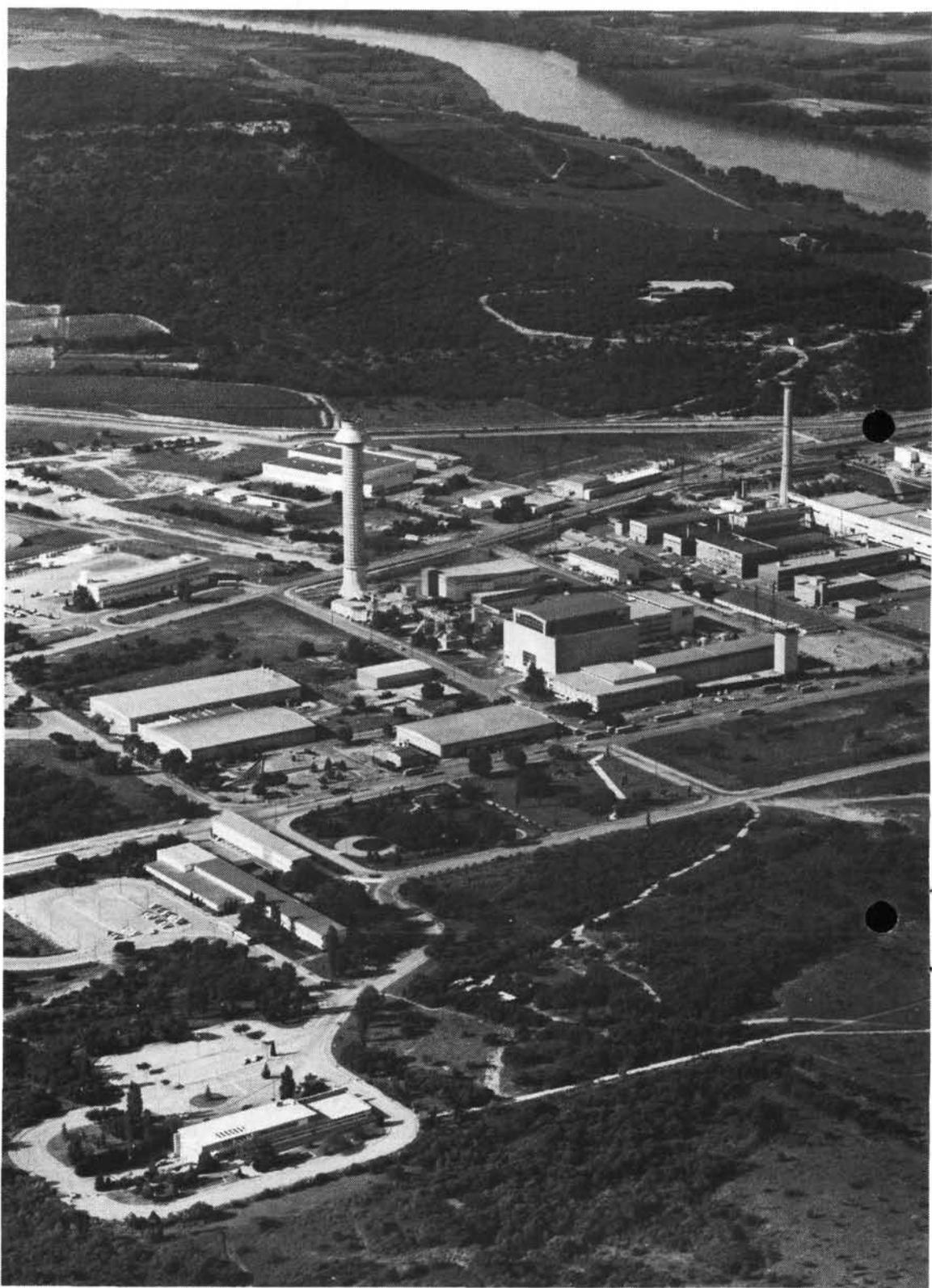
C: Responsabilidades de los explotadores de centrales nucleares — La responsabilidad del explotador de una central nuclear es la misma que la de cualquier ciudadano, en base al principio jurídico universal de que nadie, voluntariamente o no, debe causar, por sus actividades, daños a la salud o al patrimonio de otra persona. La instalación de una central nucleoelectrónica en un lugar determinado introduce un elemento nuevo en un equilibrio ya establecido. Sólo es, pues, admisible si no perturba dicho equilibrio, especialmente en lo que se refiere a la salud del hombre y a la integridad del medio en que vive.

Por supuesto, los aspectos que se consideran negativos — y veremos que, en general, son muy reducidos — no son los únicos que se han de tomar en consideración en este nuevo equilibrio. Hay que tener también en cuenta las ventajas de todas clases que la instalación aportará en el plano económico, la elevación de los niveles de vida y sanitario, la supresión de contaminaciones mucho más peligrosas derivadas de las centrales térmicas tradicionales, la desaparición de los dramáticos problemas ocasionados por el desplazamiento de poblaciones que a veces requiere la construcción de presas hidroeléctricas, etc. ... Pero son estos problemas que incumben más bien a las autoridades gubernamentales, que deberán tomar la decisión de construcción con pleno conocimiento de los diversos elementos.

En cuanto al explotador, al que corresponde generalmente la iniciativa del proyecto, debe presentar a las autoridades de control un estudio previo de las consecuencias del funcionamiento de la central, en particular de los desechos que descargará en el medio ambiente, y probar que ni la fauna ni la flora ni la salud de todas las poblaciones que viven en las proximidades sufrirán el menor daño.

Las autoridades de sanidad pública procederán a una crítica a fondo de este estudio y, si fuera oportuno, efectuarán ciertas comprobaciones. Cuando sea necesario podrán pedir al explotador nuevos estudios previos o una modificación de sus previsiones en lo que se refiere a los desechos.

Si se autoriza la construcción de la central, y cuando comience a funcionar, el explotador deberá instalar en el propio lugar toda clase de medios que le permitan comprobar desde un



Vista aérea del centro de Marcoule (Francia). Foto: Pierre Jahan



principio que los desechos cumplen efectivamente en todas las circunstancias los límites fijados por las autoridades de sanidad pública. En efecto, ha de controlar permanentemente las consecuencias de sus actividades y tener plena conciencia de la importancia exacta de tales consecuencias, a fin de poder en todo momento tomar las disposiciones necesarias para que se ajusten a los límites fijados. El inventario detallado de los desechos y de su composición deberá ser puesto constantemente al día y a disposición de las autoridades de sanidad pública, a las que el explotador tendrá que dar periódicamente cuenta de sus actividades: no puede ser «juez y parte», especialmente frente a la población interesada, y si de todos modos está obligado a realizar los controles cuyo principio se acaba de definir, los resultados de éstos sólo tienen validez si son aceptados por los servicios de sanidad pública, en particular después de una comparación con los resultados de los controles que estos últimos efectúen por su parte.

El explotador deberá siempre tomar las disposiciones necesarias para escalonar las descargas de desechos líquidos o gaseosos de la central, con el fin de lograr la mayor dilución posible. Las concentraciones máximas fijadas no deben considerarse más que como un límite extremo, y siempre habrá que procurar acercarse lo menos posible a él.

Finalmente, si durante los controles que está obligado a efectuar en el medio circundante de la central, el explotador comprobara que existe el peligro de superar los límites fijados, o que las poblaciones vecinas corren el riesgo a quedar expuestas a equivalentes de dosis anormales, huelga decir que asumiría una responsabilidad muy grave si no advirtiera cuanto antes a las autoridades de sanidad pública ni tomara inmediatamente las disposiciones necesarias para remediar la situación.

Organización práctica de la vigilancia

Las centrales nucleares no vierten en el medio receptor prácticamente ningún contaminante químico ni biológico. En cambio, suelen verter pequeñas cantidades de efluentes radiactivos, y cantidades de calor algo más elevadas que las centrales térmicas de potencia equivalente.

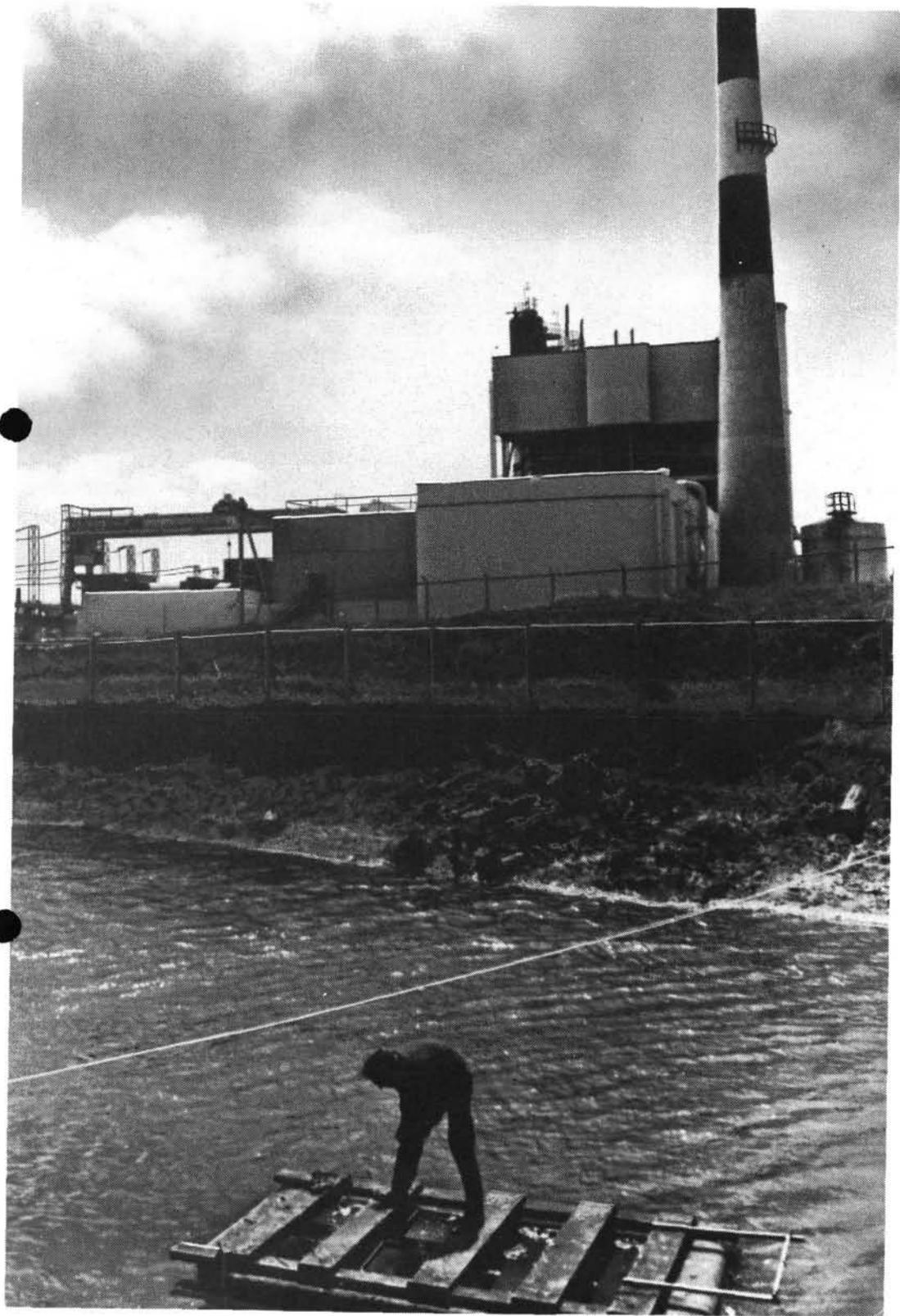
Ahora vamos a estudiar la primera de estas dos contaminaciones desde el punto de vista de la organización racional de su control.

A: Evaluación del límite de capacidad radiológica del medio receptor — Se trata de determinar la cantidad máxima tolerable de contaminante radiactivo que puede aceptar el medio receptor. Su evaluación se funda en la de las cantidades de desechos radiactivos que, en el medio ambiente, harían que los individuos recibiesen el equivalente de dosis máxima admisible mencionado anteriormente. En una exposición tan breve como la presente, un ejemplo concreto permitirá comprender mejor lo esencial de los problemas que hay que resolver, por lo que nos limitaremos a estudiar la capacidad biológica límite de una cuenca fluvial:

Consideremos un río con un caudal medio de $1\,200\text{ m}^3$ por segundo, lo que corresponde a unos 40 000 millones de m^3 al año. La CMAP fijada por la CIPR para una mezcla emisora α , β y γ , de composición totalmente desconocida, es de 10 pCi/1. Es decir, que este río podrá aceptar un máximo de 400 Ci al año de una mezcla de radioelementos totalmente desconocidos.

Esta es la norma más estricta porque, por razones evidentes de seguridad, la CIPR considera que esta mezcla de radioelementos desconocidos podría estar constituida enteramente por el más peligroso de todos, el radio-226. Las normas correspondientes a los demás radioelementos son menos severas (algunas 1 000 veces menos), pero es evidente que sólo se pueden aplicar si se mide por separado la actividad de cada uno de los elementos de la mezcla.

Un investigador estudia el crecimiento de las ostras en el canal de descarga de la central nuclear de Humboldt Bay (Estados Unidos). Los resultados preliminares indican que el agua caliente hace que las ostras crezcan más deprisa, y que los radioisótopos que absorben de las aguas descargadas no entrañan peligro alguno para la salud, incluso si una persona no comiera durante toda su vida más que ostras criadas en el canal. Foto: Pacific Gas and Electric Company



Ahora bien, los radioanálisis detallados son a veces muy lentos de realizar y originarían demoras incompatibles tanto con la buena vigilancia del medio ambiente como con el funcionamiento racional de las instalaciones. Por eso, en la mayor parte de los casos se determinan sólo los elementos más peligrosos (radio-226, plutonio-239, estroncio-90, etc.) o los más molestos (tritio).

En particular, si se mide por separado la actividad del tritio, cuya CMAP es de $3 \mu\text{Ci}/\text{l}$ de agua, el río que hemos tomado como ejemplo podría recibir hasta 100 MCi de tritio por año. De todos modos, se seguiría disponiendo de una capacidad radiológica máxima práctica de casi 400 Ci para todos los demás elementos, que no sería preciso analizar en detalle en los controles corrientes.

Efectivamente, teniendo en cuenta los tratamientos a que se someten los efluentes, un reactor de agua a presión de 1000 megavatios eléctricos (MW(e)) de potencia no vierte al año más de 20 Ci de emisores α , β y γ contándose aparte el tritio, al que corresponden como máximo 5000 Ci por año. Es decir, desde el punto de vista únicamente de los efluentes radiactivos, el río considerado podría aceptar teóricamente 20 centrales del mismo tipo, lo que supone un total de 20000 MW(e).

Recordemos que esta estimación es con mucho la más pesimista porque se funda en la norma más estricta, y que un radioanálisis detallado de los efluentes permitiría aplicar valores de la CMAP, elemento por elemento, mucho más elevados.

Pero sucede que, con 20000 MW(e), se alcanza, poco más o menos en el mismo tiempo, casi la capacidad máxima de enfriamiento del río considerado. En efecto, 1000 MW(e) nucleares corresponden más o menos a un calentamiento de un grado para un caudal de 2000 m^3 por segundo, y se admite que son necesarios unos 20 km de curso fluvial para disipar el calor correspondiente. Así, incluso si para cada instalación se tolera un aumento de 2 a 3 grados de la temperatura del río, sería difícil instalar más de 3000 MW(e) cada 30 ó 40 km.

De este ejemplo se desprende que para limitar la contaminación radiactiva es precisa la planificación de las potencias repartidas a lo largo de una cuenca dada. Esta planificación debe reservar para cada una de las centrales nucleares previstas una fracción exacta de la capacidad total radiológica fijada por las autoridades de sanidad pública para la cuenca.

Naturalmente, es posible que los progresos tecnológicos permitan en el futuro instalar potencias más elevadas a lo largo de un río del mismo caudal, gracias a una disminución de la radiactividad de los desechos durante su tratamiento, y a la disminución del calentamiento (mejora del rendimiento, adición eventual de refrigerantes atmosféricos, etc.).

Pero la capacidad de todas las cuencas cuyo aprovechamiento sería rentable dista mucho de ser ilimitada e, indefectiblemente, con el tiempo será necesario instalar las centrales eléctricas en las costas, pues las aguas de los océanos ofrecen posibilidades mucho mayores de refrigeración y de dilución, compatibles con el cumplimiento de las reglas de sanidad pública.

B: Ejecución práctica de la vigilancia — Las diversas etapas de la vigilancia del medio ambiente durante la vida de una central nuclear son bien conocidas; corresponden sucesivamente a la selección del emplazamiento y al período de funcionamiento industrial normal. Evidentemente, esta segunda fase (funcionamiento industrial) será mucho más larga, pues constituye el objetivo mismo de la realización. Las centrales nucleares se construyen hoy para una vida media de 20 a 30 años.

1. *Estudio del emplazamiento antes de construir la central* — Su fin es permitir, en el marco de la fracción de la capacidad radiológica de la cuenca asignada, por una parte, la adapta-

Medición de la captación de radioisótopos por organismos acuáticos. En la fotografía, un acuario para estudiar los efectos de la contaminación por plutonio del medio marino, en el Laboratorio de Radioecología Marina de la Haya.
Foto: Pierre Jahan



ción óptima de la instalación a las reglas de sanidad pública y, por otra, la determinación de la radiactividad natural del emplazamiento antes de toda contaminación, para poder advertir más tarde las que pudieran sobrevenir.

El tipo de instalación nuclear (reactor refrigerado por gas, reactor de agua a presión o de agua hirviente) condiciona la composición de los desechos que se verterán, pero siempre con sujeción a límites que no excedan de los valores indicados anteriormente. Incluso la tecnología del reactor puede influir en la composición y es interesante observar, por ejemplo, que el envainado del combustible, con zircaloy en lugar de acero permite, en el caso de los reactores de agua, reducir casi 100 veces la cantidad de tritio liberado porque éste se combina con dicha aleación en el lugar mismo donde se produce.

Como es lógico, las autoridades de sanidad pública sólo pueden aprobar la autorización de construir y poner en marcha la central si los resultados del estudio previo confirman que la instalación se adaptará correctamente a su emplazamiento.

2. *Vigilancia durante el funcionamiento industrial* — Su finalidad es verificar la aplicación efectiva de las disposiciones que el explotador debe tomar para garantizar el cumplimiento de los límites autorizados.

Por lo que se refiere a los efluentes gaseosos, las evacuaciones sólo pueden efectuarse si los conductos de descarga están provistos de aparatos de medición adecuados, y si durante cada evacuación se registran los parámetros meteorológicos habituales.

En cuanto a los líquidos, es indispensable determinar previamente la composición físico-química, los volúmenes, las actividades que van a evacuarse y controlar la emisión durante cada evacuación. Periódicamente habrá también que comprobar los lodos del río.

Por lo que respecta a los desechos sólidos de actividad media, deben almacenarse en la planta con todas las garantías necesarias para que no contaminen los suelos ni la capa freática, incluso si se produjera una crecida del río receptor.

Este control permanente se completará con una vigilancia periódica de los elementos de la cadena alimentaria (principalmente de la leche).

El explotador y las autoridades de sanidad pública deben ponerse de acuerdo sobre la aplicación de todas estas disposiciones. Dichas autoridades tendrán derecho de acceso en todo momento a las instalaciones. Independientemente de los controles que efectúen ellas mismas habitualmente, procederán a mediciones al azar que, si dieran resultados anormales, podrían obligar a análisis más detallados e incluso a una revisión de las condiciones de funcionamiento autorizadas para la central.

Conclusiones

Por las radiaciones que emiten, las sustancias radiactivas pueden detectarse, identificarse y medirse en concentraciones excepcionalmente bajas: las masas correspondientes son de mil a diez mil veces menores que las que pueden medirse por cualquier otro método químico o físico, por exacto que sea, aplicado a sustancias no radiactivas.

En consecuencia, es posible detectar los radioelementos en el medio ambiente a niveles muy inferiores a los que podrían comenzar a suscitar problemas reales de sanidad pública. Por desgracia, no puede decirse lo mismo de muchos otros contaminantes no radiactivos, que sólo es posible medir en concentraciones con frecuencia muy próximas al límite de toxicidad, o incluso superiores.

Pero, al parecer, es frecuente en la mente de un público poco informado la confusión entre límite de detección y límite de toxicidad, lo que indudablemente explica la situación siguiente, cuando menos, paradójica: se temen los efectos hipotéticos de la radiactividad a niveles irrisorios mientras que, al mismo tiempo, no se siente la menor preocupación porque se sobre-

pasen casi continuamente los límites de toxicidad de muchísimos contaminantes no radiactivos pero muy reales. Sin embargo, la suma de todas las irradiaciones artificiales no es mayor que las fluctuaciones habituales de la irradiación natural y, si los efectos genéticos de las dosis muy bajas de radiaciones fueran realmente acumulativos, la irradiación natural inevitable, que es con mucho la más elevada, hace tiempo que habría por sí sola suprimido toda traza de vida sobre la Tierra.

Finalmente, no olvidemos que sólo la utilización de los rayos X en medicina, en particular con fines diagnósticos, supone una irradiación artificial media suplementaria de la población que es el doble de la irradiación natural (100 mrem por año), lo que corresponde a casi 100 veces la irradiación que ocasionaría la industria nuclear según las evaluaciones más pesimistas.

Hemos visto que las disposiciones que acabamos de describir permiten efectivamente mantener en cualquier circunstancia la radioactividad del medio ambiente a un nivel perfectamente compatible con la observancia de las reglas de sanidad pública.

Lejos de suponer peligro alguno para las poblaciones, las instalaciones nucleares pueden, pues, por el rigor con que se controlan, servir de modelo para la lucha contra numerosas contaminaciones tradicionales inadmisibles del medio ambiente, y, con el tiempo, harán desaparecer las más inquietantes de estas contaminaciones.

Bibliografía:

- [1] I.C.R.P. - Publication 7: Report by Committee 4. Pergamon Press, 1965.
- [2] Surveillance courante des radionucléides dans l'air et dans l'eau; OMS. Ginebra, 1969.
- [3] La explotación sin riesgos de las centrales nucleares - Colección Seguridad N° 31, OIEA, Viena, 1970.
- [4] Management of radioactive wastes at nuclear power plants, Colección Seguridad N° 28, OIEA, Viena, 1968.
- [5] HEDGRAN A. y LINDELL B.: On the swedish policy with regard to the limitation of radioactive discharges from nuclear power stations, N.I.R.P. Estocolmo, 1970.
- [6] Public Health Service - Radioactive waste discharges to the environment from nuclear power facilities, USA - BRH/DER, 1970.
- [7] Public Health Service - An estimate of radiation doses received by individuals living in the vicinity of a nuclear fuel reprocessing plant in 1968, USA - BRD/NERHL, 1970.
- [8] JONES J.K. et al.: The experience of the Central Electricity Generating Board in monitoring the environment of its nuclear power stations, I.R.P.A. n° 298, Brighton, 1970.
- [9] JACOBS D.G.: Sources of Tritium and its behaviour upon release in the environment, Springfield, 1969.
- [10] La contaminación del medio ambiente por los materiales radiactivos, OMS, OIEA, FAO, Viena, 1970.
- [11] Las centrales nucleares y el medio ambiente, OIEA, Viena, 1970.