

# La radiactividad en las cadenas alimentarias marinas

por William C. Renfro  
(Laboratorio Internacional de Radiactividad Marina, Mónaco)

Hace unos años, el autor de un artículo de divulgación sobre radiactividad en los océanos dijo que los historiadores futuros escribirán que el hombre había comenzado casi simultáneamente a recoger los frutos de la energía nuclear y de los océanos. Efectivamente, es posible que la energía nuclear constituya un factor importante en la exploración, el estudio y el aprovechamiento racional de los océanos que cubren más de dos tercios de la tierra. La mayoría de las aplicaciones de la energía nuclear originan desechos radiactivos nada apetecibles. Como es natural, los desechos de alta actividad se controlan y se almacenan con sumo cuidado. Además, los desechos de baja radiactividad y subproductos afines se vierten en el medio ambiente con sujeción a las precauciones más rigurosas. La investigación del comportamiento de los radioisótopos que penetran en el medio marino compete a los radioecólogos marinos. El presente artículo describe algunos estudios de los radioecólogos acerca de la transmisión de sustancias radiactivas entre el agua, las plantas, los animales y los sedimentos oceánicos.

La radiactividad artificial que llega a los océanos tiene muy diversos orígenes. Algunos de los principales son los siguientes: precipitaciones radiactivas resultantes del ensayo de armas nucleares, descargas de buques de propulsión nuclear, vertidos de plantas de reelaboración de combustible o de centrales nucleares en ríos y zonas costeras, depósito de los radioisótopos arrastrados por el aire procedentes de instalaciones nucleares, y vertido de desechos de poca actividad, envasados, en el mar. Una vez que los elementos radiactivos penetran en los océanos pueden dispersarse y diluirse por diversos procesos físicos y químicos. Pero también es posible que sean concentrados debido a ciertos procesos oceánicos, principalmente los de índole biológica. Muchos radioecólogos marinos estudian precisamente la capacidad de concentración de las plantas y los animales marinos.

Si se comparan las concentraciones de los elementos presentes en el agua del mar con sus concentraciones en los organismos marinos, se observan diferencias notables. Por ejemplo, un gramo de agua oceánica contiene tres milmillonésimas ( $3/1\ 000\ 000\ 000$ ) de gramo de cobre, mientras que un gramo de fitoplancton, las plantas unicelulares que forman la "hierba del mar", contiene unas 90 millonésimas ( $90/1\ 000\ 000$ ) de gramo de cobre. Esta concentración 30 000 veces mayor indica claramente que las pequeñas células vegetales son capaces de extraer el cobre disuelto en grandes volúmenes de agua marina durante su corta vida. Hay otros muchos elementos en las aguas de los océanos que son concentrados de 1 000 a 100 000 veces por los organismos marinos. Si las plantas y animales son capaces de concentrar determinados elementos presentes naturalmente en el agua del mar, es obvio que también serán capaces de concentrar los isótopos radiactivos artificiales de los mismos elementos. Aunque con frecuencia se ha dicho que los radionúclidos se concentran progresivamente en cada eslabón sucesivo de las cadenas alimentarias marinas, sólo en muy pocos casos los datos científicos obtenidos en el laboratorio o en el

mismo océano corroboran esta generalización. Por consiguiente, es importante saber qué radioisótopos son concentrados por los organismos marinos y cómo dichos radioisótopos pasan de un eslabón a otro de las cadenas alimentarias marinas.

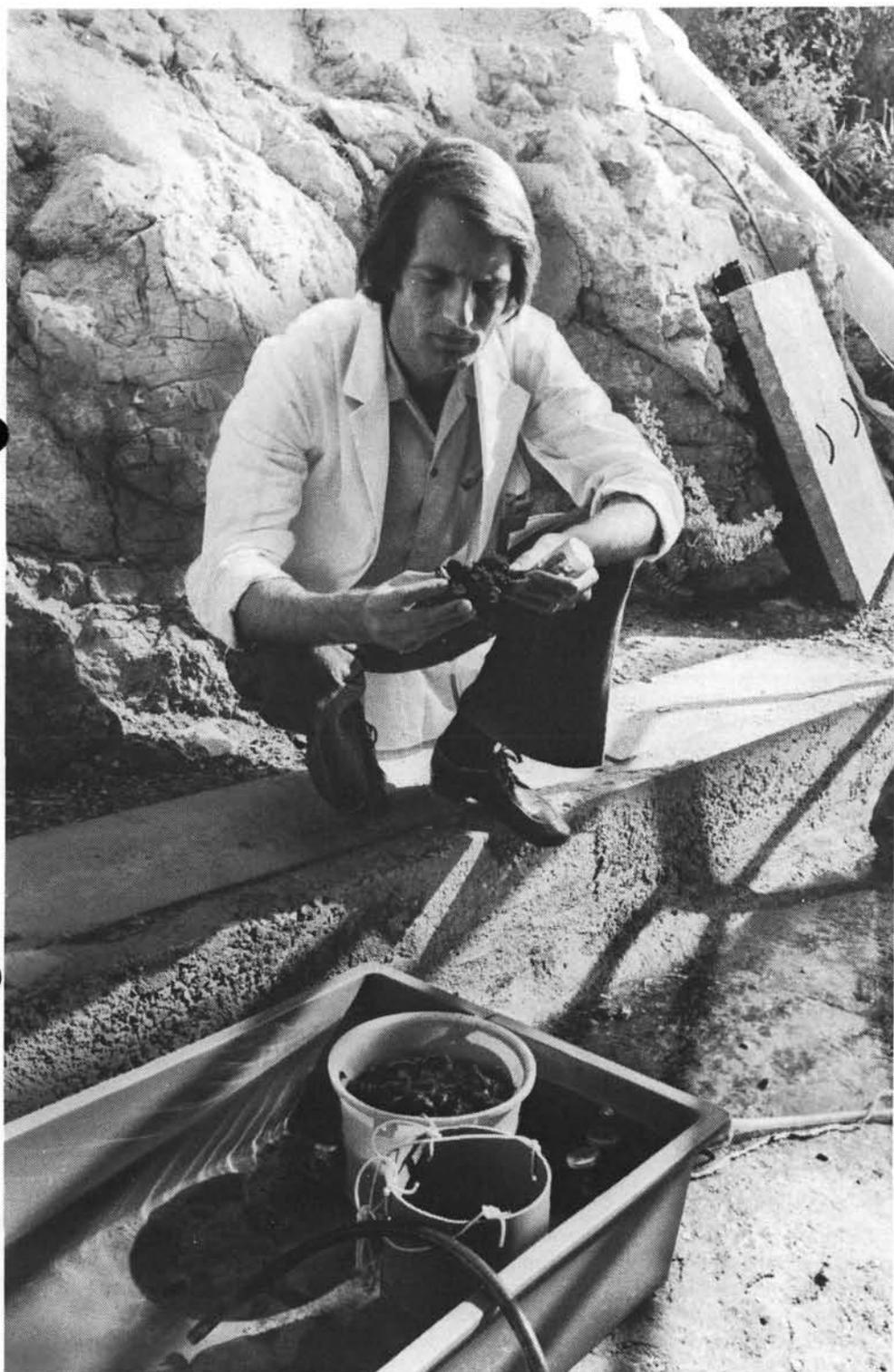
La fuente de toda energía para las plantas y los animales marinos es la radiación solar. Las plantas unicelulares que flotan en las capas superiores de los océanos transforman la energía electromagnética de la luz solar en energía química, por un proceso denominado fotosíntesis. Estas células vegetales microscópicas sirven de alimento a numerosos organismos, por ejemplo, a pequeños crustáceos, moluscos, larvas de peces y otros animales. Estos animales herbívoros son, a su vez, devorados por animales carnívoros, tales como los crustáceos o peces grandes. Al final de todas las cadenas alimentarias marinas (o, más exactamente, redes alimentarias) se encuentran los grandes peces y mamíferos carnívoros y, en muchos casos, el hombre.

Si fuera simple y fácil describir cuantitativamente las cadenas alimentarias, y si sólo las plantas unicelulares fueran capaces de extraer los elementos disueltos en el agua del mar, sería relativamente fácil conocer el ciclo biológico de la radiactividad. Bastaría medir la cantidad de los diversos radionúclidos que acumulan dichas plantas, y seguir la concentración de estos radionúclidos en los sucesivos eslabones de las cadenas alimentarias que se basan en esas plantas. Este trabajo podría hacerse en un ambiente natural donde se viertan radioisótopos, o en un laboratorio, en condiciones controladas. Por desgracia, la situación es mucho más compleja, pues los animales, igual que las plantas, pueden recibir directamente del agua por lo menos una parte de sus cargas corporales de radionúclidos. Además, las cadenas alimentarias marinas, cuando se estudian detenidamente, suelen mostrar una extraordinaria complejidad. Puede suceder que una especie particular de animales se nutra de una gran variedad de otros animales y cambie sus hábitos nutritivos con la edad, con las estaciones, al variar la abundancia de las presas, o por migración a otros medios. Se ve claramente lo mucho que queda por conocer acerca de la transmisión de radionúclidos entre los diversos organismos que componen la cadenas alimentarias marinas.

Desde hace más de diez años, en el Laboratorio de Radiactividad Marina que tiene en Mónaco el Organismo Internacional de Energía Atómica, se desarrollan investigaciones sobre las cadenas alimentarias marinas. Estos estudios versan sobre los mecanismos y ritmos de acumulación y pérdida de radiactividad en los organismos marinos, a diversos niveles en las cadenas alimentarias oceánicas. Por ejemplo, los organismos marinos no concentran por igual todos los elementos radiactivos. Los que son más concentrados son aquellos elementos que requieren las plantas y animales vivos para formar sus estructuras corporales, producir energía y promover diversas reacciones bioquímicas. Así pues, los radioisótopos de elementos tan importantes desde el punto de vista biológico como el hierro, el manganeso y el cinc son concentrados por los organismos y transmitidos a animales superiores en la red alimentaria. Aunque muchos de los elementos no tienen una función metabólica real, pueden ser concentrados porque químicamente son similares a los de importancia biológica. Finalmente, algunos radioelementos se concentran debido a su tendencia a ser sorbidos por las superficies de partículas, especialmente de las finas partículas arcillosas y las células vegetales microscópicas, de gran superficie en relación con su volumen.

Pero no es sólo la importancia biológica de un radioisótopo la que determina en qué grado un organismo lo va a acumular. Existen otros factores que influyen en la captación

Los mejillones y cangrejos que van a utilizarse en experimentos de laboratorio se disponen en cubetas abiertas que se mantienen flotando en las aguas del Mediterráneo que se extienden al pie del Instituto Oceanográfico de Mónaco. ►





En esta dependencia del Laboratorio, en la que se mantiene constante la temperatura ambiente, los organismos marinos empleados en experimentos (camarones, almejas, cangrejos, etc.) son objeto de diversos ensayos empleando trazadores radiactivos. El agua de mar que llega a los grifos procede del sistema de alimentación del Museo Oceanográfico, importante instalación entre aquellas de que dispone el Laboratorio.

de radiactividad. Por ejemplo, investigaciones recientes realizadas en el Laboratorio de Mónaco han demostrado que la forma física y química del radionúclido tiene importancia. Este efecto se ha comprobado en experimentos con rutenio-106, concentrado más rápidamente y en mayor grado por crustáceos marinos cuando se añadía al agua del mar en forma de cloruros que cuando se añadía en forma de compuestos del nitrógeno. Experimentos anteriores habían mostrado que la presencia de otras sustancias en solución en el agua del mar también influye en la acumulación de radionúclidos por los organismos. El ritmo de acumulación de cinc-65 por una almeja disminuye si se añade al agua calcio en solución, pero aumenta si se añaden iones férricos. El incremento del contenido en hierro del agua de mar da lugar a la formación de partículas enriquecidas en cinc-65 que el molusco tiende a extraer del agua. Otros experimentos mostraron que algunos radionúclidos, que normalmente son concentrados en grado elevado por los organismos marinos, son inertes desde el punto de vista biológico cuando se presentan en el agua del mar formando parte de moléculas orgánicas. Algunos radionúclidos, aun fijados fuertemente a los sedimentos del fondo, son captados en cantidades limitadas por gusanos y otros organismos bénticos.

El Laboratorio de Mónaco sigue investigando la concentración de los desechos radiactivos en los organismos marinos, y los mecanismos según los cuales estas sustancias son transmitidas por las redes alimentarias marinas. Para resumir en una sola frase la conclusión general más importante de estos trabajos, podría decirse que "cuanto más detenidamente se estudian los procesos de concentración biológica de los radionúclidos, más complejos resultan ser".