

0. INTRODUCCION

La ecosfera es un sistema que incluye a todos los seres vivientes así como el aire, agua y suelo. En ella se mantiene un equilibrio, sobreviviendo y adaptándose a los cambios y evoluciones. Esto se debe a su organización y autorregulación, ya que está compuesta por innumerables ecosistemas, de tal forma relacionados que se interaccionan mutuamente.

La ecosfera ha conseguido evitar la evolución hacia el desorden y desorganización ecológicos llamado entropía, gracias al equilibrio complejísimo que observa en su evolución y continua adaptación.

En esta evolución se consume y necesita energía (solar → fotosíntesis → estructuras más complejas vegetales → animales, etc.), y forzosamente se generan residuos. Mientras la pérdida de equilibrio que este proceso supone no sobrepase la capacidad de reajuste, el ecosistema mantendrá su organización y su capacidad de evolución.

Es necesario, por tanto, analizar este fenómeno a escala global, y reducir al mínimo los productos de desecho que la evolución del sistema ocasiona, y sobre todo, conseguir reciclarlos de forma que sirvan de productos de partida de otros procesos biológicos.

El hombre, agente ecológico natural, produce residuos, subproductos, de manera totalmente ineludible a lo largo de su evolución. El mismo y sus productos son parte del mundo viviente, como lo son los microorganismos y sus residuos; pero aunque el hombre no es, en modo alguno independiente del medio, ejerce sobre su ecosistema un dominio típico, como no ejerce ningún otro tipo de organismo.

Por supuesto que el hombre no puede existir sin producir residuos, como tampoco cualquier otro organismo. Pero si sitúa recursos fuera de lugar en el ecosistema, debe esperar alteraciones en los mecanismos autorreguladores del mismo, y por tanto concentraciones altas de sustancias nocivas, reducción en el número y abundancia de especies útiles y, en definitiva, una inestabilidad en el ecosistema. El problema estriba, pues, en utilizar de un modo inteligente e ingenioso dichos residuos. La calidad de nuestro medio será así una expresión o índice de la capacidad del hombre para administrarlos, lo cual requiere un conocimiento mucho mayor que el que tenemos en el presente de las interrelaciones ecológicas y de las implicaciones de cualquier cambio introducido en los mecanismos del ecosistema,

Esto plantea problemas de índole sociológica que no pueden ser soslayados, abogando, por ejemplo, por el retorno a situaciones pretéritas (que abocarían de nuevos en las actuales) o al mantenimiento del status quo. Ningún ecólogo abogará por ninguna de ambas soluciones; hacerlo significaría contradecir uno de los principios básicos de la ecología: el cambio dinámico y adaptativo.

Las esperanzas y las oportunidades del hombre descansan, pues, en la ordenación de los cambios que él mismo induce como parte natural e integral que es del medio. Esto exige que el hombre reconsidere el lugar que ocupa en la naturaleza, que revise sus actitudes hacia el medio ambiente en general y, como dice Aldo Leopold, que desarrolle una nueva ética de la tierra, que no tiene una capacidad ilimitada.

En este marco, es obvio que los adelantos tecnológicos que la humanidad va desarrollando y aplicando, aun estando concebidos para el logro de unos fines específicos a corto plazo, no deben desatender las consecuencias que los mismos puedan acarrear al ecosistema. Tales avances tecnológicos ocasionan inevitablemente problemas en el medio ambiente, y por tanto originan situaciones de equilibrio menos estables. Esto hace aumentar la probabilidad de desequilibrios, cada vez más importantes, y como contrapartida, una demanda a su vez de nuevos dispositivos tecnológicos efectivos que no los produzcan.

La tecnología, pues, aumenta a través de un proceso de realimentación; siendo de esperar que el progreso de la misma se realice a un ritmo tal, que supere el desequilibrio.

Los niveles de consumo de energía son especialmente importantes dado que inciden en el equilibrio del ecosistema.

Sabemos que el consumo energético en el mundo actual, aumenta constantemente a un ritmo exponencial. Esto plantea una serie de problemas a la humanidad en general, y sobre todo a las sociedades industrializadas (que, cada vez más, son casi todas) impelidas sin remedio a un aumento creciente de dicho consumo.

En este contexto del mundo industrializado y habida cuenta de la limitación de las fuentes energéticas clásicas, se desarrolla, entre otros, el campo de la energía nuclear; de tal forma, que se puede decir que hoy por hoy dentro del campo de investigaciones de la física nuclear y del estudio de nuevas fuentes energéticas que la humanidad va necesitando, parece que se puede afirmar que la energía nuclear permite una seguridad de aprovisionamiento.

Se presenta como una técnica realmente utilizable y garante, pero que plantea una serie de problemas en relación con el medio ambiente, que hace necesario se tomen las precauciones indispensables para que no altere de forma grave el equilibrio ecológico general. Esto explica la toma de conciencia de la opinión pública sobre la misma, en las diferentes partes del mundo y sobre todo en las sociedades industrializadas. Esta conciencia general es creciente y es la que en gran medida, ha hecho evolucionar la tecnología nuclear, de forma que disminuyan sus riesgos asegurando el suministro energético. Además se investiga constantemente

sobre nuevas fuentes energéticas, por lo que es claro que no puede considerarse a la energía nuclear más que como solución transitoria.

También entre nosotros se ha producido ese fenómeno, dado que el recurso a la fuente nuclear se nos presenta en un futuro próximo. La noticia de que Iberduero, S. A. proyecta instalar una Central Nuclear en Deva (además de otras dos en la costa vizcaina) ha acelerado la misma.

Nosotros somos parte de dicha conciencia, que pensamos está presente en todas las esferas sociales, y es así que como Sociedad de Ciencias Naturales creemos es un deber y una obligación por nuestra parte, tratar de aportar algo en la comprensión y solución de la problemática que la central nuclear de Deva puede ocasionar. En este sentido, tenemos que hacer constar que la misma Sociedad que proyecta la instalación, además de la propia Delegación de Industria de Guipúzcoa, nos instó a confeccionar un informe más completo a resultados de la impugnación que dentro del plazo legal presentamos, y que dada la premura de tiempo, no pudo ser más que indicativa de la preocupación que dicho proyecto suscitaba en nosotros.

No se nos escapa la cuestión fundamental, directamente relacionada con la planta en cuestión, cual es la necesidad de dar respuesta a un consumo energético creciente en Guipúzcoa, que esperamos responda a un plan de evolución, cualificación y desarrollo profundo de la industria guipuzcoana. Plan que sólo puede devenir de la coordinación de los elementos propulsores de la industrialización, y que es tan importante para el futuro guipuzcoano.

Pero aunque esta cuestión de la industrialización desarrollada condiciona, como es lógico, muchas materias relacionadas con el medio ambiente, su conservación y desarrollo en todos los órdenes (de todos es sabido que la industria moderna es menos contaminante y polucionadora, por la aplicación posible en la misma de tecnologías avanzadas y costosas), no vamos a entrar en la misma, pues se escapa de los objetivos de este informe.

En este informe incluimos un capítulo referente a los efectos de las radiaciones en los ciclos biológicos y en el hombre: así como los riesgos que las centrales nucleares implican y las repercusiones que en el medio ambiente plantean. Hacemos a continuación algunas observaciones sobre las características de la central nuclear de Deva, su emplazamiento, insistiendo en los aspectos demográficos, pesqueros, etc.: añadiendo como colofón las conclusiones. Al final van los textos y fuentes bibliográficos utilizados en la redacción de este informe. (1)

Agradecemos a todos aquellos que nos han exhortado, animado y ayudado en la confección de este informe, que deseamos pueda ser de utilidad para la sociedad guipuzcoana en esta lucha que cada vez más

(1) Este informe ha sido presentado en la Delegación Provincial de Guipúzcoa del Ministerio de Industria y enviado a la Junta de Energía Nuclear y a Iberduero, S.A. A la hora de su publicación nos ha parecido conveniente añadir dos capítulos de divulgación sobre física nuclear y su aplicación industrial, para facilitar la comprensión general del tema.

urgentemente debe emprender en defensa, conservación y desarrollo del medio ambiente, objetivo al cual siempre prestará todo su apoyo y ayuda la Sociedad de Ciencias Naturales Aranzadi.

San Sebastián, junio de 1974

1. SOBRE FISICA NUCLEAR. LA RADIOACTIVIDAD

1.1. LA RADIOACTIVIDAD NATURAL

La radiactividad es tan antigua como el mundo. Un mundo que los isótopos de la serie del Torio y del Plomo permiten justamente datar en alrededor de algunos miles de millones de años.

Fue a fines del siglo XIX, cuando, al constatar Henri Becquerel, que sales de Uranio eran capaces de impresionar la placa fotográfica, se abrió la era del átomo; la radiactividad natural era descubierta como una propiedad por la cual ciertos elementos se transmutan emitiendo en su alrededor partículas dotadas de propiedades tales como la ionización de la materia, sobre la cual son además basadas su detección y su posibilidad de medida.

A este mecanismo de desintegración de estos cuerpos se llama radiactividad, y se manifiesta por la emisión de energía bajo forma de partículas que son de tres tipos:

LOS RAYOS ALFA, que están formados por núcleos de Helio; son poco penetrantes, y toda la energía que transportan es cedida a lo largo de un recorrido muy corto: algunos centímetros en el aire, algunas decenas de milésima de milímetro en los tejidos vivos.

LOS RAYOS BETA, están formados por electrones: son algo más penetrantes que los rayos Alfa: algunas decenas de centímetros en el aire: su poder de penetración es moderado.

LOS RAYOS GAMMA, son de naturaleza electromagnética, son muy penetrantes, pueden recorrer una gran distancia en el aire sin que una fracción notable sea absorbida.

Los conocimientos sobre la radiactividad se precisaron a principio de siglo, cuando los esposos Curie aislaron el elemento radiactivo más típico: el Radio. Este radioelemento permitió entre otras cosas reconocer las dos principales características de la radiactividad: su evolución en función del tiempo y sus interacciones con la materia jugando el papel de absorbente.

La radiactividad no puede ser destruida voluntariamente, sólo el tiempo la hace decrecer, la cantidad que más a menudo es utilizada para representar el decrecimiento de una substancia radiactiva es el «período de desintegración», que es el tiempo necesario para que la mitad de los átomos de esta substancia se desintegre. La desintegración radiactiva obedece de hecho a una ley exponencial, porque su rapidez, es decir la probabilidad de desintegración de cada átomo, es proporcional al número de átomos radiactivos residuales. En la práctica no hay jamás desaparición completa de la radiactividad; la apreciación práctica dependería de la sensibilidad del detector.

Algunos radioelementos como el Uranio-238 tienen períodos muy largos que se cifran en millones de años. Para otros, como el Polonio-215 el periodo se cuenta en milésimas de segundo.

Las radiaciones nucleares no son percibidas por los sentidos del hombre, no pueden ser observadas más que por los efectos que producen en el medio que atraviesan. Los contadores utilizan la propiedad que tienen las radiaciones de hacer aparecer cargas eléctricas en el gas: ionización.

La radiactividad de un cuerpo está caracterizada por el número de desintegraciones que se producen en él en un segundo. Se utiliza como unidad de base el Curie, que corresponde a $3,7 \times 10^{10}$ desintegraciones por segundo, actividad muy elevada, presentada por un gramo de radio puro. Se utiliza también el Rutherford que equivale a 10^6 desintegraciones/segundo.

La dosis de exposición se expresa en roentgen y corresponde a dosis farmacológicas. La dosis absorbida es medida en Rad, unidad de radiación corespondiente a la disipación de una energía ionizante de 100 Hertz, por gramo de materia.

Por fin, se creó la medida llamada Rem para medir los efectos de las radiaciones sobre el organismo humano.

Rem (Roentgen equivalent man): el daño equivalente al producido en el hombre por la absorción de un roentgen de radiación. El hombre tolera una absorción máxima de 0,3 Rem/semana por todo el cuerpo (según las evaluaciones actuales).

Evidentemente hay una relación de proporcionalidad entre la potencia de una fuente radiactiva expresada en Curies y la dosis recibida por un receptor biológico expresada en Rem, pero en esta relación intervienen varios factores, entre ellos: la naturaleza de la radiación emitida, la distancia que separa al emisor y el receptor, la interposición entre emisor y receptor de pantallas que juegan un papel de radioprotección, el tiempo de exposición, etc.

Las radiaciones nucleares forman parte del entorno natural del hombre, y provienen de tres fuentes: los rayos cósmicos, partículas de alta energía provinientes del sol y de las estrellas: los elementos radiactivos que se encuentran en el suelo, en los materiales de las habitaciones, en el aire, en el agua, en los alimentos, y los radioelementos que están presentes en el cuerpo humano.

Se calcula que la dosis media anual de radiación natural recibida por un individuo es de alrededor de 150 milirems, pero en esta radiación natural hay factores que hacen variar dicha dosis, como son: la naturaleza geológica del suelo, la altitud, la latitud, etc.

1.2. LA RADIATIVIDAD ARTIFICIAL

Cada individuo recibe una dosis de radiaciones variable provinientes de las fuentes creadas por el hombre. Son entre otras: los reflujos provinientes de los ensayos termonucleares, la radiactividad desprendida por

las instalaciones nucleares, los aparatos de televisión, los relojes, los cuadros luminosos, el tabaco, y principalmente la exposición a las radiaciones con fines médicos. En los países desarrollados esta última representa de media una dosis como mínimo equivalente a la mitad de la dosis recibida mediante la radiactividad natural.

Veamos algunos aspectos referentes a la radiactividad artificial: cuarenta años después del descubrimiento de la radiactividad natural se produjeron una serie de experiencias que trajeron como conclusión esta noción: bombardeando en el laboratorio diversos átomos con la ayuda de partículas, los físicos iban a provocar el nacimiento de compuestos radiactivos hasta entonces desconocidos. En 1939 varios autores (Lisa Meitner y Fritsch, Frédéric Joliot, Fermi, Szilard) descubrieron que el bombardeo de Uranio por neutrones hacía aparecer algo más que un nuevo elemento. A pesar de su propio escepticismo, los investigadores debieron admitir, en efecto, que bajo la acción de los neutrones el átomo de Uranio sufría una fisión, ruptura del núcleo, produciendo varios átomos de masa evidentemente inferior, todos radiactivos además.

El fin de estos estudios era la síntesis de los transuránicos, es decir, elementos de número atómico superior a 92 desconocidos hasta entonces en la naturaleza.

Además, esta reacción de fisión nuclear del Uranio, productora de neutrones que no consume, es posible autoentretenerla, de ahí la idea de la reacción en cadena. Al mismo tiempo es liberada una cantidad importante de energía.

¿Qué es la energía nuclear, por tanto? Es la energía contenida en el núcleo del átomo. El átomo es el constituyente de base de todo cuerpo simple. Es decir, de todo cuerpo como el hidrógeno, carbono, hierro, uranio, etc.

El átomo está formado por un núcleo alrededor del cual gravitan electrones. Este núcleo está compuesto de protones y de neutrones, y contiene prácticamente toda la masa del átomo.

Los núcleos de los átomos difieren entre sí por el número de protones y de neutrones que contienen. El número de electrones que es igual al de protones, determina las propiedades químicas del átomo.

El número de neutrones juega un papel esencial en las propiedades nucleares del átomo.

Los átomos de un mismo cuerpo simple no tienen habitualmente todos la misma masa, tienen el mismo número de electrones y de protones, y por consecuencia las mismas propiedades químicas, pero difieren entre ellos por el número de neutrones; a estos cuerpos se les llama isótopos.

Estos isótopos existen en proporción constante en cada cuerpo simple natural. Por ejemplo, en el Uranio tal como se le encuentra en la naturaleza, hay 0,7% de Uranio-235 y 99,3% de Uranio-238. Los isótopos de un mismo cuerpo simple tienen en general propiedades nucleares diferentes.

La utilización a escala industrial de la energía nuclear está basada pues, actualmente, en la fisión nuclear, que, como hemos visto, es la

ruptura de un núcleo pesado (es decir, un núcleo comportando un gran número de protones y de neutrones, por ejemplo el Uranio-235) resultante del encuentro con un neutrón. Cuando el núcleo captura al neutrón, se desequilibra, oscila y se separa en dos, hay ruptura.

La ruptura tiene tres efectos principalmente:

- a) El núcleo se separa en varias partículas que constituyen los núcleos de nuevos átomos que se llaman productos de fisión.
- b) Por término medio, 2,5 neutrones animados de una rapidez del orden de 20.000 Km./seg. se escapan en el espacio alrededor del núcleo.
- c) Por fin, una cierta cantidad de energía se liberada y aparece bajo forma de calor.

Para aumentar las posibilidades de encuentro de un neutrón con un núcleo, se suelen ralentizar voluntariamente con frecuencia los neutrones según sean rápidos o lentos.

Algunos isótopos tal como el Uranio- 235 tienen núcleos pesados, poco estables, que sufren la fisión bajo la acción de neutrones lentos; son los cuerpos llamados fisibles.

Otros isótopos más estables como el Uranio-238 no son fisibles más que bajo la acción de neutrones rápidos; es decir poseedores de una gran energía. A estos isótopos se les llama fértiles porque su transformación crea nuevas materias fisibles.

Los neutrones expulsados del núcleo roto pueden tener varios destinos; algunos entre ellos chocan con otros núcleos fisibles, los rompen, y liberan otros neutrones entreteniéndose así una reacción en cadena; otros puede ser capturados por núcleos de átomos fértiles, como el Uranio-238, cebando así la formación de nuevos materiales fisibles como el Plutonio-239. Otros pueden ser capturados por los materiales de estructura del reactor o por los productos de fisión. Otros, por fin, pueden escapar hacia el exterior.

Una parte, pues, solamente de los neutrones emitidos participa en la fisión de nuevos átomos. Si las condiciones son tales que el número de fisiones crece muy rápidamente, la liberación de energía puede hacerse de manera masiva e instantáneamente; es lo que se produce en la bomba atómica. Si por el contrario esta proporción es tal que el número de neutrones disponibles permanece estable, la reacción en cadena se entretiene, y la energía es liberada progresivamente; es lo que sucede en un reactor nuclear.

2. LAS RADIACIONES NUCLEARES Y EL ORGANISMO HUMANO

2.1. EFECTOS BIOLÓGICOS DE LAS RADIACIONES NUCLEARES

El principal efecto de las radiaciones es provocar la ionización de la materia, es decir la aparición de cargas eléctricas, señaladamente por fragmentación de los sistemas cristalinos o moleculares alcanzados.

Esta actividad radiactiva provoca una transformación de la materia creando nuevos elementos radiactivos: el Estroncio-90, el Cesio-137, el Plutonio-239, etc.

El agua, molécula biológica importante, sufre así una radiolisis, es decir, una ruptura bajo la acción de la radiación acompañada de desgajamiento de oxígeno por recombinación de radicales hidróxilos.

El cuerpo humano tiene un tanto por ciento altísimo de agua en la composición del mismo.

La descomposición del agua por ionización da lugar al agua oxigenada, $H_2 O_2$. Ya sea agua oxigenada u otros cuerpos de descomposición, la vida no es posible si se sobrepasa un límite físico-químico muy estrecho en relación al estado inicial.

Toda manifestación vital es el resultado de una acción regulada por un enzima. Los ácidos, las bases, los detergentes, las vibraciones, y las radiaciones ionizantes pueden inactivar los enzimas. Por ejemplo se deduce que en un ambiente normal los enzimas pueden operar en caso de formación de $H_2 O_2$ (una molécula de catalasa descompone en un segundo 100.000 moléculas de $H_2 O_2$), mientras que en presencia de radiaciones ionizantes, los enzimas inactivados no pueden operar sobre la tasa de $H_2 O_2$.

Desde el punto de vista fisiológico los nucleidos de diversos elementos tienen un comportamiento diferente. Ciertos radionúclidos son absorbidos por el cuerpo del hombre y utilizados para la constitución de las células: es el caso por ejemplo del yodo radiactivo. Este yodo se concentra en el tiroides, desde donde sus irradiaciones pueden interferir y dañar el metabolismo normal y el crecimiento de esta glándula endócrina.

Un triste ejemplo de lo anterior fue la explosión experimental de 1945 en el atolón de Bikini, en el extremo occidental de las islas Marshall. Un cambio inesperado del viento llevó los residuos hacia las islas orientales, especialmente a Rogenlap.

En 1968, 17 de cada 19 niños que tenían menos de 10 años en el momento del ensayo atómico presentaban anomalías tiroideas, muchas de ellas cancerosas: la mayor parte de las víctimas, presentaban un crecimiento retardado.

Otros isótopos son igualmente peligrosos. Es sabido por ejemplo que el Estroncio-90 puede sustituir al calcio, yendo a parar a los huesos así como también el fósforo radiactivo. Estos elementos actúan desde el tejido óseo, bombardeando la médula ósea, que es un órgano hematopoyético, produciendo efectos metágenos y cancerígenos sobre el hombre, y amenazando con modificar el patrimonio hereditario del mundo vivo en sentido desfavorable. El Cesio-137 sustituye al potasio en las actividades metabólicas.

Por lo que respecta a los efectos nucleares los radiólogos son hoy en día mucho menos optimistas que hace unos años.

El aumento de la radiactividad en el mundo es mayor de lo previsto. Las lluvias de productos radiactivos, sobre todo de Estroncio-90, han originado concentraciones en diversos alimentos como por ejemplo en la leche.

La cantidad de radioisótopos artificiales en algunos órganos humanos, particularmente en los huesos, tiende también a aumentar, como lo demuestran las mediciones realizadas en los dientes de leche infantiles.

Hace falta considerar, en el mismo sentido, los elementos que si bien no son constituyentes del organismo humano, son sin embargo absorbidos por el cuerpo y allí subsisten: a este grupo pertenecen el Plomo y otros metales pesados, así como el Plutonio y el Bario, los cuales se acumulan en el esqueleto.

Son igualmente a considerar como particularmente peligrosos, los radionucleidos que a pesar de ser de nuevo excretados relativamente pronto por el organismo se enriquecen de manera preferencial en el organismo. Tal es el caso de los isótopos del Sodio y del Cloro.

Como podemos apreciar, pues, las lesiones debidas a las radiaciones pueden ser provocadas en el hombre más que por los rayos provinientes del exterior por substancias radiactivas que han penetrado en el organismo o han sido absorbidas por éste.

Numerosos factores intervienen en una irradiación, pero aquellos que cuentan principalmente son: la naturaleza de la radiación, la dosis total absorbida y las condiciones en las cuales ha sido administrada, señaladamente la extensión y la duración de la irradiación, la edad de la persona irradiada, etc.

Además, las diferentes células del cuerpo humano no tienen la misma sensibilidad a la radiación. Las más sensibles son aquellas que se reproducen más rápidamente y aquellas que son sede de una gran actividad química. Por otra parte ciertas fases de la mitosis son más sensibles que otras, y las células jóvenes son más afectadas que las células adultas. La médula de los huesos, los tejidos linfoides y los órganos genitales se encuentran entre los más sensibles. Los músculos y las células de los huesos, se encuentran entre los menos radiosensibles.

Los efectos biológicos de las radiaciones son de dos clases: los efectos somáticos inmediatos o retardados relativos al individuo irradiado y, los efectos genéticos relativos a las células reproductoras que tienen un carácter hereditario.

Entre los efectos somáticos inmediatos que se observan en algunos órganos y tejidos del cuerpo tenemos las alteraciones de los valores sanguíneos y de la médula ósea, produciéndose fundamentalmente una disminución de los glóbulos blancos, leucopenia, y por tanto disminución de la resistencia a las infecciones. Si la irradiación es suficientemente larga se produce una disminución de los glóbulos rojos, anemia, así como una disminución de las plaquetas que altera la coagulación de la sangre. Afecciones del sistema linfático, del tubo digestivo, de los órganos genitales, (produciéndose esterilidad). Afecciones del sistema nervioso, fundamentalmente del sistema nervioso central; alteraciones en el funcionamiento de la glándula tiroidea, opacidad del cristalino, (catarata en los ojos), afecciones pulmonares por irradiaciones inhaladas sobre todo. El hígado, la vesícula biliar, los riñones, son bastante resistentes a las radiaciones exteriores, pero muy sensibles a la irradiación interior. Varios isótopos radiactivos, pueden concentrarse en el hígado.

Entre los efectos somáticos retardados, de aparición más tardía, hay que destacar, además de los anteriores: carcinomas de los pulmones, de la piel, de los huesos, de la médula ósea; leucemia, alteraciones importantes en el crecimiento y desarrollo del embrión, del feto, etc.

Los efectos genéticos, son hereditarios, es decir que son susceptibles de ser transmitidos de generación en generación: es la acción sobre los genes que son los que transmiten los caracteres hereditarios.

Los efectos genéticos se traducen en el fenómeno llamado mutación, es decir la inducción de nuevos caracteres que pueden afectar en la constitución del descendiente, o sobre su aptitud en reproducirse. El resultado de una mutación genética no puede manifestarse más que en la descendencia del individuo irradiado.

Veamos algo más a fondo algunos aspectos referentes al fenómeno de la mutación.

Sabemos que en una población dada se puede presentar una cierta probabilidad de mutaciones llamadas espontáneas, que se denominan así porque se desconocen sus causas; y es de gran interés comparar la tasa de mutación en las condiciones naturales y condiciones artificiales.

Por ejemplo: entre mil moscas *Drosophila* dos individuos presentan dos tipos de anomalías ligadas al cromosoma X. Diremos que la tasa de mutabilidad espontánea de este cromosoma es de dos por mil. Pero si se irradian espermatozoides con 3000-r, la tasa de mutaciones sube al 10%, o sea 50 veces más. Además pensemos que este aumento de mutabilidad se da tras una decena de minutos de irradiación, y que las mutaciones espontáneas son el resultado de causas que se acumulan durante toda una generación. En este caso de la *Drosophila* unos quince días.

Así que durante la irradiación los elementos hereditarios mutan unas cien mil veces más rápido que en condiciones normales.

Tras innumerables experiencias sobre *Drosophila*, se ha llegado a establecer lo que se puede llamar la tasa de mutabilidad absoluta de este insecto. La probabilidad para que un gen mute cuando recibe 1 r de radiación es de 2 por cada 100 millones.

Es preciso hacer notar que el efecto de la radiación es acumulativo, 100-r en 10 años pueden inducir tantas mutaciones como en un minuto.

¿Y cómo afectan al hombre las radiaciones?

Para tener un conocimiento aproximado sobre esto se experimenta en mamíferos. Así los esposos Russell dirigen en el laboratorio de Oak Ridge experiencias sobre ratones y han establecido que en éstos la probabilidad de que un gen mute cuando recibe un r de radiación es de 2 por 10 millones. Por tanto la probabilidad es 10 veces mayor que en *Drosophila*.

Más tarde se ha comprobado que estas cifras de los ratones se asemejan mucho a las del hombre.

Si recibiendo un r un gen tiene dos probabilidades sobre 10 millones de mutar esta probabilidad será 50 veces mayor cuando reciba 50 r; o sea una probabilidad sobre 100.000, probabilidad que viene a ser el doble que la que corrientemente se admite para la mutación espontánea de un gen humano a lo largo de una vida.

- La revista *Genetics* da los resultados de investigaciones efectuadas durante ocho años por los biólogos de la AECL canadiense y dice:

«La irradiación de pequeños mamíferos ha provocado una disminución del 30% entre los descendientes muy inteligentes y un aumento del 70% para los muy estúpidos. Entre los descendientes de padres irradiados se ha encontrado también casos excepcionalmente frecuentes de sujetos enfermos, enanos, o que presentan defectos de la vista».

- Es lo que ha llevado a afirmar a H. J. Moe en el informe n.º 7291 del Argonne National Laboratory, de mayo de 1972, lo siguiente: «Cualquiera que sea la dosis de radiación infligida hasta el presente, se han podido constatar mutaciones genéticas en todas las especies animales estudiadas. De lo cual se deduce que todo crecimiento de radiación infligido a los humanos provoca un aumento de las mutaciones genéticas. A veces la extrapolación a los humanos de resultados adquiridos sobre los animales puede ser fuente de error. De todas formas en este caso preciso de las radiaciones atómicas o nucleares los efectos son suficientemente semejantes para permitir una tal afirmación».
- Las técnicas de cultivo de tejidos utilizadas por Puck en el Centro Médico de la Universidad de Colorado, han permitido medir el efecto de la radiación sobre la capacidad reproductora de células humanas aisladas. Estos estudios han mostrado que el aparato genético humano presenta una extraordinaria sensibilidad a la radiación.
- Por otra parte se ha estudiado la descendencia de algunas personas que sufrieron las consecuencias de las bombas atómicas.
- Normalmente nacen en Nagasaki un 51,8% de varones: esta proporción desciende a un 48% cuando se trata de niños de mujeres que sufrieron irradiaciones de unos 300-r. Según la proporción

normal de sexos en esta ciudad deberían haber nacido más hombres que mujeres. Se concluye que los óvulos fecundados que deberían haber dado varones no eran viables. Su desarrollo ha sido pues detenido, dicen los genetistas, por la mutación del cromosoma X ligado a la determinación de los sexos.

- Según el Comité Científico de las Naciones Unidas, el comité federal de USA y el Dr. Linus Pauling, Premio Nobel de Química, los ensayos nucleares 1945-1963 ya han sido responsables de malformaciones graves en ciento sesenta mil niños y provocarán en el futuro dieciséis millones de malformaciones.
- Por otra parte, en un estudio realizado por Mrs. Mary H. Weik, secretaria del comité americano de peligros radiológicos sobre las estadísticas oficiales de mortalidad en USA relativas al año 1962 y publicadas en 1964, establece una inquietante correlación entre la vecindad de las instalaciones nucleares y el aumento, a menudo muy considerable, de las tasas de fallecimientos por leucemias, malformaciones congénitas, etc. Indica, por ejemplo, que los fallecimientos debidos a leucemias en Garfield (Montana) están aumentados en un tanto por ciento de 600%. En Scaix (North Dakota) 270%. Mohave (Arizona) 270%. Malformaciones congénitas en Shermann (Oregón) en un 310%. Carroll (Missouri) 273%. Massac (Illinois) 240%. Abortos, en Morton (N. Dakota) 215%. En Garfield (Montaña) 230%. En Shermann (Oregón) 162%.
- Una encuesta de la A.E.C. revela que ha habido veinte fallecimientos debidos a cáncer en un pequeño sector de la ciudad de Mantrose, en el valle de Hudson, en la proximidad de la fábrica nuclear Indian Point, cerca de Peekshill. La tasa de cánceres en esta localidad es varias veces más elevada que la tasa nacional.
- Por otra parte un estudio estadístico entre los hijos de médicos radiólogos, que como sabemos están expuestos a radiaciones por su profesión, reveló que entre éstos había un 24% más con enfermedades congénitas que entre hijos de médicos no expuestos a radiaciones.
- Asimismo se estudian continuamente las radiaciones producidas como consecuencia de la utilización de terapéuticas médicas, que como se sabe a dosis débiles provocan una reacción favorable y beneficiosa para el ser humano necesitado, como es la restauración natural de los tejidos, la cicatrización de lesiones, tratamientos de neoplasias, etc.

En cuanto a la forma como se producen las mutaciones, pueden ser Planteados dos niveles, afectando los dos directamente a los ácidos nucleicos, constituyentes esenciales de los genes de los cromosomas, por lo que influyen por una parte en la transmisión del patrimonio genético Y por otra parte en la síntesis de las proteínas. De aquí que la disregulación es responsable entre otras cosas de enfermedades metabólicas y de los procesos de cancerización. Cuando la radiación de un átomo vecino

a estos ADN, por ejemplo el Radioestroncio próximo a la molécula ósea, rompe estas últimas, puede provocar la ruptura estructural con modificación de sus propiedades biológicas.

A pesar de que el ADN cromosómico sea sometido a renovación su turn-over es muy lento, del orden de varios meses, y puede por tanto poder esperar la restauración estructural. Esta esperanza parece que no puede ser desmentida por el hecho de que el ADN nuevo es sintetizado por copia, conforme al ADN preexistente (noción de duplicación). Las consecuencias de este hecho tienen todas las posibilidades de ser acumulativas, hecho particularmente grave a nivel de los órganos sexuales, señaladamente femeninos, donde el stock en óvulos es determinado desde el nacimiento para la vida entera. Pero además existe la hipótesis todavía más pesimista según la cual varios átomos constituyentes del ADN son no isótopos naturales estables, sino radioelementos como el Tritio, Carbono-14 y sobre todo Fósforo-32. Por tanto no sólo la radiación es así absorbida al máximo por la estructura frágil del ADN, sino que además cuando es emitida cada uno de estos tres átomos es transmutado respectivamente en Helio-3, Nitrógeno-14, y Azufre-32. Resulta así una verdadera mutación química del ADN, y del gen correspondiente, capaces desde entonces de transmitir un falso mensaje muy generalmente nocivo y hasta incluso mortal.

Las radiaciones, pues, pueden provocar las llamadas mutaciones, pero asimismo algunos otros productos; este hecho, el de que otras causas diferentes de las radiaciones provoquen las mutaciones complica el problema. No se puede afirmar que una mutación determinada haya sido inducida por radiación. En contrapartida, conociendo la tasa media de mutaciones naturales dadas en la población, es fácil constatar un aumento de esta media cuando se alteran las concentraciones radiactivas tal como hemos visto.

En cuanto a la forma de actuar las radiaciones, digamos que el hombre puede ser directamente expuesto a radiaciones emitidas por una fuente exterior: es la irradiación externa. Puede ser contaminado también por una fuente que él transporta consigo mismo; en ese caso la contaminación puede ser externa por contacto con la piel o interna por penetración de radioelementos en el organismo, por inhalación, ingestión, o introducción a través de la piel. Los radioelementos pueden, siguiendo su naturaleza química, repartirse de manera poco más o menos homogénea en todo el organismo, o concentrarse de manera selectiva en uno o varios órganos.

La cantidad de radioelementos presente en un órgano depende de varios factores, en particular del poder de asimilación del órgano y de su rapidez de eliminación frente al cuerpo considerado.

En cuanto a las medidas de protección contra las radiaciones nucleares existen tres métodos eficaces para protegerse de las mismas, que son:

- a) El tiempo, que interviene de dos maneras:
 - 1) en la limitación de la duración de la exposición

- 2) en el almacenamiento de los elementos de vida corta o media para esperar su decrecimiento radiactivo.
- b) La distancia, pues la dosis recibida varía en función del inverso del cuadrado de las distancias a la fuente (por ejemplo, un Rem a cinco metros no es más que una centésima de Rem a 50 metros).
- c) Las pantallas, una pantalla absorbe tanto mejor las radiaciones cuanto más espesa sea. Contra las radiaciones más penetrantes se utiliza el plomo y el hormigón.

2.2. INCORPORACION DE LA RADIOACTIVIDAD A LOS CICLOS BIOLÓGICOS

Los radioelementos extendidos en un medio pueden llegar al cuerpo humano a través del aire, el agua, los alimentos.

En este sentido una diferencia esencial debe hacerse entre riesgos presentado por la irradiación externa y por la irradiación interna de un radioelemento dado. Mientras los emisores Alfa y Beta son poco peligrosos en irradiación externa, ya que las partículas son detenidas por débiles espesores de materia, devienen sin embargo peligrosos en irradiación interna; dado que según la propiedad señalada, liberan toda su energía ionizante en un pequeño volumen de materia viviente. Hay que señalar que la mayor parte de los radioelementos artificiales son emisores Beta, lo que subraya la gravedad de la contaminación interna. Existen fórmulas que permiten calcular la irradiación resultante para una cantidad dada de un radioelemento de radiación y energía conocidos, para que por comparación con las dosis admitidas pueda extraerse la cantidad máxima admisible de contaminante.

El conocimiento del período del radioelemento ingerido permite igualmente calcular la dosis integrada sobre un número de año dado; pero como antes hemos visto, al lado de este período puramente físico, existe otro llamado biológico, que cifra la duración de la estancia del contaminante en el organismo asimilador. La dosis efectiva de radiación está evidentemente en función de los dos períodos.

Los átomos y moléculas de nuestro cuerpo no permanecen en él, en efecto, eternamente fijados, sino que son renovados (Turn-Over), según una ley de decrecimiento sensiblemente exponencial.

Los períodos biológicos pueden ser muy diferentes de los períodos físicos, según el papel fisiológico del elemento considerado y la molécula en la cual se ve comprometido. El Tritio y el Carbono que pertenecen a metabolitos esenciales, son rápidamente renovados.

El Estroncio lo es más lentamente; en cuanto al Plutonio es prácticamente no eliminable a escala de la vida humana. La propiedad puede parecer ventajosa y lo es efectivamente para la descontaminación de un organismo; pero conviene señalar que si el Tritio abandona rápidamente el cuerpo en el cual ha penetrado, vuelve a él de nuevo tan rápidamente de forma que el nivel de producción crónica es finalmente poco afectado por el fenómeno.

Las consideraciones precedentes han conducido, pues, a la defini-

ción y establecimiento de concentraciones admisibles de los diversos radioelementos en el medio ambiente y en la alimentación.

Pero veamos más detalladamente algunos aspectos sobre la incorporación de la radiación a los ciclos biológicos, es decir su penetración en las cadenas tróficas que tienen una vital importancia para el hombre.

Si un elemento puede penetrar en el cuerpo en el estado de iones, no se ve retenido en él más que en la medida en que presente una utilidad al menos aparente para el organismo.

Algunos de estos elementos radiactivos se incorporan al protoplasma en sustitución de los elementos normales y químicamente análogos. Trabajos recientes, particularmente en ecosistemas acuáticos, demuestran que gran parte de la incorporación de elementos radiactivos y tal vez de forma estable también, no se realiza por vía metabólica, sino por procesos físicos y químicos no biológicos.

Mientras el Krypton-85 irradia el sistema respiratorio sin permanecer en él, el Yodo se fija electivamente a nivel de la hormona tiroidea. Otros son absorbidos físicamente por la superficie de los tejidos, como el Zinc-65.

El Cesio-137, homólogo del Sodio y del Potasio se localiza sobre todo en la sangre y en los músculos, mientras que el Estroncio-90, que como sabemos mimetiza al Calcio por sus propiedades químicas se concentra preferentemente en los huesos. En cuanto al Tritio, en razón de la ubicuidad bioquímica del Hidrógeno del agua, se encontrará en todo el cuerpo, pero conviene no olvidar que en razón del mecanismo de la fotosíntesis será integrado en los azúcares de los vegetales. Carbono-14 y Fósforo-32 plantean sensiblemente los mismos problemas que el Tritio; en efecto, el Fósforo se encuentra en moléculas biológicas tan importantes como los ácidos nucleicos y diversos catalizadores.

Al lado de estos elementos mayores de la nutrición, conviene recordar igualmente los oligoelementos, que en el estado de iones son tan esenciales para la vida en razón de su papel de coenzimas y de copigmentos.

En la ola de alimentos que le son ancestralmente conocidos y útiles, el organismo asimilador aceptará tanto los isótopos radiactivos como los productos naturales estables.

Un ejemplo más detallado está extraído del caso del Radiofósforo presente en el río Columbia cercano al reactor de Hanford en USA. Los radioelementos (Sr-90 ó I-131) van al vegetal, de éste pueden ir al hombre o a la vaca, y a través de la carne y de la leche, van a su vez al hombre.

Otro tipo de ejemplo son los radioelementos (Sr-90 ó P-32) que van al fitoplancton y de ahí a los peces y a los herbívoros, pudiendo también ir al zooplancton y de aquí a los peces y a los herbívoros y de éstos a otros peces y a carnívoros, y de aquí al hombre.

Si los vegetales se nutren literalmente del agua y del aire, no pasa lo mismo con los animales que pueden ser clasificados en dos categorías nutritivas: herbívoros y carnívoros. Esta secuencia de tres estadios es la más simple, pero un mismo consumidor omnívoro, el hombre por ejemplo, puede permanecer en varios niveles.

De una manera general, las investigaciones ecológicas han demostrado que la transferencia de energía de un estadio al otro se hace con un rendimiento medio del 10%. La cadena alimenticia transportará, pues, al organismo consumidor todos los radioelementos resultantes y presentes en una superficie del orden de varias hectáreas. La situación es además idéntica para los pesticidas organoclorados no biodregadables y solubles en las grasas; y se ha podido hablar en este sentido del efecto boomerang de las producciones químicas sobre la especie humana, debido al doble juego de la concentración alimentaria y de la fijación fisiológica.

Hay un fenómeno, conocido desde hace tiempo, que viene a agravar particularmente el problema: es la concentración biológica de los cuerpos radiactivos a lo largo de las cadenas alimentarias.

Como es sabido, los animales acuáticos son capaces de concentrar algunas sustancias muy diluidas en el medio que los baña. Algunos moluscos concentran el Cobre 4.300 veces más que el medio, y 6.900 el Flúor; ciertos crustáceos (copepodos) 13.000 veces la Sílice y determinados peces 2.500.000 de veces el Fósforo disuelto en el agua del mar.

Lo mismo ocurre con los cuerpos radiactivos, en especial con los elementos raros, normalmente presentes en la naturaleza en cantidades infinitesimales. Tal es el caso, entre otros, del Estroncio-90, producto exclusivo de las fisiones nucleares artificiales; su vida media de 27,7 años es suficiente para acumularse en los seres vivos y concentrarse a lo largo de las cadenas alimentarias.

El Estroncio-90 se deposita con preferencia en las partes duras de los moluscos y crustáceos, mientras que el Zinc-65 y el Cobalto-60 lo hacen en las partes consumibles.

Los radionúclidos pasan a la materia viva ya en los organismos más simples, los cuales los concentran y los transmiten a sus depredadores en proporciones peligrosas. Al no ser metabolizados o excretados, estos elementos se concentran hasta niveles muy por encima de los detectados en la superficie del suelo.

Según parece, los vegetales no escapan a esta regla de concentración biológica; Foulquier y Grauby de la CEA han señalado recientemente que los esfagnos pueden retener al 78% de la radiactividad ambiental.

CONCENTRACION EN EL AGUA DULCE

En el río Clinch, al que van a parar los desechos del reactor de Oak Ridge, el placton es 10.000 veces más radiactivo que el agua en que vive.

El Fitoplantcon tiende también a concentrar los productos de activación tales como Zinc-65, Cobalto-57, Hierro-55, Manganeso-54, aún en mayor grado que los productos de fisión.

Los peces del río Columbia contienen por ejemplo 140 veces más Zinc-65 y 2.200 veces más de Cesio que el agua del río.

Algunos moluscos bivalvos de agua dulce concentran 100 veces más el Yodo radiactivo.

Los Uniónidos (mejillones de agua dulce) se han revelado como ávidos de Estroncio-90.

Se han observado que Gasterópodos de agua dulce (*Limnaea stagna-*

lis) habían absorbido en aguas contaminadas por 0,04 curies de Ra-226 por centímetro cúbico y en el espacio de 7 días, más del 90% del isótopo.

Ciertos peces de agua dulce situados en los últimos eslabones de las cadenas tróficas son de 20.000 a 30.000 veces más radiactivos que el agua que los rodea.

En un lago canadiense contaminado por Estroncio-90, los huesos de las percas y las ratas almizcleras contenían de 3.000 y 3.500 veces más de radioelementos que el agua del biotopo.

Fenómenos de concentración de este tipo, sobre todo por lo que respecta al Fósforo se observan también a lo largo de las cadenas tróficas ocupadas en su extremo por las aves acuáticas. En el río Columbia (reactor Hanford) la concentración de Fósforo-32, isótopo de este elemento, pasó de 1 en el agua a 35 en los invertebrados acuáticos (crustáceos, insectos), a 7.500 en los patos y a 200.000 en los huevos de estos últimos (la yema, muy rica en Fósforo contiene 2 millones de veces lo que el agua del río).

Ver tabla 1 en la que se muestran los factores de concentración estimados para varios radionúclidos en los organismos acuáticos, extraída a partir de estudios de campo realizados en el río Columbia (reactor Hanford) y el White Oak Lake (reactor Oak Ridge).

— TABLA 1 —

FACTORES DE CONCENTRACION ESTIMADOS EN ORGANISMOS ACUATICOS
(Columbia River)

ISOTOPO	FITOPLANCTON	ALGAS FILAMENT.	LARVAS INSECTOS	PECES
Na ²⁴	500	500	100	100
Cu ⁶⁴	2.000	500	500	50
Tierras raras	1.000	500	200	100
Fe ⁵⁹	200.000	100.000	100.300	10.000
P ³²	200.000	100.000	100.300	100.300
Sr ⁹⁰ - Y ⁹⁰	75.000	500.000	100.000	20-30.000

EISENBUD 1963

CONCENTRACION EN EL MAR

En el medio marino este fenómeno de la concentración biológica puede apreciarse con toda claridad. En diversas plantas acuáticas se han observado también concentraciones importantes. Medidas realizadas en Plymouth (Inglaterra) han demostrado que las algas marinas concentran de 20 (*Ascophyllum nodosum*) a 40 veces (*Fucus serratus*) el Estroncio-90 del agua del mar.

Los Acartarios del medio marino, como los Unionidos de agua dulce, son ávidos de Estroncio-90, hasta el punto de servir de detectores de contaminantes radiactivos.

Lo mismo ocurre con los peces marinos; estos además con sus migraciones son capaces de dispersar ampliamente los materiales radiactivos.

Los Euphaisíidos de las costas de Oregón tenían acumulado 1.540 veces más de Cobalto-60, 4.800 veces más de Zinc-65 y 5.500 veces más de Manganeso-54, que lo que contenía el océano.

El 88% de la radiactividad encontrada en el atún, cerca de las islas Marshall era debido a Zinc-65 con Hierro-55.

Es muy probable que también los procelariformes (albatros, petreles, pardelas) sean, en ocasiones, muy sensibles a las contaminaciones del mar por los desperdicios radiactivos. Estas aves en efecto, son esencialmente planctófagas y hemos visto ya que el plancton es capaz de concentrar de forma masiva diversos cuerpos radiactivos.

CONCENTRACION EN TIERRA

Aunque las cadenas tróficas terrestres sean menos sensibles que las acuáticas, también en ellas se observaron concentraciones de este tipo. Tal es el caso de los isótopos del Yodo, cuyo período de semidesintegración los hace por fortuna poco peligrosos. La contaminación de los pastos frecuentados por las vacas lecheras puede acarrear, así, importantes trastornos: concretamente en la leche, da lugar a concentraciones importantes de cuerpos radiactivos, especialmente de Estroncio-90, representando una seria amenaza para la población humana.

Una parte de cuerpos radiactivos que cae sobre el suelo es absorbida por las raíces de las plantas forrajeras; otra, se deposita sobre las propias plantas y es ingerida directamente por los herbívoros. En Laponia, por ejemplo, los esquimales han sufrido fuertes dosis de radiación de origen alimentario. Se alimentan de carne de reno, el cual a su vez se alimenta de los líquenes *Cladonia* y *Cetraria*. El líquen concentra los radioisótopos biológica y físicamente y los transmite a su vez al reno. Al estudiar la presencia de Cesio-137 en la secuencia líquen-caribú-esquimal, se comprobó que este último tiene doble concentración que el caribú, y que los lobos y el caribú contienen tres veces la concentración del líquen (según J. M. Miettinen, Universidad de Helsinki).

Conscientes de todos estos peligros se han establecido para los diversos núclidos las concentraciones máximas admisibles de importancia variable en el agua y en el aire. (M. P. C.)

« Las colaboraciones internacionales para la elaboración de normas sobre protección radiológica datan del año 1928 en que se constituyó la Comisión Internacional de Protección contra los Rayos X y el Radio, y posteriormente, con el desarrollo de la energía nuclear, se creó en 1950 la Comisión Internacional de Protección Radiológica (I.C.R.P.) que tiene por misión formular principios sobre protección radiológica y proponer a otros organismos nacionales e internacionales normas para cumplir sus recomendaciones. A escala nacional la actual legislación en vigor, data del 28 de

diciembre de 1959 (B. O. del E. número 310/59 y número 28/60). Posteriormente se han elaborado por la O.C.D.E. (Organización Europea de Colaboración y Desarrollo Económicos] y por la E.N.E.A. (Agencia Europea de Energía Nuclear) unas Normas Básicas para la Protección contra las Radiaciones. que vienen a regular las recomendaciones dadas por el I.C.R.P.»

(Energía Nuclear, n.º 87, Tomo 19. Enero-Febrero de 1974, pág. 8).

Siendo posible que se produzca un enriquecimiento de la radiactividad en los organismos acuáticos y en los peces en particular, dicha primera ordenanza habilita a las autoridades competentes a reducir cuando sea preciso los valores de contracción máxima admisible.

En la tabla 2 se expone la importancia potencial de los radionúclidos como efluentes líquidos, juntamente con su vida media y la concentración empleada por 1.000 megawattios en la capacidad de PWR (reactor de agua a presión). Las concentraciones máximas aceptadas en el presente en las partículas en el agua (MPC) son expuestas para que sirvan de comparación. Excepto para el Tritio (H-3) todos los isótopos expuestos están por debajo del MPC en al menos 6 órdenes de magnitud (para el Cesio-134) y en muchos casos en más de 8 (ver tabla 2).

— TABLA 2 —

ISOTOPO	VIDA MEDIA	CONCENTRACION	
		DE DESCARGA	MPC
		$\mu\text{c}/\text{cm}^3$	$\mu\text{c}/\text{cm}^3$
H ³	123 AÑOS	$3,8 \times 10^{-6}$	$3,8 \times 10^{-3}$
Mn ⁵⁴	300 DIAS	$0,8 \times 10^{-15}$	8×10^{-4}
Co ⁵⁸	71 DIAS	$2,4 \times 10^{-14}$	4×10^{-4}
Co ⁶⁰	5,2 DIAS	$2,9 \times 10^{-15}$	1×10^{-4}
Sr ⁸⁹	50,5 DIAS	$9,8 \times 10^{-15}$	7×10^{-5}
Sr ⁹⁰	27,7 AÑOS	$3,0 \times 10^{-16}$	4×10^{-7}
Y ⁹⁰	64,8 HORAS	$3,4 \times 10^{-16}$	3,0
Y ⁹¹	57,5 DIAS	$1,7 \times 10^{-14}$	0,2
Mo ⁹⁹	67 HORAS	$0,7 \times 10^{-11}$	8×10^{-4}
I ¹³¹	81 DIAS	$0,6 \times 10^{-11}$	2×10^{-4}
Cs ¹³⁴	2,3 AÑOS	$2,1 \times 10^{-14}$	9×10^{-6}
Te ¹³²	78 HORAS	$0,1 \times 10^{-12}$	5×10^{-4}
I ¹³³	20,5 HORAS	$0,7 \times 10^{-11}$	9×10^{-4}
Cs ¹³⁶	13 DIAS	$0,9 \times 10^{-14}$	9×10^{-5}
Cs ¹³⁷	27 AÑOS	$3,4 \times 10^{-12}$	2×10^{-5}
Ba ¹⁴⁰	12,8 DIAS	23×10^{-15}	5×10^{-4}
La ¹⁴⁰	40,5 DIAS	$2,1 \times 10^{-15}$	2,0
Ce ¹⁴⁴	290 DIAS	$0,8 \times 10^{-14}$	3×10^2

(WRIGHT 1970)

Para el conjunto de la población la concentración máxima admisible para los productos de fisión no identificados en el agua potable, es de 10^{-7} μ curies/ml. La cifra aumenta diez veces si el agua en cuestión no contiene Ra-226 y Ra-228. Si no hay presencia de I-129, Sr-90 y de otros emisores de rayos alfa con larga vida media, el valor límite de radiactividad puede establecerse en 3×10^{-5} μ curies/ml.

Para los rayos X o radiaciones gamma se consideran como dosis mortales las siguientes:

Microorganismos	300.000	roentgens
Insectos	150.000	»
Mamíferos	100 a 1.000	»
Hombre	500	»

Los vegetales se caracterizan por una sensibilidad muchísimo menor.

3. ENERGIA NUCLEAR

3.1. GENERALIDADES Y FUENTES DE ENERGIA

Después de estas observaciones sobre algunos principios físicos para explicar el fenómeno de la radiación y sus efectos, tratando de hacer hincapié sobre su incidencia en los ciclos biológicos, pasemos a estudiar el aspecto referente a la energía, y más concretamente a la energía nuclear.

El mundo moderno, como es sabido, tiene sed de energía bajo las formas más diversas: y sobre todo tiene necesidad de electricidad.

Las tasas de crecimiento de consumo eléctrico aumentan, crecen constantemente, y en los países industrializados este ritmo de crecimiento de la energía eléctrica es aproximadamente de un 7 a un 8% por año. De forma que se constata la tendencia a la duplicación cada diez años.

El favor que conoce la electricidad se explica por las cualidades intrínsecas de esta forma de energía, muy flexible en su empleo, y que presenta tanto aplicaciones técnicas como utilizaciones mecánicas o químicas. Susceptible de ser producida en cantidades masivas y transportada sobre varios centenares de Kms., la electricidad puede ser obtenida en todo momento sin necesitar de estocaje, con una muy grande regularidad en su coste, llegando directamente a los lugares necesarios por la sencilla maniobra de un conmutador. Tiene un rendimiento de utilización vecino de la unidad y no engendra ninguna mengua.

Pero aparte de sus cualidades, el aumento del consumo eléctrico resultante de la explosión demográfica, utilización de los consumidores y de la expansión industrial, la diferencia entre la tasa de progresión de la electricidad y la de la energía en general no se explica más que por un recurso muy manifiesto y muy constante hacia esta forma privilegiada de energía.

Pero la electricidad necesita de unas fuentes de energía que han ido variando y que van variando a lo largo de los años sobre todo en los países industrializados.

Las principales fuentes de energía clásicas conocidas son la utilización de los fósiles naturales como el carbón, el gas natural, el petróleo, etc., la energía hidráulica, y más recientemente la energía nuclear.

¿Pero cuál es la situación de los recursos de energía que hasta ahora han sido utilizados en el mundo?

En lo que concierne al petróleo las reservas actualmente conocidas se elevan a 350 millones de Tm. y se calcula que al ritmo actual, al final de siglo más o menos estas previsiones de petróleo que se conocen hoy en el mundo serán consumidas. Es posible, de todas formas, y día a día ob-

servamos la evolución en este sentido, que de aquí a final de siglo vayan descubriéndose nuevas reservas a lo largo y a lo ancho del mundo que aseguren todavía el suministro de esta materia prima tan importante para la creación de la energía.

En cuanto al gas natural la situación es más o menos análoga a la del petróleo. Se calcula que las reservas conocidas serán agotadas hacia fin de siglo.

En lo que concierne al carbón, en el año 2.000 no se habrá consumido más que el 2% de las reservas mundiales y quedará carbón para unos 1.750 años. Es lo que hace afirmar a Alvin Weinberg, antiguo director del laboratorio atómico de Oak Ridge, que el carbón quedará después del año 2.000 como el único combustible fósil disponible.

Es en este marco, por tanto, y dentro de las sociedades industriales modernas donde surge y se desarrollan las aplicaciones de la energía nuclear. Veamos cómo:

En 1905, Einstein introducía el principio de la equivalencia entre la masa y la energía, y daba entrada así a la energía nuclear producida, sea por fisión de los átomos pesados o por fusión de átomos ligeros. Esta nueva forma de energía ponía a disposición del hombre el arma atómica que utilizó cuarenta años más tarde y que hoy no se atreve a hacerlo por miedo a la autodestrucción, pero que busca domesticar impulsado por sus necesidades energéticas crecientes. Paradójicamente encuentra más dificultades para ello que para su uso destructivo.

Por otra parte la opinión pública mundial, y sobre todo de los países industrializados, va tomando conciencia de los problemas que plantea la energía nuclear y los efectos que puede ocasionar en las sociedades en que se halla instalada, y todo esto va haciendo que los investigadores, concretamente los físicos, vayan tratando de buscar nuevas fuentes energéticas menos polucionantes, más seguras, y que produzcan la energía suficiente que la humanidad necesita, de forma más duradera.

Entre ellas se encuentra el sistema magnetohidrodinámico (M.H.D) que implica esencialmente la aceleración a través de un campo magnético muy intenso de gas transportado a altas temperaturas tal como el que es producido por la combustión del carbón, del fuel-oil o del gas natural.

La propulsión de gases caliente a través de un campo magnético produce electricidad de una manera que recuerda el principio de Faraday, según el cual el desplazamiento de un conductor eléctrico a través de un tal campo produce una corriente eléctrica.

Según el Dr. Kantrowitz, director del Laboratorio de Investigaciones Avco-Everett y vicepresidente de la Compañía Avco, por el procedimiento M.H.D., más del 50% del combustible necesario para producir un Kilo-watio de electricidad puede ser economizado en relación a las centrales ordinarias que consumen combustibles tradicionales.

Es también muy importante subrayar que el procedimiento M.H.D. es susceptible, dice, de suprimir prácticamente de una manera económica todos los productos deletéreos que contribuyen a la polución del aire, y permite transformar éstos en ácido sulfúrico o nítrico.

Otra vía de investigaciones que puede prometer satisfacción energética es la llamada de pilas con combustibles.

Otra sería la energía eoliana, en otro tiempo muy utilizada, así como la energía hidráulica, ya muy largamente explotada.

Mencionemos simplemente también la energía geotérmica, vapor de agua caliente proveniente de las capas profundas subterráneas.

La energía de las mareas no parece económicamente explotable más que en condiciones geológicas y geográficas excepcionales.

Se estudia también la explotación de la diferencia de temperatura que se encuentra en ciertos puntos de los océanos, entre las capas profundas que son frías y las capas superficiales mucho más calientes.

En los países calientes, a menudo desérticos, la explotación de la energía solar puede ser una gran fuente de energía.

Hoy en día se está convirtiendo en uno de los objetivos de investigación de científicos de todo el mundo para asegurar nuevas fuentes energéticas.

Un grupo de trabajo comprendiendo expertos de diez países se reunió en la UNESCO, en París, del 27 al 29 de junio de 1973, a fin de dar directrices a la Unesco sobre un programa de energía solar.

Diferentes países presentaron sus realizaciones hasta el momento. Por ejemplo, en Israel o en Níger los trabajos en curso se referían a realizaciones de pequeña y media importancia, aparatos domésticos, pequeñas industrias, calefacción, generadores, bombas, etc. Mientras que los técnicos rusos hicieron alusión a la posibilidad de crear centrales solares de energía, grandes, medias y pequeñas.

Se subrayó que a pesar de la ausencia de sol en buena parte del año, la URSS posee ya un cierto número de centrales solares y de centros de estudios.

En Australia hay un programa que se encuentra en la actualidad en estudio. En USA los créditos oficiales para la investigación en este sentido han sido considerablemente aumentados, y las industrias privadas comienzan a invertir sobre el plan de calefacción y climatización de edificios.

Otros países, en fin; también están realizando investigaciones en este sentido como el Canadá, India, Chile, Francia, etc.

No es pues casualidad que Hannés Alfvén, Premio Nobel de Física en 1970, en la memoria dirigida al senador M. Gragell, de Alaska, en abril de 1970 dijera:

« Los carburantes fósiles no podrán satisfacer la demanda creciente en energía del mundo. No hay más que tres fuentes de energía conocidas suficientemente potentes: la energía solar, la energía de fusión y la energía de fisión. La primera está libre de toda polución y la segunda casi sin polución, la tercera está necesariamente asociada a la producción de enormes cantidades de elementos radiactivos peligrosos. A mi juicio los peligros asociados a la energía de fisión no han sido suficientemente estudiados con aten-

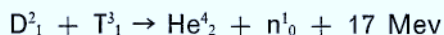
ción. Se puede discutir el hecho de que la polución causada por los reactores de fisión en funcionamiento normal esté o no por debajo de un nivel de seguridad, pero si un reactor se embala, las consecuencias pueden ser terribles; aún tomando las medidas de seguridad extremas, la enorme cantidad de materiales radiactivos que contiene constituye un peligro permanente. Por ejemplo, en períodos de inestabilidad política o social el ataque o el sabotaje de reactores puede provocar catástrofes. Además en un programa energético basado sobre la fisión, la enorme cantidad de desechos radiactivos devendrá pronto tal que es posible un envenenamiento total de nuestro planeta..

Como vemos, Alfvén, además de hablar de los peligros que, en su opinión, la energía basada en la fisión del átomo acarrea, afirma que a su juicio no hay más que tres fuentes energéticas suficientemente potentes y entre ellas subraya la energía solar.

También habla, como hemos visto, de la energía de fusión (la llamada energía H). Basta hacer fusionar dos núcleos de Hidrógeno pesado en un núcleo de Helio, para recoger o al menos para liberar una energía equivalente a 17 millones de electrón-voltios.

La fusión se presenta, pues, como la respuesta definitiva a los problemas de aprovisionamiento energético.

Una reacción, una sola reacción, y la humanidad entra con respecto a la energía en la era de la abundancia. La reacción nuclear del Deuterio y del Tritio da lugar a la formación de Helio, con la emisión de un neutrón y el desprendimiento de 17 Megaelectrón-voltios.



Si se sacan las consecuencias de esta reacción se constata que será posible alimentar una central de fusión de 1.000 megawatios eléctricos, es decir el equivalente de las mayores centrales en construcción en la era actual, alimentándola cada día con la cantidad de Deuterio contenida en 5 m.³ de agua de mar, siendo el Tritio regenerado in situ, en el reactor, sometiendo al Litio a la radiación de los neutrones producidos en la reacción. Desgraciadamente esta reacción no alcanza un millar de grados como los combustibles ordinarios, sino millones de grados.

Por eso, así es como en veinte años el reactor de fisión ha llegado a resultar económicamente rentable, entrando en concurrencia la energía nuclear con la energía química producida por la combustión del petróleo o del carbón. En contrapartida, después de veinticinco años de investigaciones no se hace más que entrever la estructura de un reactor de fusión, previendo su realización hacia el año 2.000.

En el mundo entero, pues, en el mundo industrializado sobre todo, varios cientos de investigadores, de científicos, esperan domesticar la energía termonuclear y aportar así una solución definitiva al problema de la energía.

De todas formas, en el momento actual de las investigaciones físicas, la fisión del átomo utilizada como fuente de energía para cubrir las necesidades energéticas que la humanidad va teniendo, se presenta como capaz de ir resolviendo e ir satisfaciendo dichas necesidades; aunque no se debe de considerar como la solución definitiva, evidentemente.

Es sabido que hay físicos eminentes que consideran que la energía nuclear aparece como una necesidad ineluctable.

Así y todo, la energía nuclear es un tema sometido a debate en los cuatro confines del universo, y podemos decir que como toda industria nueva presenta en sus primeros años dificultades de puesta en marcha. Las centrales nucleares han conocido estos primeros años grandes dificultades, pero parece que actualmente, algunos de estos tipos de centrales nucleares al menos, se encuentran a punto y han llegado a disponibilidades equivalentes a las de las centrales térmicas.

Si el precio de construcción de las centrales nucleares permanece todavía superior al de las centrales clásicas, el costo en combustible es por el contrario menor.

Pensemos que una tonelada de combustible nuclear, para reactores de agua ordinaria corresponde a 80.000 toneladas de carbón de buena calidad.

Según parece la economía realizada sobre el combustible nuclear a lo largo de la vida de la central compensa el coste de construcción más elevado y permite obtener en las centrales nucleares un precio de producción de kilovatios/hora competitivo con el precio obtenido en las centrales térmicas consumidoras de combustibles fósiles.

El aprovechamiento de materias primas es la condición inicial del establecimiento y desarrollo de toda nueva industria.

Así, un capítulo importante en el desarrollo de la energía nuclear es el constituido por la búsqueda de estos metales y materiales nuevos que se llaman Uranio y Plutonio. Si el aprovisionamiento de Uranio tuvo origen militar, la existencia y el desarrollo de las centrales nucleares ha creado la verdadera industria minera extractiva del mismo, que ha conocido horas de prosperidad, años trágicos de una grave crisis mundial, y se encuentra ahora de nuevo en una fase de esplendor en cuanto a su explotación. Como ejemplo demostrativo de este proceso tenemos el caso de la revitalización del pueblo canadiense de Elliot Lake, que se autodenomina en la actualidad capital mundial del Uranio.

Un estudio de 1969, de la OCDE, estima que la capacidad mundial de producción de las centrales nucleares llegará a ser alrededor de los 300.000 MWE en 1980. Este aumento de potencias instaladas se traducirá en un crecimiento rápido correspondiente de la demanda de Uranio, como es lógico.

Dicho estudio indica la demanda anual hasta 1980 y sienta la hipótesis que la demanda hacia 1980 será entre 56.000 y 82.000 Tm. Hace falta señalar, sin embargo, que las revelaciones más recientes tienden a aminsonar estas cifras en razón señaladamente de las mejoras conseguidas en los reactores y del efecto del reciclaje del Plutonio.

Después de 1980 y según el papel que tomen los sobregeneradores, las previsiones variarán grandemente, ya que estos sobregeneradores necesitan una inversión inicial en Uranio y, sobre todo, en Plutonio y luego no necesitan más que un consumo muy débil de Uranio.

Se puede pensar, pues, que el efecto de penetración de las centrales nucleares tipo sobregenerador, constituirá en su época la estabilización de las necesidades en Uranio.

En cuanto a las capacidades de producción y las reservas de Uranio en el mundo, fuera de Africa del Sur, donde el Uranio es un subproducto del oro, las regiones uraníferas actualmente conocidas son: Colorado, en USA; el ya citado Elliot Lake, Río Algom Mine y Blind River, en Canadá; la cadena hertziana en Europa, etc. Como vemos son yacimientos muy limitados y que en ningún modo hacen suponer que hayan sido agotadas las reservas de este metal. En efecto, se supone que existen cantidades importantes del mismo en otros territorios de América del Norte no explotados todavía, en Africa, en Asia, etc.

Por otra parte, es sabido que entre la extracción del Uranio de la fábrica y su tratamiento y su carga en el reactor existen un período y fases intermedias que hace falta realizar en el óxido de Uranio, extraído de las minas, para su posterior utilización conveniente en las centrales energéticas nucleares. Hace falta refinar el Uranio a partir del concentrado, refinación que comporta tres fases esenciales que son: la purificación que conduce al trióxido de Uranio UO_3 , la preparación del fluoruro que comporta esencialmente una reducción en dióxido UO_2 , más una fluoración en tetrafluoruro UF_4 y por fin, la preparación del metal, por magnetotermia, sea el hexafluoruro o el óxido.

Por otra parte, hace falta realizar el enriquecimiento del Uranio, ya que como se sabe el Uranio natural está compuesto de dos isótopos: el Uranio-238 en una proporción de 99,3%, y el Uranio-235 en la proporción de 0,7%.

Este último es el único que es capaz de realizar la fisión del átomo.

El enriquecimiento del Uranio consiste, pues, en separar los dos isótopos, de manera que se aumente la proporción de Uranio-235.

La operación de enriquecimiento constituye una parte notable del coste del ciclo del combustible de las centrales nucleares.

Entre los procedimientos posibles de enriquecimiento existen la difusión gaseosa que está ya utilizada industrialmente y la ultracentrifugación. Los dos utilizan el hexafluoruro de Uranio, UF_6 .

Y volvamos con la energía nuclear.

La producción de electricidad y la propulsión naval sobre todo militar, son los dos sectores donde se concentra hasta ahora la intervención de la energía nuclear sobre el plano industrial. Pero la lista va pronto a aumentar hasta niveles de laboratorios o de realizaciones prototipos, y es creciente el número de investigadores y economistas que están estudiando la utilización de reactores atómicos para la calefacción urbana, la producción de vapor industrial, la desalinización del agua del mar, la

fabricación de compuestos químicos, etc. Sin entrar en toda la gama de aplicaciones médicas y de investigación.

El calor del átomo, pues, tiene sus efectos, efectos que son beneficiosos para el desarrollo de las diferentes facetas de las sociedades.

3.2. CENTRALES NUCLEARES

Una central nuclear funciona teóricamente de la misma manera que una central con carbón. Únicamente se reemplaza el combustible carbón por la materia de fisión. Se utiliza en general dióxido de Uranio (UO_2) donde el Uranio es, bien el Uranio ordinario que contiene 99,3% de Uranio-238 y 0,7% de Uranio-235, bien el Uranio natural enriquecido, es decir con una proporción de 2 al 3% de Uranio-235.

La tecnología de los reactores de apariencia muy sencilla es de hecho muy difícil; basta saber que la temperatura en el corazón alcanza corrientemente 2.300° centígrados y más, teniendo en cuenta que existen muy pocos metales en cantidad industrial capaces de soportar una temperatura tan alta sin fundirse.

El óxido de Uranio es contenido en cilindros metálicos estancos, vainas, pero funde a 2.750° centígrados, y libera entonces los productos de fisión gaseosa, sucediendo que la presión en el interior de las vainas es una de las causas de su deformación y eventualmente de su ruptura, contaminando así toda el agua del reactor.

Como sabemos no ha sido encontrado todavía ningún medio de transformar directamente grandes cantidades de energía nuclear en energía noble, eléctrica por ejemplo, sin pasar por el estadio degradado de la producción de calor.

En la práctica los reactores de potencia utilizan, pues, el subproducto térmico de la reacción de fisión, que permite calentar el vapor de agua, y por el juego clásico del turboalternador producir electricidad.

La producción de vapor está pues asegurada por un conjunto de aparatos que se denomina, a veces, la caldera nuclear, y que comporta el reactor y el circuito de transmisión del calor.

Como es sabido los reactores nucleares pueden ser enfriados por aire o por agua. El reactor clásico se compone de una parte activa que se denomina el corazón y que comprende esencialmente el combustible, el moderador y el fluido transportador del calor, y de un dispositivo de reglaje y seguridad y una envoltura resistente a la presión en la cual este material es instalado.

El corazón de un reactor es comparable al horno de una caldera, es decir que asegura la producción del calor. Se compone del combustible que, ya hemos dicho antes, el más frecuentemente utilizado en las centrales nucleares es el Uranio, en sus diferentes formas.

El Uranio natural es utilizado corrientemente en forma de barras sólidas, o tubos de Uranio metálico de algunos centímetros de diámetro y de algunas decenas de centímetros de longitud.

El Uranio enriquecido es generalmente utilizado en el estado de óxido de Uranio, UO_2 , en forma de pequeños cilindros de algunos mm. de diámetro y de una quincena de mm. aproximadamente de longitud apiladas en tubos metálicos.

Para retener los productos de fisión que se forman en el combustible es indispensable rodear a éste de una vaina perfectamente estancada, que le proteja tanto de la corrosión como de la erosión del fluido transportador de calor y constituye, a veces, un soporte mecánico.

Esta vaina puede ser según los casos de magnesio, de acero inoxidable, o de aleación de Circonio.

El moderador. Para entretener más fácilmente la reacción en cadena hace falta retardar los neutrones desde su rapidez de emisión de 20.000 Km./seg. hasta una rapidez del orden de 2 Km./seg. Este es el papel del moderador.

Los moderadores más empleados son: el grafito, el agua ordinaria, el agua pesada, o algunos líquidos orgánicos.

El fluido transportador de calor. El calor liberado en el seno del combustible por la fisión nuclear y que sirve para producir el vapor, es evacuado fuera del corazón del reactor por un fluido, gas o líquido, puesto en movimiento por un aspirador o una bomba. El fluido transportador de calor debe ser suficientemente estable químicamente en presencia de reacciones nucleares, capturar el menor número posible de neutrones, tener una capacidad y una conductibilidad calóricas elevadas, no corroer ni la vaina del combustible ni los otros constituyentes del reactor.

El fluido transportador puede ser de gas carbónico, en el caso de los reactores de Uranio natural, de agua en el caso de reactores de Uranio enriquecido. De Sodio en el caso de los reactores sobregeneradores. De Helio, de agua pesada, de líquidos orgánicos, para otros tipos de reactores.

Dispositivos de reglaje y seguridad. Son dispositivos que sirven para mantener la reacción en cadena a un nivel determinado y detenerlo inmediatamente si una situación anormal se detecta. Está compuesto de barras de materiales que tienen la propiedad de capturar muy rápidamente los neutrones. Esquemáticamente se pueden distinguir dos tipos de barras de reglaje y las barras de seguridad.

El reglaje normal de la reacción en cadena se obtiene hundiendo más o menos las barras de reglaje en el corazón del reactor.

Las barras de seguridad están destinadas a detener la reacción nuclear en caso de incidentes.

Las barras de reglaje y seguridad son ordenadas por mecanismos unidos a automatismos de reglaje y alarma.

La envoltura estancada en la cual están instalados el corazón y el dispositivo de reglaje y, a veces, otros materiales como secadores de vapor o incluso los transformadores, está calculada para resistir la presión interna del fluido transportador de calor. Puede ser un cajón de hormigón pretensado de varios metros de espesor en el caso de los reactores de Uranio natural-grafito gas; puede ser una cuba metálica que puede alcanzar una quincena de centímetros de espesor revestida interiormente de acero inoxidable en el caso de reactores con agua ordinaria.

El circuito de transmisión de calor comporta los transformadores que transmiten el calor del fluido caloportador al circuito agua vapor, de tuberías y de bombas. Las tuberías de acero aseguran en circuito cerrado las relaciones entre la cuba del reactor y los transformadores de una parte, y entre los transformadores y la turbina de otra parte.

Las bombas, por fin, aseguran la circulación de los fluidos en las tuberías.

Sobre el papel existen varios centenares de tipos de reactores posibles. Pero en la práctica no hay más que cinco familias de centrales en la actualidad.

Estas son las siguientes:

- 1) tipo con agua ligera que puede ser con agua bajo presión (PWR) o agua en ebullición (BWR)
- 2) tipo grafito gas
- 3) tipo agua pesada
- 4) tipo alta temperatura
- 5) tipo de neutrones rápidos o también llamados sobregeneradores (fast-breeder).

En la práctica estos cinco grupos de reactores de potencia frecuentemente son clasificados en tres:

- 1) el grupo de los reactores que utilizan grafito gas y los de agua ligera, y que han sido experimentados ya
- 2) el grupo de los convertidores avanzados tipo agua pesada y alta temperatura, con un desarrollo industrial de una amplitud menor y que exige todavía ciertas investigaciones tecnológicas
- 3) el grupo de los sobregeneradores de neutrones rápidos, que están en estadio de modelos de prototipos, y cuya inserción sobre el mercado no podrá hacerse más que a continuación de estudios y de investigaciones importantes.

Los dos tipos de reactores más utilizados (el de agua ligera y el de grafito-gas), presentan muchos puntos en común, están en situación de construirse en serie, y producen corriente eléctrica a un precio vecino si no inferior al obtenido por las unidades con fuel-oil o con carbón.

En cuanto al quinto modelo de reactores sobregeneradores de neutrones rápidos, digamos que así como en los reactores precedentes los neutrones de fisión son retardados mediante un moderador, alternando con los cilindros de Uranio, para aumentar el rendimiento del combustible (ya que los neutrones retardados tienen más probabilidades de provocar una nueva fisión) en los sobregeneradores, no hay moderador sino un corazón de pequeña dimensión, diez veces más pequeño que el de un reactor de Uranio natural, conteniendo Uranio en forma de UO_2 o Plutonio PuO_2 enriquecidos.

Para entretener la reacción, teniendo en cuenta la densidad de este corazón, no es necesario retardar los neutrones, muy abundantes en el seno de la masa de núcleos casi todos fisibles, de ahí la expresión (reactor de neutrones rápidos» (Fast-Breeder).

Como consecuencia de este hecho los reactores adquieren dos propiedades señalables: un factor de conversión superior a 1, es decir, que ellos pueden sacar de la materia fértil el Uranio-238, por ejemplo, más productos fisibles (el Plutonio) de los que requiere para su funcionamiento.

Por otra parte esta sobregeneración supera en un porcentaje elevado, 30 ó 40% en la práctica, el Uranio-238 contenido, lo que finalmente multiplica por 30 ó 40 veces al potencial energético extraído del Uranio natural.

En segundo lugar, tiene una densidad de potencia muy elevada, 500 a 800, cerca de 1000 megawatios térmicos metro cúbico. Lo que hace que para una potencia idéntica de 600 Megaw necesitan un volumen de corazon de 6 m.³ contra 2.300 m.³ que necesita un reactor de grafito gas.

La potencia térmica liberada es muy intensa como hemos visto, y en presencia de una fuente de calor tan alta no es posible utilizar el agua para transportar el calor; se utiliza el Sodio en fusión.

Con los sobregeneradores de neutrones rápidos la sociedad moderna dispone, pues, de un útil privilegio que pueda satisfacer en excelentes condiciones económicas sus necesidades sin cesar crecientes en electricidad, y esto para un período que se piensa más allá del siglo XXI.

Pero las dificultades tecnológicas con las cuales chocan todavía hacen que la puesta en práctica y la explotación de estas máquinas sea problemática.

La resistencia mecánica de los cilindros empotrados que contienen el combustible nuclear, está sometida a una alta prueba, por la temperatura y el flujo de neutrones mucho más intenso.

En cuanto al Sodio fundido se inflama espontáneamente en el aire y debe ser remantenido en un circuito estancado. Ello supone, por otra parte, que está resuelto el problema del combustible sometido a estas condiciones físicas muy duras y del refrigerante, con su cortejo de tuberías y de bombas con unas características especiales.

En cuanto a los reactores de agua pesada, ofrecen una curiosa paradoja: han sido, por una parte, los primeros en funcionar en varios países del mundo, y sin embargo no terminan de imponerse de una manera decisiva.

Esta contradicción se explica por el hecho de que sobre el plano histórico el agua pesada sigue siendo un material caro, y objeto de producciones modestas, y sobre el plano industrial, el tipo de reactor de agua pesada no ha producido una concentración de esfuerzos comparable a la registrada para los reactores de tipo agua ligera.

El agua pesada es el mejor de los moderadores, comparado con el grafito retarda los neutrones más rápidamente y los captura menos fácilmente. En relación al agua ligera compensa un retardo menos eficaz con una probabilidad de captura mucho más débil, 600 veces más débil.

Por otra parte ofrece dos ventajas esenciales:

- 1) el agua pesada permite el empleo del Uranio natural bajo la forma de óxido UO_2 , que permite alcanzar temperaturas elevadas

de 2.500° y posee una buena resistencia a la erosión, (defecto mayor es la débil conductibilidad térmica)

- 2) asegura una economía grande del combustible. Siendo reducidas al mínimo las capturas en el moderador, un mucho mayor número de neutrones sirve para transformar el Uranio-238 en Plutonio-238 fisible, del cual una parte importante es consumido «in situ».

En cuanto al tipo antes descrito de altas temperaturas, hay que decir que está fundado en el empleo del Helio como refrigerante y un combustible, Uranio enriquecido más Torio, bajo forma de partículas dispersadas en una matriz de Grafito que asegura el doble papel de vaina y moderador. Los motivos indicados para el tipo de reactor de altas temperaturas son los siguientes:

- A CORTO PLAZO: las buenas perspectivas de competitividad en relación a los reactores de tipos ya utilizados.
- A MEDIO PLAZO: las mejoras aportadas por la utilización del ciclo directo turbina de gas, reemplazando el ciclo clásico de vapor; la diversidad de ciclos de combustibles (Plutonio y Torio), a los cuales se presta, y las nuevas posibilidades que ofrece para la utilización industrial del calor a alta temperatura, siderurgia. industria química, etc.
- A LARGO PLAZO: su desarrollo en simbiosis con los reactores rápidos refrigerados con Sodio, y su valor de contraseguro en caso de retardamiento o de dificultades importantes en la puesta a punto de éstos. Este valor de contraseguro, puede ser acrecentado por la puesta a punto de reactores rápidos de gas a alta temperatura.

Pese a las buenas perspectivas económicas, gastos de inversiones comparables a las del tipo del agua ligera, electricidad obtenida a precios competitivos, y al funcionamiento satisfactorio de algunas de las pocas centrales que existen de este tipo, la verdad es que este modelo de alta temperatura no se ha desarrollado como era de esperar.

Los reactores nucleares de tipo grafito más gas, si bien sus comienzos se realizan en USA, se puede decir que el desarrollo industrial puede ser considerado como obra de técnicos europeos y se ha utilizado sobre todo en las centrales nucleares localizadas en Europa, fundamentalmente en Gran Bretaña y en Francia.

La central nuclear de Vandellós, en Tarragona, también corresponde a este tipo. (Dependiendo de las ofertas y condiciones, es posible que sea éste el modelo de la central de Deva).

Los reactores de grafito-gas funcionan con Uranio natural. El corazón del reactor contiene barras de grafito que moderan a los neutrones. El gas carbónico sirve de refrigerante y de fluido calo-portador, circula en las canalizaciones gracias a un soplador. En un transformador, en un cambiador de calor, calienta el agua del circuito secundario; ésta se trans-

forma parcialmente en vapor, sea en el tambor a baja presión, o sea en el tambor a alta presión. Después es enviada a la turbina antes de volver a pasar por el condensador y por los recalentadores.

Veamos por fin, con algo más de detalle los reactores nucleares con agua ligera, ya que al parecer son los que quieren instalar en Deva.

Hay dos variantes, como hemos dicho antes, en los reactores que consumen Uranio enriquecido y utilizan el agua desmineralizada ligera como moderador y refrigerante; estas variantes son los reactores con agua ligera a baja presión (Pressurized Water Reactor o P.W.R.) fabricados por la casa Westinghouse, y los reactores con agua ligera en ebullición (Boiling Water Reactor o B.W.R.) fabricados por la General Electric.

Estos reactores nucleares de agua ligera, son los que más desarrollo han tenido, sobre todo, en USA y en algunos países europeos. Tienen una larga experiencia industrial.

Veamos un esquema de funcionamiento del modelo PWR. Por ejemplo el esquema de la central nuclear del estado de Michigan:

La cuba del reactor sirve de fuente de calor. El presurizador, el aumentador de tensión, mantiene el agua del circuito primario a una cierta presión, para impedir que entre en ebullición. Este agua penetra en el transformador de calor donde calienta al agua del circuito secundario antes de volver hacia el reactor. Calentada, el agua del circuito secundario, se transforma en vapor y todo sucede como en una central térmica clásica. El vapor alimenta una turbina de alta presión, luego pasa al separador de agua, al sobrecalentador, alimenta una turbina de baja presión, pasa por el condensador, luego al recalentador del agua de alimentación, antes de volver al transformador de calor.

Al parecer una de las principales ventajas de la variante P.W.R. es su compacidad, es decir su densidad de potencia específica elevada para un débil volumen. Esta cualidad da la posibilidad de poner a punto pequeñas centrales transportables en piezas desmontables por avión; o de construir motores particularmente bien adaptados a la propulsión naval.

En cuanto a la variante B.W.R. vemos que mientras que en la variante P.W.R. el agua ligera permanece en estado líquido por el hecho de su presión elevada, creada por un aumentador de presión, un presurizador, y que cede siempre sus calorías a un circuito secundario a través de un transformador de calor, en la variante B.W.R. una parte del agua se vaporiza en el corazón mismo del reactor.

Este vapor puede, entonces, directamente alimentar una turbina que arrastra un alternador.

Veamos por ejemplo el detalle del funcionamiento de la central A.E.G. Telefunken en Alemania Federal.

El agua primaria es siempre calentada en un reactor, pero al no estar aumentada la presión, una parte de este agua se transforma en vapor. La separación agua-vapor se hace en lo que los espe-

cialistas llaman tambor de vapor-presión. El calor primario alimenta directamente una turbina, mientras que el agua restante es dirigida hacia el transformador de calor. En éste el agua calienta el agua del circuito secundario; el vapor formado es enviado a la turbina de baja presión antes de volver a pasar al condensador. Luego al desmineralizador, y en fin, al recalentador del agua de alimentación.

El interés de la variante B.W.R. reside en la alimentación directa de la turbina por el vapor nuclear, y en la presión relativamente baja que reina en el corazón y en los circuitos, 70 atmósferas de media contra 140 a 150 atmósferas para las P.W.R.

Es posible igualmente proceder a un sobrecalentamiento del vapor producido, lo que acrecienta el rendimiento termodinámico de la instalación. Este sobrecalentamiento se obtiene, ya sea por quemadores de fuel-oil, o ya sea como consecuencia de un reciclaje de vapor en el corazón del reactor.

4. RIESGOS DE LAS CENTRALES NUCLEARES

Después de haber visto los principios de funcionamiento de los diferentes reactores nucleares, vamos a analizar en este capítulo los riesgos nucleares, que vamos a denominar pacíficos, para contraponer a los riesgos nucleares bélicos que se escapan completamente del análisis de este informe, además que constituyen un peligro suficientemente reconocido y que lleva precisamente al establecimiento de una serie de pactos y de coexistencias mundiales de todos conocidos.

Entre los riesgos nucleares pacíficos, es decir los riesgos producidos por la implantación de centrales nucleares que es el motivo fundamental de este informe, podemos dividirlos en dos: los riesgos accidentales, de accidentes de funcionamiento, y los riesgos que se producen en funcionamiento normal, por así decir, de estas centrales.

4.1. RIESGOS NUCLEARES ACCIDENTALES

Hay que decir que realmente son relativamente raros, dejando de lado el aspecto de «bomba» que constituyen estas centrales nucleares y que es a lo que el gran público asimila generalmente el funcionamiento de un reactor atómico. Como hemos visto en la descripción somera del reactor, existen diversos dispositivos de seguridad para bloquear la reacción de fisión o impedir que sobrepase un valor crítico fácilmente medible, referente a la elevación de temperatura o del flujo de neutrones.

Dispositivos de fluidos permiten igualmente evacuar las calorías excedentes. Una importante maquinaria electrónica asegura la regulación automática del conjunto. En el peor de los casos la explosión de un reactor (haciendo la salvedad que se trata siempre de una explosión en el sentido mecánico del término, bajo la influencia de una sobrepresión y no de una explosión nuclear) entrañaría contaminación en un radio de varios kilómetros, un perímetro de protección generalmente respetado en la implantación de las centrales.

De todas formas es inquietante en este sentido la situación de los reactores sobre los ríos o en las costas exigida por problemas de su refrigeración. En caso de explosión en efecto, consideradas las cantidades de los productos de fisión, éstos serían vehiculados por las aguas, pudiendo de este modo contaminar corrientes fluviales, lagos, zonas de pesca costera, etc.

Uno de los más graves accidentes sobrevenidos en los reactores nucleares ha sido el de Windscale, en Gran Bretaña, en 1957. El demoramiento del reactor entrañó entre otras cosas la liberación a la atmósfera de 20.000 Curies de yodo-131 (período 8.3 días). La nube radiactiva llegó hasta Dinamarca y el consumo de, leche debió ser prohibido durante varios días en un radio de varias decenas de kilómetros

Conviene de todas formas subrayar que este caso no tiene muchas posibilidades de volverse a producir. Por una parte, el reactor era un tipo particularmente primitivo donde el gas refrigerador que lamía las barras radiactivas se encontraba en relación con la atmósfera. De otra parte, el accidente fue agravado por una falta humana, la inobservación de las señales de alarma, claramente emitidas, sin embargo, por la instalación de control.

En líneas generales podemos decir que hasta la actualidad, en las centrales nucleares en funcionamiento en todo el mundo, se han producido una serie de incidentes, de averías, que sería bastante prolijo el enumerar todos. Fundamentalmente se refieren a averías en los fuelles, fugas de Sodio, modificaciones tras las fugas, ruptura de la vaina, cambios de los tubos, necesidad de instalar nuevos limitadores, nuevos materiales, fugas de agua pesada, fugas de vapor en los condensadores, revisiones generales, etc. Otro tipo de aspectos que han producido meses de paro en otras centrales, son: desmontaje, control del combustible, revisión de tubos, modificación de mecanismos, inspección, control de tuberías, revestimiento de la piscina, mecanismos de barras de control, carga parcial, reparaciones y modificaciones por vibraciones en el interior del reactor, degradación del grafito de protección después de las pruebas de temperatura, recambios, daños en el aparato de carga, fusión de elementos combustibles, rupturas por corrosión fisurante en el sobrecalentador del cambiador, meses de paro por el mantenimiento y control de la máquina, polimerización del líquido orgánico, inspección del tubo alternador, avería en turbina, modificación en circuitos, depósito de sales en el reactor provenientes de la erosión de los cambiadores, depósitos de corrosión en la base, de cargas parciales, etc.

De todas formas, como se ve en esta lista, los motivos fundamentales de paro en las centrales nucleares en todo el mundo, que oscila entre uno y diez, quince, veinte meses, fundamentalmente se deben a controles, modificaciones, cargas, averías pequeñas, revestimientos, necesidades rutinarias de control, etc.

Así podemos afirmar que la industria nuclear es, sin duda, una de las que puede enorgullecerse de tener una pequeña tasa de accidentes graves o mortales inmediatos. Estamos refiriéndonos a los inmediatos sin considerar las posibilidades de males de carácter estadístico insidioso o diferido. Efectivamente, en un cuarto de siglo aproximadamente de funcionamiento de las centrales nucleares en el mundo, según la documentación disponible y dejando aparte los casos referidos al apartado militar, han sido señalados menos de diez muertos entre los trabajadores de esta industria

Esto no nos debe hacer olvidar, de todas formas, que son muy numerosos, como hemos visto, los paros mecánicos que afectan a los reactores nucleares, señaladamente en razón de las modificaciones de las propiedades de los metales y otros materiales bajo la acción de las radiaciones. Estas reparaciones reclaman largos períodos de paro en particular para dejar refrescar, refrigerar el reactor, y permitir poder acceder a él.

La duración de las intervenciones es entonces calculada en función de las dosis legales de radiación bajo control dosimétrico constante.

En resumen, no parece que la probabilidad de accidente que pueda herir a un reactor de concepción moderna, conducido por un personal especializado, pueda actualmente provocar grandes inquietudes. Sin embargo, es presumible que el peligro pueda aumentar en el futuro, a medida que crezcan el número de reactores, su potencia y su complejidad tecnológica, Uranio enriquecido, Plutonio, Sodio fundido, etc. De todas formas también es de esperar que el desarrollo tecnológico sea tal que haga disminuir los riesgos así como aumentar la capacidad para resolver los problemas que puedan presentarse.

4.2. RIESGOS EN FUNCIONAMIENTOS NORMAL

Y volvemos al segundo capítulo, al capítulo de riesgos en funcionamiento normal que consideramos más importantes, no solamente en razón de su carácter permanente y acumulativo, sino también desde su aspecto podríamos decir de «discreción», pudiendo contrariamente al caso precedente provocar los daños a largo plazo, tanto para los técnicos como para el público en general. Vamos a dividirlos en riesgos de contaminación térmica y riesgos radiactivos.

4.2.1. Contaminación térmica. Generalidades.

Los esquemas presentados muestran que el agua de refrigeración del circuito secundario tiene por función condensar el vapor de agua que sale de la turbina, o como dicen los físicos, constituir la fuente fría del sistema termodinámico.

Resulta en la práctica que, es interesante refrigerar la máquina para evacuar las calorías no transformadas en trabajo, a una temperatura tan baja como sea posible. A pesar de ser el agua el único fluido utilizable en la práctica, su temperatura de ebullición de 100° centígrados, representa un límite contra el cual chocan todas las centrales térmicas convencionales o nucleares. Este hecho nos conduce a la explicación de por qué los reactores se implantan junto a los ríos o en los grandes lagos o junto al mar.

Por otra parte, resulta que es interesante utilizar el vapor de agua transportado a temperatura tan elevada como sea posible, y es en esto en lo que peacan, al menos por el momento, las centrales nucleares. Mientras que la combustión de fuel-oil permite obtener muy altas temperaturas de producción de vapor a alta presión y buen rendimiento de los tubos alternadores, es en efecto difícil sobrepasar con el agua las temperaturas del orden de 350° a 400°.

Las consecuencias de este hecho son las siguientes: mientras que las centrales convencionales modernas alcanzan un rendimiento de cerca del 45%, las centrales nucleares pueden pretender alcanzar un rendi-

miento del 30% en el mejor de los casos. A decir verdad tendría poca importancia para el medio ambiente si se limitara a esto el problema, porque se trataría únicamente de una cuestión económica basada en los precios comparados de los combustibles, fuel-oil, carbón, uranio, las reservas, el mantenimiento, etc. (Al parecer se están desarrollando actualmente nuevos modelos de reactores que puedan operar a un rendimiento equiparable al de las centrales de hidrocarburos).

Pero todo teorema tiene su corolario, y resulta por los mismos hechos que si una central nuclear no accede a transformar en trabajo más que la cuarta parte del calor que desprende, las tres cuartas partes serán transportadas por el circuito secundario, en otros términos por el agua, por el agua del río, del mar o del lago.

A potencia eléctrica igual, una central nuclear proyecta, pues, alrededor suyo cerca de 2,5 veces más de calorías que su concurrente convencional. Y en la medida en que la polución puede definirse como el deshecho de productos de la actividad humana que puede perjudicar el medio natural, se puede emplear aquí el término de polución térmica, que es probablemente el tipo de contaminación más importante, más directo que las centrales nucleares plantean.

¿En qué sentido es, pues, nociva esta contaminación térmica?

No porque ella sea capaz de suprimir toda vida, ya que incluso acelerará ciertos procesos metabólicos, y favorecerá algunas especies vegetales y animales; sino porque ella eliminará toda una gama de especies perfecta y estrechamente adaptadas a las condiciones actuales conocidas desde siglos y que forman parte de todo un ecosistema, en el cual todas las partes están en relación entre sí y por tanto un desequilibrio en ellas puede provocar un desequilibrio general.

Además el recalentamiento de las corrientes, o del aire en el caso de otros sistemas refrigerantes, se expresará igualmente a nivel de los climas locales, afectando al régimen de nieblas, lluvias, vientos, que pueden igualmente perturbar los cambios de las capas de agua, y de las corrientes de las mismas.

Podemos decir que si la polución térmica a la hora actual no tiene un grado de gravedad muy grande, los cálculos y previsiones nos conducen a un cierto grado de pesimismo para el porvenir, dado que aparte del efecto directo en zonas locales que ya de por sí es muy importante y que hay que considerar en toda su gravedad, sobre todo en las costas en cuanto que son vivero de pesca de poblaciones que viven y consumen lo allí pescado, a más largo plazo, se puede prever una elevación de 10^o centígrados en la temperatura de las aguas, lo que va a producir unos cambios imprevisibles en todo el ecosistema no sólo marino sino de toda la biosfera.

Veamos, pues, con más detalle algunas características de la contaminación térmica.

Para generar 1 KW/h., el calor de escape transferido a la atmósfera y al agua por una central nuclear es de 500 BTU y 7.600 BTU, respectiva-

mente. (BTU = British Thermal Unity = 252 calorías). Una planta nuclear de 1.000 MW. produce 7×10^9 BTU/hora.

La cantidad de agua que circula por un circuito abierto de una central de 1.000 MW. es aproximadamente de 30 m³/seg. lo cual implica 108.000 m³/hora (Hay que tener en cuenta, por otra parte, los tratamientos térmicos utilizados por muchas plantas para la limpieza de los tubos de aspiración y descarga, ya que el shock térmico producido por el incremento brusco de temperatura, hace desprender las incrustaciones arrastrándolas al exterior).

La difusión del calor en el agua no es instantánea, por lo que la homogeneización del calor absorbido por un foco es muy lento. La absorción de 1.000 cal/cm.² por un agua en reposo iría seguida teóricamente de los aumentos de temperatura que se indican:

de 0 a 1 metros de profundidad	6,48°C
de la 2 » »	0,72°C
de 5 a 6 » »	0,282°C
de 10 a 11 » »	0,096°C
de 20 a 21 » »	0,030°C
de 50 a 51 » »	0,0024°C
de 100 a 101 » »	0,000011°C

En cuanto a las superficies afectadas por distintos incrementos de temperatura, veamos el siguiente cuadro de distribución de exceso de temperatura estimado para la central Nuclear Aguirre, en Puerto Rico:

TEMPERATURA		AREA	
°F	°C	ft. ²	m. ²
12	6,7	21.800	2.000
10	5,6	47.900	4.400
8	4,5	108.900	10.000
6	3,4	352.800	32.500
4	2,25	1.772.900	164.000

Se puede observar la poca conductividad del agua, y la poca difusión del calor.

Por otra parte, la capacidad de refrigeración de la superficie del agua es de 1,5 a 7,5 BTU/hora por pie cuadrado y por los grados Fahrenheit de diferencia entre la temperatura del aire y del agua. Esto exige grandes superficies de agua para que el calor absorbido pueda expandirse en la atmósfera. (No entramos en las consecuencias de una polución térmica de la atmósfera).

4.2.1.1. EFECTOS DEL APORTE CALORICO SOBRE EL HABITAT MARINO

Un aumento de temperatura del agua aumenta la susceptibilidad de los organismos a los materiales tóxicos. (La zona cantábrica cuenta con la desembocadura de ríos muy polucionados)

Rupturas de termoclinas. Por efectos de los vientos se establece una capa superficial de espesor más o menos considerable, en la que las temperaturas tienden a homogeneizarse por mezcla de agua. En la base de esta capa el gradiente es muy brusco, a veces más de 1°C por metro y constituye la llamada termoclina, una superficie de discontinuidad de variadas consecuencias hidrográficas y biológicas.

El plancton está estrechamente ligado con las termoclinas y sus cambios regulares. Un cambio de temperatura hace romper tal equilibrio alterando por completo el hábitat inicial. Hay que tener en cuenta que el plancton está en la base de la cadena alimenticia marina y cualquier alteración en ésta afecta a todos los demás.

Hay peligro de rebasar los períodos estenotérmicos del ciclo vital de especies marinas y pueden ser afectados aquellos que sean estenotérmicos en época adulta o embrionaria.

Puede ser alterada la normal fluctuación de las especies marinas desde la costa a alta mar y viceversa, coincidiendo con la variación de temperaturas estacionales y aún diarias.

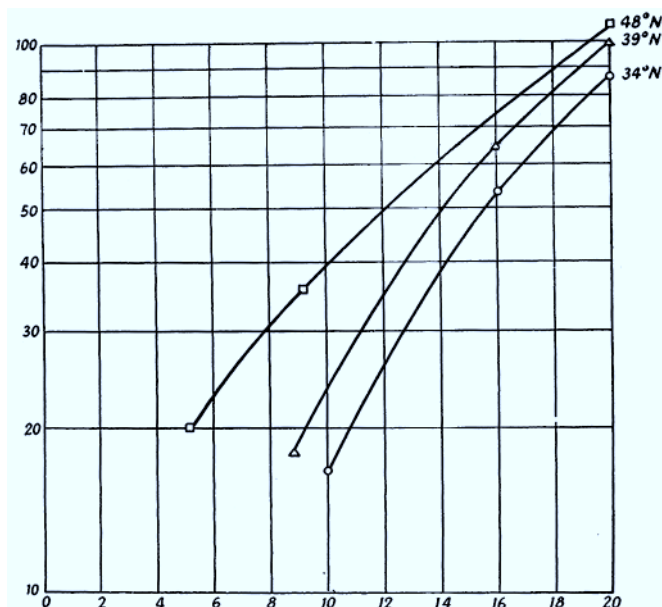
Al aumentar la temperatura del agua las colonias de algas verdes se encuentran en inferioridad de condiciones frente a las cianofíceas y son sustituidas por éstas. Forman grandes cantidades sobre la superficie del agua e impiden el paso de la luz, actuando a modo de filtro. Además segregan sustancias tóxicas. En invierno, debido a la menor insolación, grandes cantidades de algas mueren y se depositan en el fondo sufriendo fermentaciones perjudiciales sobre el resto, entre otras razones por consumir grandes cantidades de oxígeno.

A medida que sube la temperatura del agua las especies marinas necesitan más oxígeno, debido a que su metabolismo se duplica por cada diez grados que se eleve su temperatura. Este cambio en el metabolismo no sólo afecta a los marinos en sus formas adultas, sino también en sus fases embrionarias.

De todos es conocido que existen varias categorías de peces, entre las cuales tenemos las más nobles en cuanto al consumo humano, las que habitan precisamente las aguas frías oxigenadas, y que abandonarán los lugares de recalentamiento (pensemos que 3º centígrados es ya un aumento muy considerable), dejando su lugar a una masa piscícola eventualmente más elevada, pero cuyo valor no se puede comparar a la precedente. Esto tiene efectivamente una relación directa con la pesca y el consumo humano de la pesca que se realiza en las costas.

Una temperatura fluctuante tiene efectos biológicos parecidos a una temperatura constante superior a la media aritmética de la fluctuante.

El cambio de metabolismo afecta también a las algas: así, un aumento



GRAFICA 1.-Velocidad de filtración de agua (en ordenadas, en ml. filtrados por hora y por gramo de molusco) bajo distintas temperaturas (en las abscisas, en grados centígrados para el mejillón americano, *Mytilus californianus*, procedente de distintas latitudes (34, 39, 48° lat. N.). Según Bullock (1955).

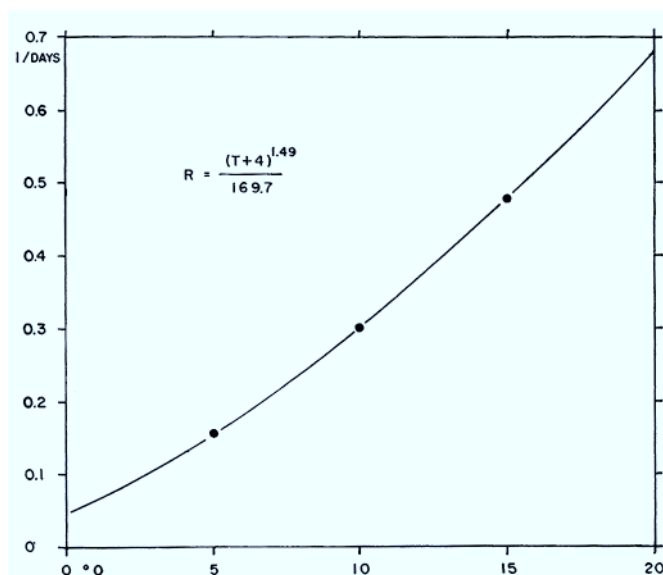
de la temperatura del agua acelera más la respiración que la fotosíntesis, empeorando la eficiencia de la producción. La fotosíntesis permanece constante, ya que la insolación no varía al cambiar la temperatura del agua.

Al mismo tiempo que crece el metabolismo y respiración de los organismos acuáticos la cantidad del agua, la capacidad de retención de oxígeno disminuye con la elevación de la temperatura del agua.

La solubilidad del oxígeno aumenta con temperaturas bajas del agua y disminuye, en cambio, con la salinidad.

Los seres vivos experimentan una disminución de tamaño con una elevación de la temperatura del medio. Este fenómeno es observable en los peces.

«En caracteres merísticos o discontinuos (por ejemplo, número de vértebras en peces), la temperatura afecta menos a las dimensiones de cada elemento que a las dimensiones del organismo entero, de manera que su número varía, en el sentido de ser más pequeño en aguas más cálidas (esta regularidad, en el caso de las vértebras de peces, se denomina con el nombre de *Regla de Jordán*)».



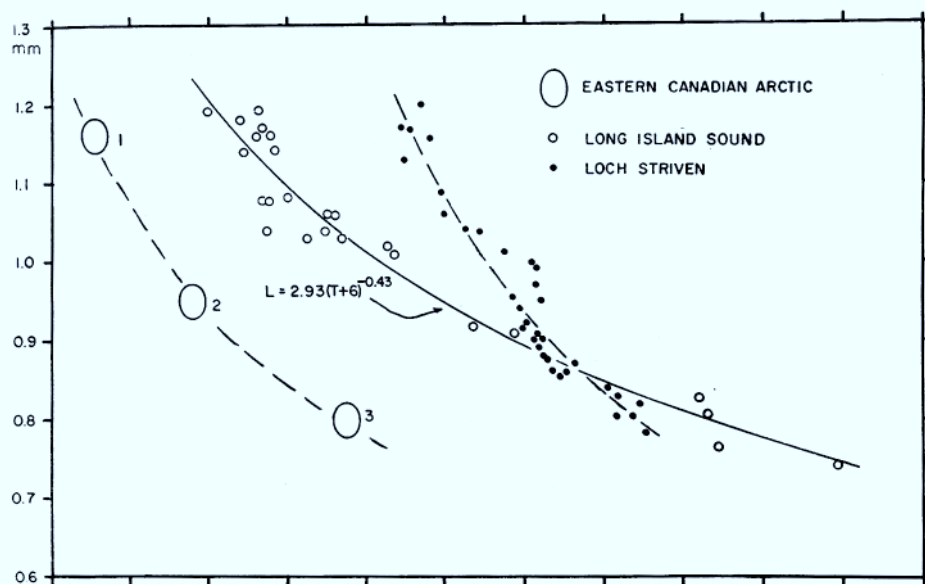
GRAFICA 2-Velocidad de desarrollo de los huevos de copépodo *Pseudocalanus minutus* (en ordenadas, el inverso del número de días que tardan en avivarse) en función de la temperatura (en abscisas, en grados centígrados). Población atlántica de Loch Striven (Islas Británicas). Datos de S. M. Marshall (1949).

El número de descendientes es mayor cuanto mayor es el individuo progenitor. Se relaciona indirectamente con la temperatura, ya que ésta regula también la dimensión de los individuos. (La mayor prolificidad suele quedar compensada por una reducción del tiempo que media entre dos períodos reproductivos).

En síntesis, pues, podemos decir que un ecosistema con gran diversidad de especies tiene gran estabilidad y que condiciones adversas persistentes, como la contaminación térmica, pueden desequilibrarlo y producir como resultado el dominio de unas pocas especies.

En cuanto a las muertes de peces producidas por las centrales nucleares, parece ser que son raras y su importancia limitada. Son debidas, en general, a acciones mecánicas en las bocas de aspiración o bien por las adiciones químicas, más que por efectos térmicos o radiológicos.

Estas mismas acciones mecánicas, pueden exterminar por arrastre al interior del condensador larvas muy sensibles. Por todo ello será necesario prestar más atención al diseño y funcionamiento de las tomas y descargas de agua, así como a los efectos de arrastre en los estuarios donde hay instaladas plantas de este tipo.



GRAFICA 3.-Longitud del cefalotórax de las hembras adultas del copépodo *Pseudocalanus minutus* (en ordenadas, en milímetros), en función de la temperatura media de las aguas en que se han desarrollado (en abscisas, en grados centígrados). Se comparan tres poblaciones distintas: una de Canadá boreal, otra del Atlántico occidental (Long Island Sound) y la tercera del Atlántico oriental (Loch Striven). Según McLaten (1966).

También queremos señalar que la utilización y vertido de productos oxidantes contra la proliferación de especies como moluscos, que plantean dificultades técnicas en desagües, provocan como contrapartida una contaminación química en las aguas igualmente nociva.

Como ejemplo concreto y cercano del problema de la contaminación de las aguas es por demás elocuente la destrucción de vida producida en el río Ebro como consecuencia de los vertidos de la central nuclear de Sta. M.^a de Garoña (Burgos).

Como colofón a las repercusiones de la contaminación térmica y siguiendo las recomendaciones del National Technical Committee on Water Quality Criteria, de USA, digamos que el conocimiento de los efectos subletales de los vertidos de agua caliente sobre la vida acuática debe adquirirse lo más rápidamente posible, a fin de tomar decisiones fundamentales con vistas a la protección del medio ambiente.

Se debe iniciar un doble esfuerzo para adquirir conocimientos en este campo. Por un lado la breve información a corto plazo procedente de la observación de las plantas actualmente en funcionamiento y el estudio de los cambios ecológicos a largo plazo. La información a corto plazo es necesaria para determinar la mejor manera de proteger el medio ambiente. La segunda información es necesaria para la planificación de la distribución de las plantas energéticas.

La carencia de equipos y procedimientos standarizados hace que una comparación significativa de los datos de muestreo biológicos, sea difícil y a menudo imposible. De todas formas se debe emprender un estudio para mejorar y standarizar las técnicas de muestreo de peces, perifiton, benthos y plancton.

En general, la simulación de los ecosistemas acuáticos parece ser el método más adecuado para un óptimo empleo de los recursos, particularmente por lo que respecta al modo y manera de disipar el calor.

Los indicadores más comúnmente empleados para valorar los daños biológicos a corto plazo son la diversidad de especies y la abundancia relativa de las especies deseadas. Ahora bien, los problemas de tamaño de la muestra, frecuencia del muestreo y otras condiciones bajo las cuales se desarrollarán estos índices deben ser cuidadosamente considerados.

En consecuencia, es claro que la vigilancia pre y post-operacional de la ecología y de la temperatura deben ser una condición para la aprobación de la licencia de vertido directo en el medio natural. Para realizar estos controles ecológicos son necesarias áreas de control, sin las cuales es difícil diferenciar las variaciones causadas por el agua caliente de otras variaciones, principalmente naturales.

Los amplios estudios de laboratorio basados sobre los efectos de las descargas de agua caliente sobre la vida acuática, no pueden ser aplicados directamente para hacer predicciones sobre este tema. Las habituales limitaciones de laboratorio, y las particularidades de cada sistema acuático natural, excluyen el empleo de muchos datos hallados. Además, la mayoría de los controles pre y post-operacionales no son experimentos destinados a contestar cuestiones específicas relativas a un determinado ecosistema acuático. Para poder discernir los efectos del calor de las influencias del entorno es necesario, pues, realizar experimentos controlados sobre el terreno.

Ello nos lleva a afirmar junto con la mencionada entidad americana que «debido a nuestro reducido conocimiento actual sobre las condiciones que favorecen el desarrollo de organismos perjudiciales, debemos de establecer un programa de vigilancia biológica que determine la eficacia de las medidas. Un programa de vigilancia puede detectar en su inicio el desarrollo de cambios indeseables ...»

Es por todos reconocido, pues, que no hay quizás ningún otro factor ambiental que afecte a la vida acuática tan profundamente como la temperatura; de ahí la lucha por reducir sus efectos contaminantes.

Por ello nos parece oportuno, extraer unas recomendaciones sobre la contaminación térmica proveniente de las centrales nucleares.

4.2.1.2 OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES

Dado que el diseño y operación de las centrales nucleares está fuertemente influenciado por las normas de calidad de agua, y vistas las repercusiones que la contaminación térmica tiene, aún sabiendo que es difícil predecir los efectos biológicos hasta sus últimas consecuencias, creemos que las normas de calidad a adoptar deberían ser más exigentes que las normas vigentes, que continuamente vemos cómo se modifican para hacerse más estrictas.

En cuanto a los procedimientos de vertido, existen dudas por lo que respecta a los mismos, a fin de minimizar sus efectos sobre el medio.

En USA, por ejemplo, el método de vertido directo suele implicar una serie de procedimientos para minimizar el impacto térmico del agua del condensador. Estos son:

- 1) Dilución en largos canales de descarga, utilizando bombas adicionales de gran capacidad, para reducir la temperatura del agua de enfriamiento por adición de agua fría antes de su descarga.
- 2) Difusores tipo «jet» y «multipost», para reducir la extensión de la zona de mezcla.
- 3) Tomar el agua fría en puntos de 20 a 70 pies más profundos que el punto de descarga, para usar el agua naturalmente más fría disponible durante el verano en estos puntos más profundos y reducir así la diferencia entre la temperatura de salida y del medio.

En el Lago Michigán, por ejemplo, se han elegido dos métodos de verter agua de enfriamiento que son completamente opuestos. Uno de ellos minimiza el incremento de temperatura por dilución rápida y maximiza el volumen afectado: el otro, minimiza el volumen afectado limitando la dilución y maximiza el incremento de temperatura.

Desde el punto de vista de contaminación térmica, también tiene importancia el «tratamiento térmico» utilizado, como ya hemos indicado con anterioridad, para la limpieza de los tubos de aspiración y descarga. Veamos en este sentido el procedimiento utilizado en la central nuclear norteamericana de San Onofre.

Consiste en aumentar la temperatura de la entrada del agua al condensador hasta 105°F, manteniendo esta temperatura durante dos horas en cada conducto una vez cada 5 ó 6 semanas. Esto se realiza recirculando una parte de la descarga del condensador nuevamente hacia la boca de aspiración. A fin de tratar tanto la aspiración como la descarga, es necesario poder invertir el sentido de circulación del agua en el condensador. El shock térmico producido por el incremento brusco de temperatura hace que se desprendan las incrustaciones y sean arrastradas al exterior. Aunque la temperatura de descarga durante el tratamiento es alta, la cantidad de calor vertida al océano es menor que durante el funcionamiento normal, debido a que se reduce la potencia del reactor y la cantidad de agua vertida es mucho menor.

Por otra parte, es más interesante saber que en diciembre de 1970 había ya en USA un 33,3% de centrales trabajando con circuito de refrigeración en ciclo cerrado, es decir sin ceder el calor al medio acuático (lo ceden a la tierra, o a la atmósfera), y un 8,6% con ciclo variable. Sin ninguna duda, en la actualidad estas proporciones han aumentado.

Es obvio, pues, que no parece necesario que las plantas de nueva creación dispongan para efectuar vertidos de agua caliente, de métodos alternativos de disipación del calor; y en este sentido, hay que dejar sentado que las torres de enfriamiento permiten controlar la cantidad de calor descargada, así como la temperatura del agua. Existen como es sabido torres de enfriamiento de tipo húmedo (evaporativas), y también de tipo seco (no evaporativas). La tecnología de dichas torres sigue investigándose principalmente en lo que respecta a la producción de sal de las mismas, y a las características de las de tipo seco, tratando de encontrar más empleos útiles del excedente.

Estas torres de refrigeración se encuentran actualmente en el mercado, y reducen la necesidad de la central con respecto al agua a un 3% el caudal necesario para su refrigeración. Es decir, que en una central nuclear de 1000 MW, el agua de refrigeración de ser de alrededor de 30 m.³/seg., con estas torres se reduciría a 1 m.³/seg. aproximadamente. Cantidad como vemos muy pequeña, y de fácil disponibilidad en otros puntos que no sean los próximos a costas o ríos importantes.

Esta flexibilidad operativa que las torres de enfriamiento ofrecen, constituye, pues, hoy por hoy, una solución atractiva y necesaria para luchar contra la contaminación térmica de manera eficaz, ayudando así, además, a cumplir las exigencias de calidad de agua vertida en general que a continuación detallamos:

- a) No contener sólidos flotantes, sólidos susceptibles de sedimentarse, aceites ni ningún depósito propio de municipio o industrias.
- b) Ningún tipo de basura, escoria o ceniza.
- c) Efluentes con otras sustancias cuya depuración no ha sido lo bastante completa como para volver las aguas en que son vertidas inutilizables para el propósito a que se destinaban inicialmente.
- d) La concentración de oxígeno disuelto será superior a 4,5 mg./litro.
- e) El pH estará entre 6,8 y 8,5.
- f) El incremento de temperatura no será mayor de 4°F (2,25°C), y ésta no rebasará en ningún caso los 93°F (34°C).

4.2.2. Contaminación radiactiva

Otro riesgo en funcionamiento normal es el de la irradiación. Veamos como preámbulo de este capítulo una observación de un notable físico, Dixi Lee Ray, Presidente de la AEC (Atomic Energy Commission de USA) que declara:

«Es imposible construir y mantener en funcionamiento una gran planta nuclear con una garantía absoluta de que no se produzca ningún escape de radiactividad. Con unas modificaciones relativamente modestas tanto en el equipo como en el control, las dosis de radiación de la industria nuclear pueden ser mantenidas en una fracción muy reducida. Sin embargo, debe poner de relieve que es imposible tener en funcionamiento una planta generadora de energía atómica sin que pueda escaparse algo de radiactividad..

4.2.2.1. IRRADIACION EXTERNA

Las cantidades de radioelementos contenidas en un reactor después de un año de funcionamiento, son muy altas. Por ejemplo, una central de 1.000 MW. produce el equivalente de centenares de toneladas de Radio. En el mismo tiempo la cantidad de Estroncio-90 producida es igual a la desprendida por una explosión nuclear de 10 megatonnes, es decir 500 veces la bomba de Hiroshima. En cuanto al Plutonio, su producción alcanza alrededor de 100 Kgrs. para 500 Tm. de Uranio natural al comienzo. Es bien evidente que tales cantidades entrañan graves problemas en el alrededor inmediato si no se tomaran diversas precauciones.

Señalemos desde el comienzo que la gran mayoría de emisores son de tipo Beta, de tal suerte que la masa y la pared del reactor mismo constituyen una pantalla perfectamente suficiente en este sentido.

Pero quedan los productos de frenaje, los neutrones y sobre todo los rayos gamma, muy penetrantes. Es esencialmente contra este tipo de radiación contra el que se construye la importante pantalla de hormigón, asegurando la solidez mecánica del conjunto.

De este modo es permisible la estancia, incluso prolongada, en la sala misma que contiene el reactor, sin sobrepasar las normas de seguridad actualmente admitidas. La dosis anual en la vecindad de una central nuclear en funcionamiento normal no sobrepasa los cinco milirems; podemos comparar con otras, por ejemplo con la cantidad mortal de radiación que es del orden de 500 Rems, en una sola irradiación corporal o con las dosis admitidas por diferentes leyes, que sitúan en 170 milirems/año para el conjunto de la población, es decir cerca de cuarenta veces más que la radiación señalada en el vecindaje de una central.

Podemos también compararla con la dosis natural, es decir, la devenida por el medio ambiente natural fuera de toda acción humana, que como hemos visto en un principio, es del orden de unos 150 milirems/año, aunque varía según las regiones, los terrenos, etc.

4.2.2.2. IRRADIACION INTERNA

Si los riesgos de irradiación externa en la proximidad de una central pueden razonablemente ser considerados pues, como poco posibles, salvo accidente, no sucede lo mismo, a priori, con el problema de la radiación interna, es decir la liberada en el cuerpo mismo por los radioelementos

que pueden escapar de los reactores y llegar a contaminar el agua o la alimentación.

Hay que tener en cuenta que el agua, como consecuencia de su exposición a las radiaciones se vuelve igualmente radiactiva, lo que se llama fenómeno de radiactividad inducida, Los elementos Hidrógeno y Oxígeno que constituyen el agua, se prestan fácilmente a la transformación nuclear como consecuencia de su débil actividad, y los isótopos que producen tienen una vida media corta. Por el contrario los elementos disueltos y no disueltos del agua, así como los productos de corrosión de que se carga la misma provenientes del circuito de refrigeración, subsisten después de su paso por el circuito de enfriamiento en el interior del reactor, por bombardeo de neutrones y modificaciones nucleares que dan lugar a isótopos con vida infinitamente más larga.

Es por esto que las aguas necesarias para el enfriamiento deben ser cuidadosamente filtradas y desmineralizadas, en una columna de intercambio de iones y trabajar en circuito primario.

El calor de las aguas es eliminado en un cambiador de calor, trabajando generalmente sobre un segundo circuito abierto-cerrado de enfriamiento, circuito secundario. A pesar de esto el agua se enriquece con el tiempo en productos de corrosión que son radiactivos.

Con el fin de limitar la radiactividad del agua de enfriamiento en el circuito primario, se hace pasar de ordinario una corriente parcial continua en un filtro y un puesto de desmineralización, y se vuelve a introducir seguidamente en el circuito. Debido a esto el filtro y la resina cambiadora de iones se vuelven progresivamente radiactivas. Cuando se vuelven muy activas se remplazan por materiales nuevos y se almacenan.

El agua del circuito secundario no es radiactiva, y se echa al emisario cuando es de ciclo abierto, como hemos visto antes, provocando una contaminación térmica.

Por tanto hay que considerar que la radiación a través de las aguas vertidas es prácticamente nula.

Pero tanto los reactores de Uranio enriquecido como los demás, plantean una serie de problemas referentes a la contaminación radiactiva que vamos a pasar a estudiar.

Como consecuencia de la manipulación de material radiactivo gran cantidad de radionucleidos está invadiendo el medio proveniente de fugas o de vertidos. Tanto el aire cuando son gaseosos como la tierra o el agua cuando sólidos y líquidos van incorporando isótopos que al sustituir a sus formas estables respectivas inducirán radiaciones ionizantes, mutaciones, etcétera.

La procedencia de estos radionucleidos liberados es múltiple, pero principalmente tiene dos orígenes, las fugas durante los diversos procesos de tratado y sobre todo la gran cantidad de residuos producidos.

El problema de la fuga de radionucleidos es especial y muy complejo. No todo el material que ha sufrido una fisión resulta fisionado, y para aumentar el rendimiento este material suele ser redepurado y concentrado para una nueva fisión. Es la llamada fase de nuevo tratamiento o de renovación.

En ella los elementos combustibles agotados de los reactores nucleares deben antes de la colocación ser conservados debajo del agua durante varios meses antes de enviarlos a una instalación radioquímica de separación y tratamiento, a fin de que la fracción con vida media corta de radiactividad desaparezca.

Según la duración de irradiación de las barras combustibles, la radiactividad de los productos de la fisión puede así disminuir cerca del 90% en cuatro meses. El agua de estos estanques de enfriamiento pueden volverse fuertemente radiactiva si el aprovechamiento de los elementos combustibles presenta defectuosidades. Es por esto que se hace circular esta agua de manera continua en un cambiador de iones que retiene los productos de fisión absorbidos por el agua.

En las columnas de separación y tratamiento se tratan los concentrados de minerales y se aíslan por reacción química de disolución, de precipitación y de enriquecimiento, los productos de fisión nuclear de los elementos combustibles, pudiendo todavía ser utilizados siguiendo toda una serie de diversos procesos. Se obtienen así unos residuos y líquidos residuales de gran concentración y de radiactividad a veces muy elevada, 30 a 120 Curies/litro.

El tratamiento de los productos y de las aguas residuales debe hacerse con una protección eficaz contra las radiaciones.

Es, pues, en estas plantas de renovación, que hasta el momento no sabemos si va incluida en la programada en la costa de Guipúzcoa, donde se producirá el mayor potencial de contaminación nuclear ambiental.

Aquí, como los recubrimientos y escudos protectores deben ser retirados para permitir la renovación del combustible, aumenta la exposición de los productos de activación y de fisión, y el potencial de escape de éstos al medio. De hecho se ha estimado que el 99,9% de los radionucleidos presentes en el medio provienen de las plantas de renovación del combustible.

Pero sin duda el problema más grave como posible foco de contaminación son los residuos. Normalmente se suelen distinguir en tres tipos:

- a) Residuos de bajo nivel, sólidos y gases de muy baja radiactividad por unidad de volumen que son vertidos libremente al medio.
- b) Residuos de nivel medio: requieren ya un tratamiento. Su radiactividad es lo suficientemente alta como para exigir un confinamiento local que permita separar los componentes de alto nivel y reducir el resto a desechos de bajo nivel.
- c) Residuos de alto nivel: Son residuos tan altamente radiactivos y con una vida media tan larga que los hace peligrosísimos. Su eliminación total es imposible y sólo cabe esperar y acumularlos. Son estos residuos de alto nivel y el volumen en que se producen, 500 litros de residuos de alto nivel por cada tonelada de combustible fisionado, lo que limita y plantea problemas al desarrollo de la energía nuclear. Particularmente los problemas relacionados con su almacenamiento a largo plazo, —el Uranio-238

tiene por ejemplo una vida media de $4,51 \times 10^9$ años—, deben ser cuidadosamente estudiados.

Veamos con más detalle el origen de los diferentes tipos de residuos.

Los residuos gaseosos provienen de la refrigeración de las pilas y del tratamiento químico de los combustibles, además, de algunos métodos de eliminación de los desechos radiactivos, como, la incineración. Estos gases son transportados por el viento y depositados bien sobre las plantas, bien sobre el humus.

El modo de eliminación es único, la dilución en la atmósfera. Con el fin de evitar todo peligro para los trabajadores y habitantes de la zona, el vertido se suele hacer por chimeneas cuya altura garantiza, al parecer, la difusión suficiente antes de que llegue al suelo el penacho radiactivo. (Hay estudios detallados sobre concentración en diferentes radios del puesto de emisión). Además hay que hacer observar que los gases son filtrados antes de expulsarse. Los filtros utilizados retienen el 99,98% de las sustancias radiactivas. De todas formas hay que hacer constar que en este pequeño tanto por ciento de gases radiactivos que se escapan en los residuos gaseosos que se lanzan a la atmósfera, se encuentran algunos radioelementos conocidos como el Estroncio y el Yodo, y otros que son menos conocidos, pero que a juicio de los físicos van a tener una importancia decisiva en la acumulación de radiactividad como son el Krypton-85 y el Tritio-H³.

Se calcula que hacia el año 2000 podrá haber un millón de megacuríes de Krypton-85 acumulado, es decir una radiactividad equivalente a la de mil toneladas de Radio.

Hacia el año 2060 el Krypton-85 habrá alcanzado casi 100 veces la concentración juzgada aceptable.

Según parece el Tritio puede plantear problemas más difíciles todavía que el Krypton. De todas formas estas cifras no se refieren a la acumulación de Krypton y de Tritio que se producen por la emisión de residuos gaseosos únicamente.

Los residuos líquidos de alta actividad que provienen de las soluciones concentradas de productos de fisión, son almacenados en botellas de acero refrigeradas.

Este tipo de almacenamiento implica una vigilancia y mantenimiento continuos. También se suelen solidificar los productos de fisión incluyéndolos en vidrio, vitrificándolos. Así se les almacena bajo una forma prácticamente insoluble, eliminándose el riesgo de dispersión de la radiactividad.

Desechos líquidos de mediana y débil actividad.

Representan el mayor número de residuos líquidos. Por ser tan importante su volumen no se almacenan, y son generalmente diluidos en las aguas superficiales después de haberse filtrado por medio de tratamientos químicos. Se consigue eliminar la mayor parte de los elementos de radiactividad más elevada, Estroncio-90 y Cesio-137.

La radiactividad residual vertida, es al parecer lo suficientemente

débil como para que la radiactividad de las aguas siga estando en un nivel inferior a las normas de tolerancia.

También hay que considerar las aguas radiactivas del lavado de las ropas de trabajo polucionadas por sustancias radiactivas del personal ocupado en los reactores nucleares.

En todo este tipo de residuos y aguas residuales hay que realizar tratamientos y procesos de descontaminación. Las particulares dificultades que se oponen a la solución del problema de las aguas residuales son debidas a los hechos siguientes:

- 1.º La radiactividad no puede ser destruida; no hace más que desaparecer por desintegración de los isótopos presentes en función de su semiperíodo.
- 2.º Los radionúclidos presentan según su posición en el sistema periódico de los elementos, un comportamiento químico variable.
- 3.º La concentración a la cual existen los isótopos radiactivos en las aguas residuales expresados en peso es pequeña, pero la energía radiante es, sin embargo, muy considerable.

En el agua potable, por ejemplo, el Radio es peligroso por encima de una concentración de 1×10^{-7} gamma de Radio-226 por milímetro: concentración como podemos apreciar ínfima.

El tratamiento de las aguas residuales y de los residuos radiactivos que no pueden simplemente ser almacenados en tanques tienen como fin concentrar la radiactividad en un residuo altamente concentrado y activo.

Nos encontramos siempre con la dificultad de cómo deshacernos de estos residuos: la gran dificultad encontrada, imposible hasta ahora de solucionar.

Los procedimientos usados son los siguientes:

- 1.º La evaporación: Tiene el peligro de que se evaporen los nucleidos volátiles eventualmente pudiendo contaminar el aire y entrando así en las cadenas tróficas de la naturaleza.
- 2.º El tratamiento químico: Tiene la dificultad de que cada tipo de sustancia radiactiva necesita un tratamiento químico específico que precisaría una separación previa de los elementos radiactivos.

Los tipos de tratamiento químico son:

- a) Enriquecimiento según la regla de precipitación de O. Hahn.
- b) Enriquecimiento según la regla de absorción de O. Hahn.

Otros métodos de enriquecimiento usados son:

- c) Métodos combinados de tratamiento químico.
- d) Deshidratación de las barras.
- e) Cambio de iones (1) combinados naturales
(2) con resinas sintéticas.
- f) Métodos combinados.

Desechos sólidos,

El 95% de los desechos sólidos son de actividad débil. Sin embargo, representan cantidades importantes dado su volumen. Para eliminarlos primero se reduce su volumen mediante compactado o incineración. El compactado se realiza con prensas hidráulicas. La incineración permite una reducción de volumen más rentable.

Se incinera cuando se obtienen restos orgánicos, filtros usados, ropa de protección, filtrantes de los cambiadores de iones, material plástico usado como protector de los laboratorios, etc. Así y todo no hay que perder de vista el gran riesgo de contaminación atmosférica por radiactividad que este método comporta debido al humo y al gas formado, a pesar del filtraje previo.

Según Stramb, después de una incineración ha encontrado las siguientes proporciones de radiactividad:

P-32:	en las cenizas 86%
	en el gas 2%
	en las paredes de la chimenea 12%
Estroncio-89:	en las cenizas 90%
	en el gas 1%
	en las paredes de la chimenea 9%
Yodo-131:	en las cenizas 9%
	en el gas 80%
	en las paredes de la chimenea 11%.

Las cenizas producidas en la incineración son englobadas en asfalto.

En general, pues, como hemos visto, el tipo de desechos muy radiactivos se encierra en recipientes, previa reducción de volumen e inclusión en asfalto o vidrio, que luego se almacena en túneles, minas de sal abandonadas, etc. Son los llamados «cementeros atómicos». También se estudia la posibilidad de encerrarlos en recipientes de acero que se depositarían en los polos, hundiéndose progresivamente gracias al calor de los desechos, o incluso la ubicación extraterrestre de los mismos.

Hay que distinguir entre el almacenamiento de los desechos que supone la posibilidad de vigilancia e intervención en el futuro, y la evacuación en diferentes medios incontrolados que por ser más irreversible y sin posibilidad de intervención posterior se va desechando como método. Se tiende, pues, progresivamente a almacenar los desechos en superficies controladas.

En este sentido, hace falta tener en cuenta las propiedades químicas y la naturaleza de las sustancias radiactivas, las condiciones geológicas e hidrológicas, así como el clima y la naturaleza de la vegetación, y finalmente el modo de blindaje de dichas sustancias.

Teniendo en cuenta las características climatológicas, pluviosidad, humedad, etc., de Guipúzcoa y la composición de su suelo (geológicamente la zona de Deva es calcárea, muy rica, por tanto, en redes de agua subterráneas características de los terrenos kársticos), no creemos sea un lugar apropiado para posibles enterramientos de sustancias radiac-

tivas, ya que una contaminación de las aguas subterráneas sería inevitable y según el ciclo que sigue el agua tendríamos otra vez ese agua contaminada en la superficie.

Otra solución adoptada consiste en colocar los desperdicios en recipientes precintados, containers especiales, revestidos de materiales absorbentes de las radiaciones, que se sumergen en masas de hormigón antes de ser hundidos en las fosas oceánicas más profundas.

Estiman los partidarios de este método que para desembarazarse de estos productos peligrosos es éste el mejor método, pues los recipientes son sólidos y protegidos contra cualquier eventualidad: en el caso de que por cualquier motivo fortuito reventara uno de ellos, la profundidad de los abismos submarinos mantendría al hombre lejos de cualquier perjuicio futuro.

Pero estos argumentos son ciertos sólo en parte. La duración de los recipientes es claramente inferior al de muchos cuerpos radiactivos que contiene. El Yodo-129 tiene un período de veinte millones de años, el Cesio-135 de tres millones de años y el Circonio D-3 de un millón. Estos cuerpos representan más del 10% de los productos de fisión de los elementos pesados, como el Uranio-235 y el Plutonio-239.

Existe, pues, el derecho de preguntarse si los recipientes por sólidos que sean son realmente capaces de resistir durante un millón de años las embestidas del agua del mar.

Los oceanógrafos han demostrado, por otra parte, recientemente, la existencia de corrientes marinas que a pesar de su extrema lentitud son capaces de agitar las aguas profundas. Algunos opinan que entre los fondos marinos y la superficie se establece también una circulación de agua. A ello hay que añadir, además, que los seres vivos pueden transportar las substancias a lo largo de complejas cadenas alimenticias, por lo que estos cuerpos peligrosos son eventualmente capaces de volver a la superficie donde el hombre creía haberlos desterrado definitivamente.

A este respecto, tenemos que hacer la observación de que en el Golfo de Vizcaya, precisamente, existe una fosa marina en la que se han depositado y se depositan muchas toneladas de residuos radiactivos provenientes de diversas centrales nucleares europeas.

Lo cual no deja de tener una influencia directa en un futuro más o menos próximo sobre la contaminación que pueden sufrir las zonas más próximas de toda nuestra costa.

En cuanto a los mecanismos de contaminación que las sustancias radiactivas pueden producir, vemos que toda una cascada de factores físicos, químicos, biológicos y climáticos intervienen, sea para acelerar la dilución de los radionucleidos en el agua, o al contrario para provocar una peligrosa contaminación que sea capaz de contaminar la cadena alimentaria.

La dispersión de la radiactividad al medio, efectivamente, se hace de varias formas a la atmósfera, al suelo y al mar.

En la atmósfera ya hemos visto una serie de procesos que pueden producir una llegada de radionucleidos dispersados en el aire con los

problemas que puede plantear esto por su inclusión en la cadena alimenticia, al llegar al suelo, y por los conductos de las aguas que van a los ríos y al mar, su inclusión en las cadenas alimenticias del mar.

La disposición de partículas radiactivas en el suelo proviene fundamentalmente de la dispersión atmosférica, y la radiactividad terrestre puede llegar a distancias de 90 y 150 Kms. del punto de su producción.

Esto se debe a que los isótopos gaseosos son transportados por el viento y se sedimentan al pasar a un isótopo no gaseoso.

Sobre el suelo se debe distinguir la contaminación directa e indirecta.

En el primer caso la radiactividad se deposita directamente sobre las plantas que son consumibles. La morfología de la hoja juega un papel importante, si es rugosa retendrá los radionucleidos más fácil que si es lisa. Si la contaminación es indirecta el camino es más complejo.

El suelo absorbe los productos radiactivos y permanece en las primeras pulgadas superficiales.

Por desgracia la superficie del suelo no diluye los radionucleidos como la de los océanos, y son a menudo retenidos en el lugar en que se depositan.

El transporte hacia niveles inferiores es lento, pero las aguas de infiltración más abundantes en regiones lluviosas lo aceleran.

Se ha observado diferencia entre las aguas de lluvia y aguas de grifo en cuanto a su contenido radiactivo. La radiactividad de la tierra es conducida al mar por las aguas subterráneas, incontrolables en la mayoría de las ocasiones. Las aguas subterráneas quedan, además, contaminadas al pasar por los depósitos de desechos radiactivos tal como hemos visto antes.

Además, la lluvia juega un papel importante en las precipitaciones y caídas a la superficie de la radiactividad gaseosa.

De aquí la importancia de la ubicación de una central nuclear en una zona con alto o bajo nivel pluviométrico. Y tenemos que hacer la observación de que en la zona de Deva (siendo semejante la zona de Ispaster, es decir la central de Ogiella), el nivel pluviométrico es alto. (Ver cuadro adjunto de datos pluviométricos).

Por otra parte, hay varios obstáculos que se oponen a la migración de la radiactividad en el suelo. El calcio tiene la propiedad de diluir la concentración de Estroncio. Por lo tanto en suelos ricos en Calcio la absorción de Estroncio es relativamente más débil que en otros suelos.

De aquí la importancia de un estudio geológico para la ubicación de una central nuclear que crea a su alrededor una irradiación dada mayor de lo normal y que puede tener una relación directa en la penetración en las cadenas alimenticias según la composición del suelo, sea rico o no en calcio.

En este sentido tenemos que decir que los terrenos calcáreos de la zona de Deva tienen como contrapartida al problema de la filtración de aguas, antes mencionado, esta posibilidad de diluir la absorción de Estroncio.

Lo mismo en el caso de las vacas que se alimentan de forraje que

PRECIPITACION MEDIA MENSUAL Y ANUAL (1)

	R	RM
ENERO	137	338
FEBRERO	108	217
MARZO	90	271
ABRIL	102	341
MAYO	122	223
JUNIO	96	312
JULIO	95	216
AGOSTO	117	311
SEPTIEMBRE	149	268
OCTUBRE	161	292
NOVIEMBRE	153	304
DICIEMBRE	177	398
AÑO	1.506	1.828

R = Valor medio de la precipitación total en l./m².

RM = Precipitación máxima en el mes o en el año en l./m.

tienen una fuerte proporción de Calcio, dan una leche con menos contenido en Estroncio que las que toman forraje pobre en Calcio.

En el caso de ser contaminadas las praderas, el ganado podría, entonces, ingerir cantidades considerables de radionucleidos.

Bastantes radionucleidos se eliminan con los excrementos. El Estroncio-90, Cesio-137 y Yodo-13 se revelan como los más peligrosos.

Otro medio de dispersión de la radiactividad por fin, es el mar, al cual llegan los radionucleidos de todos los puntos: por afloramiento de aguas subterráneas contaminadas, por sedimentación de la radiactividad de la atmósfera sobre su superficie, o por vertido de desechos radiactivos.

Los radioelementos que se depositan sobre la superficie de los océanos difunden rápidamente. Después de las experiencias americanas en el atolón de Bikini, 13 meses más tarde la radiactividad estaba extendida en millones de kilómetros cuadrados, pero la actividad artificial se había reducido a un quinto de la natural a 5.000 kilómetros de la fuente radiactiva.

Como hemos visto, por fin, la seguridad de los tanques depositados en el fondo del mar es problemática, ya que con el tiempo se pueden producir roturas por acciones de la presión y de la acción biológica que no es suficientemente bien conocida.

En general pues, podemos decir que los efectos radiactivos producidos por una central están en gran medida en función de la constitución del suelo, del régimen de lluvias, de la naturaleza, de los sedimentos, y corrientes marinas, de los ciclos de renovación de las aguas, en el caso de lagos, de las costumbres y hábitos alimenticios, etc.

(1) Promedios extraídos de datos de los últimos 40 años. Datos facilitados por el Centro Meteorológico del Golfo de Vizcaya. Ministerio del Aire.

4.2.3. Colofón a problemas de contaminación de centrales nucleares

Como colofón a este capítulo de problemas de contaminación planteado por las centrales nucleares, podemos decir que el problema de la contaminación térmica si no se plantea en la actualidad de forma general como un problema acuciante, se convertirá en crucial antes de fin de siglo sin que ninguna solución parece que pueda ser planteada, a no ser que se haga una estabilización en el consumo.

Además, hay otros problemas, como hemos visto, que todavía se encuentran sin respuesta satisfactoria. De una parte el problema del almacenamiento de los desechos radiactivos, para los cuales no se dispone todavía de ninguna solución eficaz que garantice el porvenir. Y por otra parte el problema de los efectos biológicos como productos de débiles dosis de radiación, dado que es imposible afirmar en la hora actual, a falta de la casuística necesaria, cuáles son las radiaciones sin peligro y los radioelementos sin peligro para la especie humana.

Podemos decir que objetivamente considerado el problema, la utilización pacífica generalizada de la energía nuclear, plantea a medio término dos problemas: el de la contaminación térmica, y el del almacenamiento de los desechos radiactivos con sus graves consecuencias biológicas.

Digamos por fin, que estas centrales están programadas para que funcionen unos cuantos lustros (de 20 a 40 años) al cabo de los cuales quedan inservibles. El lugar, un espacio de desolación cubierto de cemento, sigue bajo vigilancia durante cierto tiempo, por los riesgos que entraña: testigo mudo y verdugo de una sociedad que no pudo servirse de ellas más que unos pocos años. Los terrenos circundantes, totalmente devaluados, como es lógico suponer.

5. CENTRAL DE DEVA

Por todo lo que antecede es obvio que en la ubicación de una central nuclear en Deva, deben tener en cuenta medidas de vigilancia del medio ambiente.

A fin de evaluar el impacto ambiental potencial de un complejo energético es necesario estudiar detalladamente los siguientes puntos:

- 1.º Hidrología y calidad del agua
- 2.º Meteorología y climatología
- 3.º Geología
- 4.º Oceanografía
- 5.º Fauna y flora
- 6.º Aspectos referentes a la radiación
- 7.º Aspectos demográficos, en la colocación de una central nuclear en una zona determinada.

A esto tendríamos que añadir un capítulo muy importante, que si los anteriores podríamos englobarlos en el término geográfico-biológico de la zona, este capítulo que comentamos se refiere al económico industrial. Es decir, que la ubicación de una central nuclear, debe estar hecha de tal forma que responda realmente a las exigencias energéticas en una zona dada. Y para eso realizar unos estudios de la evolución del consumo energético, de la evolución de este consumo, y de las previsiones que se pueden hacer a este respecto. (Existen algunos cálculos elaborados según la Delegación de Industria de Guipúzcoa).

En este sentido se arguye que las centrales nucleares tienen un condicionamiento, al parecer importante, en cuanto a su ubicación, y es la proximidad a los centros de consumo, debido a que el transporte de energía encarece la misma, y dificulta por tanto la ubicación de los centros en zonas que no sean cercanas a los puntos de consumo.

Otro factor que en cierto modo condiciona de forma importante la ubicación de una central nuclear es la necesidad de agua para la refrigeración.

En principio se supone que ésta es la razón por la que Iberduero ha proyectado sus centrales nucleares en las costas de Vizcaya y de Guipúzcoa. El empleo del agua varía según el tipo de central y de su potencia, pudiendo tratarse de agua salada y de agua dulce.

Concretándonos a la central nuclear de Punta Endala, podemos decir que la memoria presentada por Iberduero, S. A. en la Delegación de Industria de Guipúzcoa, consta de un documento n.º 1, en el que se especifica la justificación energética; documento n.º 2, que es una memoria descriptiva de la central; un documento n.º 3, que es un estudio económico previo; documento n.º 4, descripción del emplazamiento; y un documento n.º 5, esquema preliminar de la organización del proyecto.

En cuanto a las características de la central nuclear de Deva, en concreto, según siempre la memoria presentada por Iberduero en la Delegación de Industria de Guipúzcoa, el proyecto de construcción de una central nuclear en Punta Endala (Deva), consta en principio de dos unidades, teniendo una capacidad de 1.000 megawatios por unidad, saliendo una línea hacia Aizarna y otra hacia Elgóibar.

Se solicita que los planes comarcales y de urbanismo y rurales tengan en cuenta la construcción de esta central en Punta Endala (Mendata). La construcción está defendida del mar con un espacio capaz para cuatro unidades, aunque inicialmente sólo se solicita autorización para dos unidades.

Se construye a su vez una presa en una vaguada próxima para embalsar agua potable y de aportación a la central. Se van a embalsar 0,8 hectómetros cúbicos. Se situará el embalse a un kilómetro de la central, el embalse tiene 25 metros de alto y 41 de longitud.

La unidad consta de un reactor nuclear para producir el vapor que sirve al turbogenerador, y las instalaciones son: un edificio de reactor, en el que existe un núcleo de reactor en vasija de acero u hormigón, con una especificación que dice que se haga tal protección que la radiación que emane sea inferior a la admitida por la legislación vigente. Con unos equipos de producción de vapor y unas instalaciones para el manejo del combustible. El edificio del turbogenerador es común para las dos unidades, aunque los equipos son independientes.

Tiene también un edificio de análisis unido al edificio del reactor. En él van los sistemas auxiliares y los componentes para el tratamiento de los radiactivos sólidos, líquidos y gaseosos, bombas, tanques, desmineralizadores, centrifugadoras, filtros, equipos de llenado, cierre y transporte de bidones, etc.

Un edificio de control, con una sala de control común para ambas unidades con un computador, centrales de control, motores, laboratorios y oficina de protección radiactiva. Edificio de administración y oficinas, laboratorios, almacenes, edificios de almacenamiento de desechos sólidos.

El tipo de reactor se desconoce actualmente, aunque posiblemente sea como hemos indicado antes del tipo de los que emplean agua ligera como moderador y refrigerante. De todas formas no se descarta la utilización de reactor tipo grafito o agua pesada como moderador; depende de las ofertas.

Dentro de la zona se estudia el almacenamiento capaz de contener desechos de cinco años de cada unidad.

Las obras hidráulicas suponen un dique de abrigo de 900 metros para el cerrado con una superficie ganada al mar capaz de instalar cuatro unidades de mil megawatios.

Otras construcciones suponen vallas, porterías, casetas de vigilancia de la radiación ambiental, etc.

Añadamos nosotros que las superficies recomendadas para las centrales nucleares de 1.000 MW. de potencia es de 600 Ha. de superficie de refrigeración. En 1970, en USA, se recomendó para cada planta nuclear de

2.400 MW. 450 Ha. para la planta y cementerio nuclear y 2.800 Ha. de superficie de agua.

En cuanto a la inversión, parece ser que se calcula en 17.470 millones de pesetas para la puesta en marcha de la unidad 1 y 15.978 millones para la unidad 2.

En definitiva, la inversión unitaria por kilowatio neto instalado para la potencia considerada de 1.000 MW. por cada unidad, será de 30.694 Ptas./kilowatio para la 1, y 19.173 Ptas./kilowatio para la 2.

Si sistema de circulación de agua será de ciclo abierto, realizándose la toma al oeste y la descarga al este, evitando al máximo la recirculación.

Se hará otra toma de agua que no quede afectada por la bajamar. Se estima, por fin, una necesidad de unos 25 litros/seg. para los servicios de cada unidad.

Esta importante necesidad de agua, por tanto, es como hemos dicho uno de los motivos de localización de las centrales nucleares y suponemos que ha sido condicionante decisivo a las de nuestra costa.

De todas formas debemos de indicar que esta necesidad de agua refrigerante en estas cantidades, se evita utilizando las ya comentadas torres de refrigeración.

Según parece la incidencia del costo de estas torres de refrigeración es del orden de 300 Ptas./kilowatio/hora instalado sobre las 20.000, 25000 Ptas. kilowatio/hora del costo de instalación.

En cuanto a los apartados 1 al 6 creemos que es completamente necesario un estudio exhaustivo de los mismos como hemos dicho, antes de la construcción de la central nuclear.

Digamos, por fin, que según el proyecto presentado el programa de ejecución se inicia con la obtención de los datos de emplazamiento en 1973-74 y finaliza con la puesta en funcionamiento en 1981-82.

Hemos tocado antes algunas aspectos con respecto a la composición del suelo, más o menos rico en calcio, que directamente influye en la concentración de algunos radionucleidos y por tanto su penetración más o menos rápida y más o menos importante en las cadenas alimenticias que llegan al hombre.

La dispersión del yodo, por otra parte, en las zonas de pastoreo, entraña medidas que no serán necesarias si se encuentra la central en una región más desértica en la que no exista pastoreo.

Los vientos juegan un papel importante, como antes hemos visto (ver anexo de gráfico), en la dispersión de la radiactividad.

En otro sentido y dentro de la problemática general económico-industrial, que no vamos a entrar a desarrollar por no ser tema de incumbencia directa de esta sociedad, queremos, sin embargo, subrayar la transcendencia que tienen los aspectos demográficos.

Efectivamente, todos coinciden en que es necesario establecer alrededor de la instalación una zona de exclusión, una zona de débil densidad de población, así como que en un radio porudencial la densidad de la población no sea alta.

DIRECCION Y VELOCIDAD DEL VIENTO

Número de veces en % que se ha observado el viento en cada dirección y velocidad media en Km,

N. NE. E. SE. S. S.W. W. NW. CALL

Años	% Km/h.		% Km/h.		% Km/h.		% Km/h.		% Km/h.		% Km/h.		% Km/h.		% Km/h.		%
1960	15	23	10	8	5	7	6	14	40	18	6	17	8	15	9	9	1
1961	17	15	1	3	1	3	2	5	40	22	5	19	25	27	9	18	0
1962	13	12	12	9	4	7	3	3	35	26	6	32	12	16	15	7	0
1963	22	8	0	0	16	5	1	65	47	22	0	0	12	27	1	13	1
1964	18	12	1	2	9	2	1	2	55	17	1	4	2	3	8	20	5
1965	17	10	2	14	2	2	5	2	33	28	3	18	27	16	10	30	1
1966	29	19	4	8	6	5	4	7	20	21	5	11	19	17	12	19	1
1967	33	13	4	6	8	4	4	4	18	20	4	10	16	14	10	14	3
1968	33	11	2	7	5	5	4	4	23	20	4	10	18	14	10	16	1
1969	34	13	2	9	7	5	1	4	26	18	3	12	17	14	8	13	1
1970	32	13	2	8	6	7	3	5	20	17	3	6	22	14	12	15	1
1971	26	10	3	7	7	7	4	11	22	17	1	8	22	15	12	14	2
1972	31	10	2	5	6	7	2	7	27	17	2	6	19	14	8	16	4
1973	41	9	2	9	7	6	1	7	20	17	1	21	17	14	7	16	4
MEDIAS	26	13	3	7	6	5	3	10	31	20	3	12	17	16	9	16	2

(Datos facilitados por el Centro Meteorológico del Golfo de Vizcaya.-Ministerio del Aire.)

A este respecto nos parece altamente interesante e importante lo que la empresa que va a construir una central nuclear en Sástago (Zaragoza) (Asociación de las compañías Eléctricas Reunidas de Zaragoza, Energía e Industrias Aragonesas, Fuerzas Eléctricas de Cataluña y Unión Eléctrica Madrileña) han dicho:

...«ha tenido en cuenta las normas de la Atomic Energy Commission de USA, que prohíbe situar centrales nucleares a menos de 50 Kms. de una población de medio millón de habitantes....»

destacando que Zaragoza capital se encuentra a 55 Kms. (Actualidad Económica 12-1-1974, pág. 31).

En este sentido y con respecto a la central nuclear de Punta Endala, en Deva, creemos que no se puede analizar aisladamente del contexto de centrales nucleares que en su proximidad se proyectan o que incluso se están construyendo en la actualidad.

Efectivamente, en Lemóniz (Vizcaya), a unos 50 Kms. de Deva, de la proyectada central de Endala, está en construcción una central nuclear que entrará en funcionamiento alrededor de los años 77-78; y en Oguëlla (entre Ispaster y Ea, también en Vizcaya), a unos 20 Kms. de Punta Endala, está proyectada otra tercera central nuclear de potencia máxima de 6.000 megawattios, además de que bastante próxima hacia el Sur se encuentra otra central nuclear en funcionamiento, la de Sta. María de Garoña, en Burgos.

Por tanto, la situación y el análisis de cada una de ellas no puede realizarse de forma aislada, porque dadas las distancias, un radio de acción de unos 30 ó 50 Kms. abarcaría las tres centrales y los efectos que las mismas producirían en la dispersión de los radioelementos, los efectos térmicos, etc. no serían sólo la suma de los producidos por cada una de ellas, sino que se multiplicarían. Veamos, pues, con más detalle algunos aspectos demográficos.

En un radio de acción de 50 Kms. de las centrales nucleares de Deva, Ispaster y Lemóniz, están todo Guipúzcoa, toda Vizcaya y amplias partes de Navarra, Alava y Santander, con casi 2 millones de habitantes.

Es menester tener presente que Guipúzcoa (626.049 hab. de derecho y 316 hab./km.² en 1970) y Vizcaya (1.041.461 hab. y 471 hab./km.² en 1970) están entre las provincias de más alta densidad (1.^o Barcelona, 508 hab./km.² 2.^o Madrid, 474 hab./km.² 3.^o Vizcaya, 471 hab./km.² y 4.^o Guipúzcoa, 316 hab./km.² datos de 1970). (Añadamos para orientación más clara que la media general del estado español en 1970 era de 67 hab./km.² y que existen provincias con densidades de menos de 15 hab./km.² y zonas esteparias de menos de 10 hab./km.² Datos de 1970).

En un radio de 30 kms. se encuentran casi toda Guipúzcoa, incluido San Sebastián, casi toda Vizcaya, incluido Bilbao y una parte de Santander, incluido Castro Urdiales, con más de millón y medio de habitantes.

Dejando ahora a un lado la central de Lemóniz, que está ya en fase avanzada de construcción a sólo 20 kms. de Bilbao y la población de su ría, dentro de la zona común de superposición de efectos, de estos 30 kms., afectada por las otras dos centrales están, además, de una serie numerosa de pueblecitos, las poblaciones de Guernica, Durango, Elorrio, Ermua, Eibar, Elgóibar, Placencia, Vergara, Cestona, Zumaya, Deva, Motrico Ondárroa, Lequeitio y Marquina, con 140.500 habitantes (datos de 1970).

Fijándonos con más detalle en la central de Deva, y en las poblaciones que entran en un radio de acción de unos 20 kms. de esta central, tenemos:

	Kms.	Habitantes de derecho (1970)
Deva	2.5	4.544
Zumaya	5	6.341
Motrico	5.5	5.107
Cestona	7	4.402
Aizarnazábal	7	559
Guetaria	11	2.658
Zarauz	13	11.764
Ondárroa	9	9.866
Azpeitia	14	10.843
Azcoitia	14	10.317
Elgóibar	13	13.460
Marquina	16	5.007
Ermua	21	14.651
Orio	17	3.899
Eibar	19	37.229
Berriatúa	12	2.093
Lequeitio	18	6.951
Placencia	18	5.659
		155.380

El ferrocarril San Sebastián-Bilbao pasa a solamente 600 metros del punto elegido para ubicar la central nuclear. El número de usuarios del mismo durante el año 1972 ha ascendido a 600.000.

La carretera 634, de San Sebastián a Bilbao, para sólo a 1 km. y medio y ha tenido en el mismo año, 3 millones de usuarios. Según datos estimados, teniendo en cuenta el crecimiento de la zona, se calcula que tendrá dentro de 15 años 6.000.000 de usuarios.

La autopista Bilbao-Behobia, que pasa a 1,8 kms. de dicho plinto ha tenido, según información de Europistas, 4 millones de usuarios y se calcula que tendrá dentro de 15 años, 25 millones de usuarios/año. Precisamente en esa zona, lleva un área de servicio.

Hemos dicho que Deva dista 2,5 km. de la central y tiene 4.544 habitantes. Esta cifra se refiere a los habitantes de derecho, ya que el verano alcanza la de 12.000. El número de bañista estimado en su playa, según datos del Ayuntamiento de la villa, es de 200.000 por temporada.

Zumaya dista 4.5 kms. de la central. Tiene 6.341 habitantes de derecho y 10.000 en la temporada veraniega. El número de bañistas de sus playas se estima en 100.000 por temporada.

Otras poblaciones próximas a la central y con estación estival importante son Motrico y su playa de Saturarán, Ondárroa, Zarauz, Guetaria y Cestona.

Se calcula, por otra parte, que la zona cercana a Deva va a sufrir un aumento de población debido a planes industriales programados en la actualidad.

Estas zonas, además, son la salida apetecida por miles de habitantes de las cuencas del Deva y Nervión superpobladas y superindustrializadas. Piénsese en el éxodo veraniego hacia las playas de Deva, Zumaya, y Saturrarán de los habitantes de Eibar, Elgoibar, Mondragón, Placencia, Vergara... o hacia Lequeitio, Laga, Baquio y playas próximas de los de Bilbao y su ría:

Adjuntamos 2 mapas para más fácil comprensión de estos aspectos demográficos.

En otro orden de aspectos socio-económicos también queremos destacar, por su incidencia directa con el tema que nos ocupa, el referente al sector pesquero.

Efectivamente, es conocida la importancia de este sector en Guipúzcoa y Vizcaya y para ayudar a situar la misma traemos los siguientes datos referidos a la flota pesquera de Guipúzcoa y Vizcaya, así como a los desembarcos de pesca en los diferentes distritos de las dos provincias

Dado que las repercusiones de las centrales nucleares de nuestra costa en la pesca atañen a la de bajura, damos los datos de flota pesquera divididos en los de superficie y total, con el % que supone en cada caso la referente a la pesca de bajura. En el capítulo de desembarcos de pesca, el desglose es más difícil de realizar por existir especies que se pescan tanto en bajura como en altura, teniendo que tener presente, además, que se trata de todos los desembarcos de pesca realizados en los diferentes puertos de los distritos. De todas formas, en algunos puertos al no existir flota más que de superficie, toda la pesca desembarcada se refiere a la de bajura; en los demás, se pueden sacar datos aproximativos teniendo en cuenta los % de flota de bajura indicados.

Veamos, pues, el cuadro referente a la flota pesquera al 31 de diciembre de 1972:

Distrito		Superficie	Total	%
Pasajes	Nº barcos	191	431	44%
	Tripulantes	1.089	5.537	19%
San Sebastián	Nº barcos	99	99	100%
	Tripulantes	877	877	100%
Zumaya	Nº barcos	274	274	100%
	Tripulantes	1.111	1.111	100%
TOTAL	Nº barcos	564	804	69%
GUIPUZCOA	Tripulantes	3.077	7.515	40%

Distrito		Superficie	Total	%
Lequeitio	N.º barcos	135	142	95%
	Tripulantes	596	716	82%
Bermeo	N.º barcos	345	359	95%
	Tripulantes	2.813	3.066	92%
Bilbao	N.º barcos	113	117	96%
	Tripulantes	520	576	90%
Ondárroa	N.º barcos	109	206	53%
	Tripulantes	957	2.328	41%
TOTAL	N. barcos	702	824	85%
VIZCAYA	Tripulantes	4.886	6.686	73%

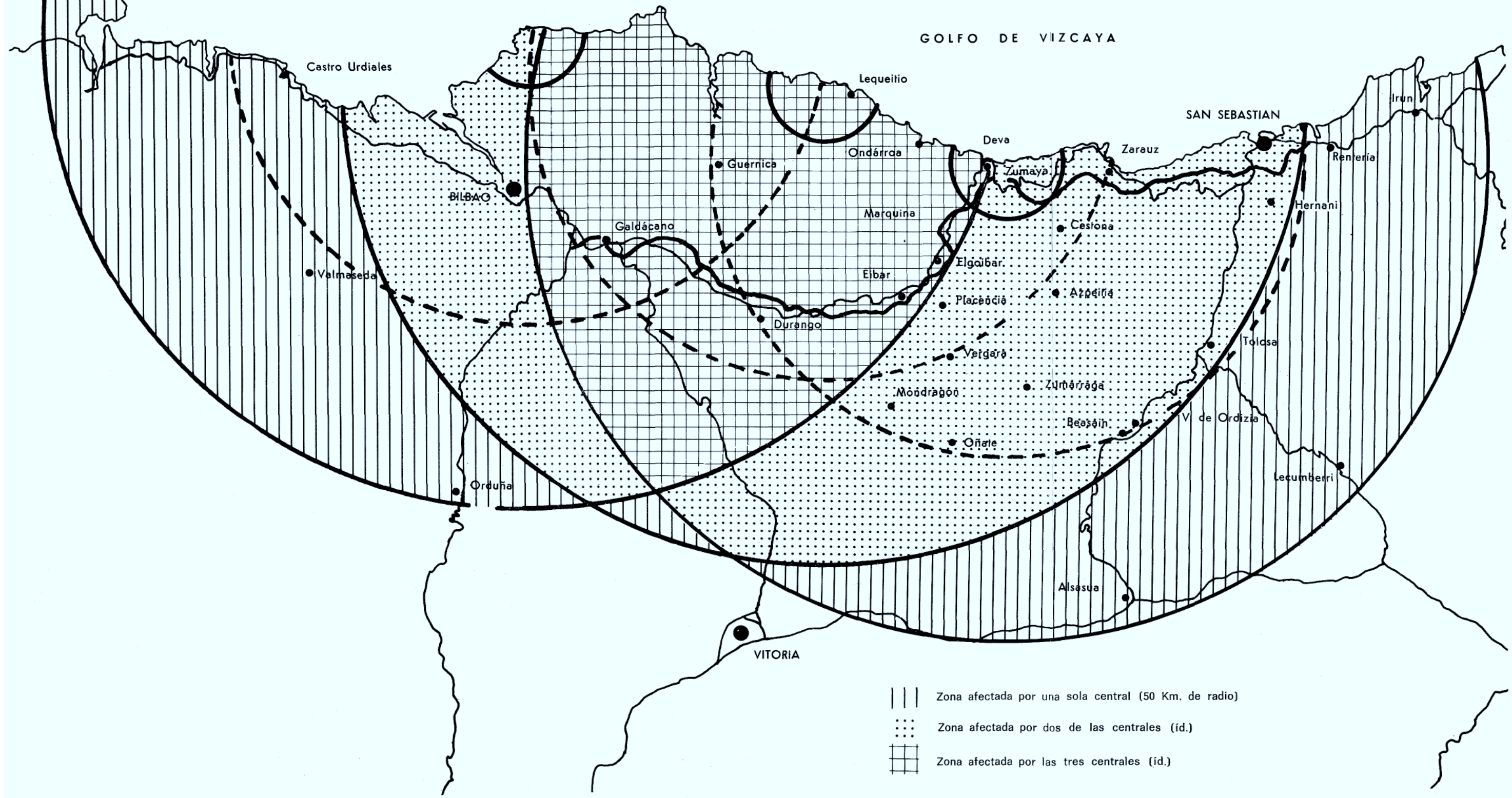
Podemos observar que donde más pesca de bajura hay es en los distritos de San Sebastián y Zumaya, en Guipúzcoa (más afectados precisamente que el de Pasajes, importante puerto, por otra parte, de pesca de altura), y en los distritos vizcainos de Lequeitio, Bermeo y Bilbao, descendiendo algo en el de Ondárroa. En el caso vizcaíno todos los distritos están afectados por las centrales programadas.

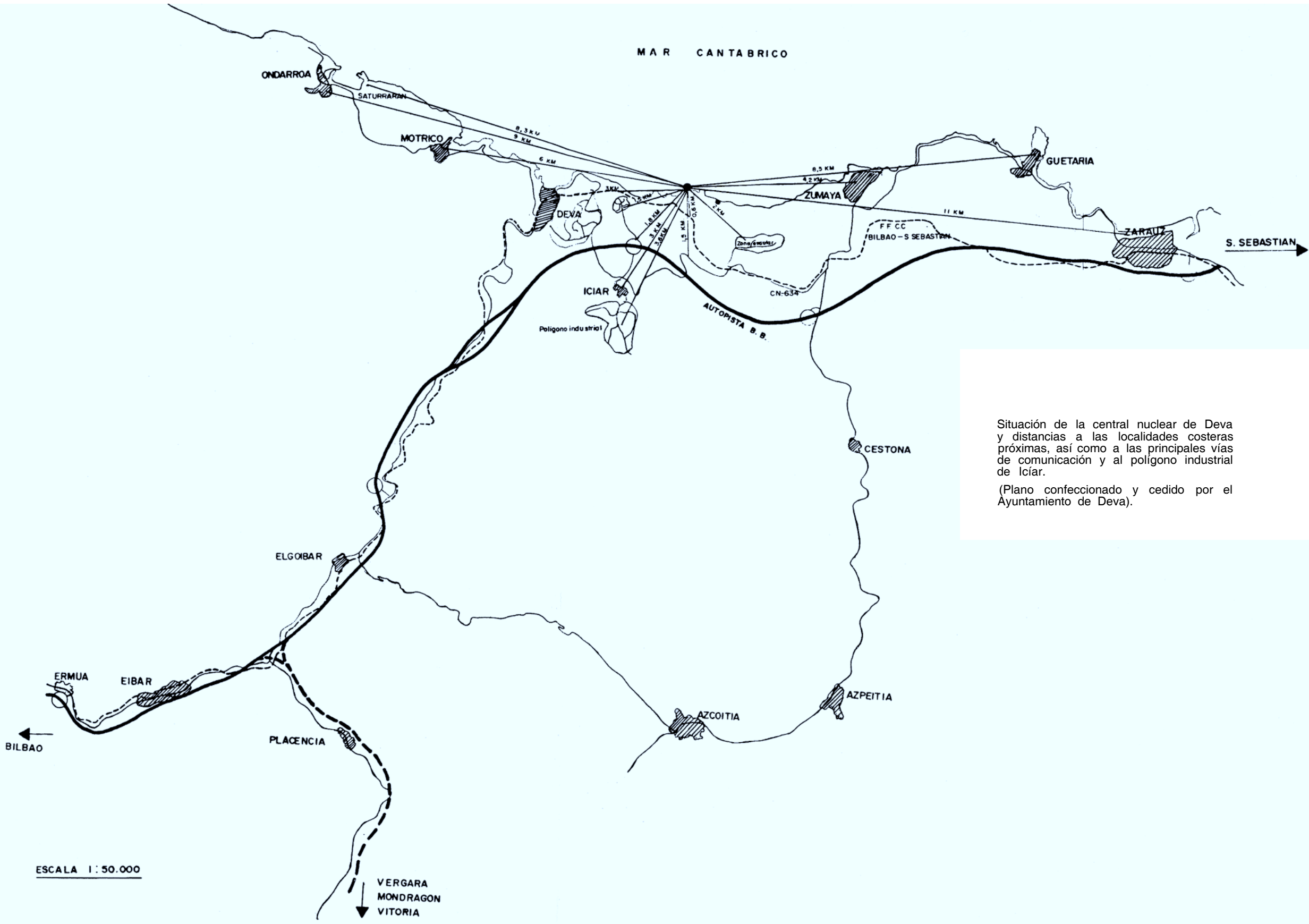
La población afectada directamente, es importante, así como la indirecta, sin entrar en el gran volumen de población en general que es receptora del producto de la pesca.

Y veamos, a continuación, el cuadro referente a los desembarcos totales de pesca en los diferentes distritos (al 31-12-1971).

DISTRITO	Peso (Tm.)	Valor (miles Ptas.)
Pasajes	95.431,5	3.643.425,5
San Sebastián	8.344,6	149.295,5
Zumaya	12.239,6	41.224,2
TOTAL GUIPUZCOA	116.015,7	4.203.945,4
Lequeitio	3.632,2	112.586,2
Bilbao	2.590,6	68.376,2
Bermeo	18.418,6	488.649,4
Ondárroa	23.952,0	430.899,5
TOTAL VIZCAYA	48.593,4	1.100.511,3

RADIOS DE 5, 10 y 50 Km. A PARTIR DE LAS CENTRALES DE LEMONIZ, ISPASTER Y DEVA





Situación de la central nuclear de Deva y distancias a las localidades costeras próximas, así como a las principales vías de comunicación y al polígono industrial de Iciar.
 (Plano confeccionado y cedido por el Ayuntamiento de Deva).

ESCALA 1 : 50.000

Como vemos, el producto bruto es importante y en él habría que hacer un desglose aproximativo de lo que corresponde a bajura, siguiendo los % indicados en el otro cuadro.

Para que sirva de comparación, veamos el producto total en todo el estado español en la misma fecha:

Toneladas: 1.332.041 y un valor en

Pesetas (miles): 34.181.465

Sin entrar, por fin, en más detalles de la memoria explicativa de la central nuclear, y basándonos en las consideraciones que más directamente incumben a esta sociedad, pasamos al capítulo final o conclusiones de este informe.

6. CONCLUSIONES

Las observaciones realizadas a lo largo de este informe, nos llevan a las siguientes conclusiones con respecto a la central nuclear que, en fase de trámite en la actualidad, se proyecta instalar en Punta Endala (Deva, Guipúzcoa). Conclusiones que exponemos y elevamos a la Delegación de Industria de Guipúzcoa y a la opinión pública en general, teniendo muy presente que el informe que la Junta de Energía Nuclear emite es preceptivo e influye de forma importante con respecto a la admisión o no del proyecto de instalación de dicha central por parte de la Dirección General de la Energía, tal como señala el Decreto del 21-7-1972.

- a) Basándonos y fijándonos en la fuerte densidad demográfica de la zona afectada, estimamos que el emplazamiento elegido para la instalación de una Central Nuclear en Deva, es totalmente inadecuado, y más teniendo en cuenta la proximidad de la Central Nuclear de Lemóniz (en construcción) y de la proyectada de Oguëlla, cuyos efectos se superponen. Es éste un factor que nos parece condicionante primordial si se quiere mantener un equilibrio entre el desarrollo tecnológico y el aumento de las condiciones saludables de vida.
- b) Otro aspecto que nos mueve a rechazar dicho emplazamiento es la repercusión sobre la ecología marina de las áreas próximas a la central nuclear proyectada en Deva y a las cercanas de la costa vizcaína, de intensa actividad pesquera.
- c) Además, creemos que antes de la opción por dicha fuente energética y de la elección del lugar de emplazamiento de una central nuclear se debieran de hacer una serie de estudios previos imprescindibles y medidas tales como:
 - 1) Estudio socio-económico profundo, que permita conocer la progresión del consumo energético de una esperada y deseable evolución cualitativa de la industria de la zona en cuestión y de la región a que se dirige (que supone para nosotros, entre otras cosas, una garantía de protección y desarrollo del medio ambiente), de forma que se inscriba y armonice la proyectada central nuclear dentro de dicho marco. (En lo que se refiere a Guipúzcoa y regiones limítrofes, por ejemplo, sabemos que se han hecho algunos estudios a partir de los supuestos actuales sobre la previsible evolución cuantitativa del consumo energético).
 - 2) Estudio geográfico-biológico detallado de la región, previo a la instalación y referido a los siguientes puntos:

- Hidrología y calidad del agua
- Meteorología y climatología
- Geología
- Oceanografía
- Fauna y flora
- Radiación
- Demografía

Todo ello permitirá la apropiada y satisfactoria planificación de las diferentes soluciones a los problemas que la central nuclear, caso de instalarse, generaría, tal como se realiza en diferentes países.

- 3) Si a resultados de estos considerandos previos se decide la construcción de una central nuclear en un determinado lugar, exigencia de utilización de las mejoras tecnológicas introducidas estos últimos años en las mismas, de forma que se garantice la ausencia de riesgos de irradiación, con vigilancia extrema del medio terrestre, del medio marino y del atmosférico, y observancia de las concentraciones máximas vigentes de los diferentes isótopos radiactivos, además de disminuir la contaminación térmica marina. Aplicación de las mejoras tecnológicas que viene siendo crecientemente preceptiva en muchos estados.

En este sentido, creemos que sería fundamental la instalación de las torres de enfriamiento que garantizan un circuito cerrado de agua, sin prácticamente contaminación térmica del mar. Posibilitando así, además, la ubicación de dichas centrales nucleares en puntos no necesariamente cercanos a grandes manantiales de agua.

- 4) Garantizar el almacenamiento adecuado de los desechos radiactivos en los primeros años, y vertido de los mismos, si llegara el caso, en zonas apropiadas y seguras.
- d) Como punto final a este capítulo de conclusiones, queremos dejar sentado que aunque la energía nuclear basada en la fisión del átomo parece, hoy por hoy, una fuente imprescindible de energía, no está considerada a nivel mundial como una solución definitiva, sino transitoria y que, por tanto, no puede fundarse un plan general de suministro energético basándolo sin reservas en dicha fuente energética. Es preciso tener muy presente que la investigación hacia la búsqueda de otras fuentes más duraderas y con menos riesgos, es continua y acelerada.

7. BIBLIOGRAFIA

- «Aguirre Power Plant Complex environmental report», Puerto Rico, water resources authority and by Westinghouse Electric Corporation, 1972.
- «Centre d'Etudes Internationales pour la préservation de la vie et la protection de la Nature», Saint-Cloud (France), Décembre 1973.
- C.S.F.A., «Fessenheim vie ou mort de l'Alsace...» 67-Sales, Février 1971.
- EDF, «Centrales nucléaires et environnement», Ed. Sodel.
- Estudio previo para la instalación de una central nuclear en Punta Endala-Deva, provincia de Guipúzcoa, presentado por Iberduero, S.A., en la Delegación Provincial del Ministerio de Industria, de Guipúzcoa.
- Fundación La Salle de Ciencias Naturales, «Ecología marina». Caracas, 1967.
- Goldsmith, E.; Allen, R.; Allaby, M.; Davoll, J.; Lawrence, S. «Manifiesto para la supervivencia». Alianza Editorial, Madrid, 1972.
- Gusev, N. G.; Mikhailov, L. M.; Turkin, A. D. «Dosis integral de la radiación-gamma sobre un punto determinado, debida a una antorcha de gases inertes radiactivos, y aceptada como criterio para la elección del emplazamiento de los reactores nucleares», Instituto de Biofísica del Ministerio de Sanidad de la URSS. Moscou, Agencia Internacional de Energía Nuclear; SM-89/48.
- Instituto Nacional de Estadística. «Anuario Estadístico de España. 1973». Madrid.
- Instituto Nacional de Estadística. «Poblaciones de derecho y de hecho de los Municipios, Censo de la población de España. Año 1970». Madrid 1971.
- King, Robert C.; «Genética». Espasa Calpe. Madrid, 1969.
- Lebreton, Philippe; «Centrales nucléaires et environnement». Université de Lyon.
- Le Henaff, Y.; «La pollution radioactive». Edité par «Survivre et vivre», París.
- «Man's impact on the global environment», Massachusset's Institute of Technology 1970.
- Odum, E. P.; «Ecología». Editorial Continental, S.A. México 1971.
- Parker, Daniel; «L'envers du décor nucléaire», n.º especial «Protection contre les rayonnements ionisants», Paris 1971.
- Polikarpov, G. C.; «Radioecology of aquatic organisms» and «The accumulation and biological effect of radioactive substances». Publishing Company, Amsterdam 1966.
- «Radioecological concentration processes», Proceeding of an International Symposium Held Stockholm 25-29 April 1966, Symposium Publication Division, Pergamon Press.
- «Sciences & Avenir», n.º 124 Juin 1957, n.º 231 Mai 1966, n.º 254 Avril 1968, n.º 315 Mai 1973. París. «Le défi atomique». N.º especial.
- Sinnot, Dunn y Dobtzhasky; «Principios de Genética». Ediciones Omega. Barcelona. 1970.
- Subsecretaría de la Marina Mercante; Estadística de pesca, 1971». Dirección General de Pesca Marítima: Madrid, 1972.
- Subsecretaría de la Marina Mercante; «Flota pesquera española en 31 de diciembre de 1972». Dirección General de Pesca Marítima. Madrid, 1973.
- «Symposium on radiocology», National Symposium, Arbor, Michigan 1967.
- Thomas, W. L.: «Man's role in changing the face on the earth». Ed. University of Chicago 1956.
- U.S. Atomic Energy Commission; «Thermal effects and U.S. nuclear power stations». Washington D.C., August 1971.