

00.72.06

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA
DEPENDIENTE DE LA PRESIDENCIA DE LA NACION

C.N.E.A. Biblioteca	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
Nº 3	AÑO 1972

ENERGIA NUCLEAR

UNA NECESIDAD PARA EL DESARROLLO

REPUBLICA ARGENTINA

1972

Este opúsculo fue preparado sobre la base del folleto "Beneficios para la Humanidad" editado por las Naciones Unidas y el Organismo Internacional de Energía Atómica, en ocasión de la Cuarta Conferencia Internacional sobre la Utilización de la Energía Nuclear con Fines Pacíficos. Se lo ha completado con informaciones propias de nuestro país, y lleva un apéndice conteniendo un glosario de los términos nucleares más frecuentes.

ENERGIA NUCLEAR

UNA NECESIDAD PARA EL DESARROLLO

LAS CRECIENTES NECESIDADES MUNDIALES DE ENERGIA

El aprovechamiento por el hombre de la energía atómica es un descubrimiento relativamente reciente pues data de hace apenas treinta años.

Este gran descubrimiento ha abierto enormes posibilidades para el progreso humano.

Entre otros beneficios la energía atómica permite producir electricidad, elaborar radioisótopos para emplearlos en la agricultura, la medicina y la industria, mejorar y aumentar la producción de alimentos y disponer de un eficaz elemento para múltiples investigaciones.

Cada año se necesita más energía para atender las necesidades de una población mundial en crecimiento, elevar el nivel de vida en los países en desarrollo y mantener el crecimiento económico en los países industrialmente adelantados.

Gracias al trabajo de los científicos, el hombre puede hoy en día servirse en la tierra del mismo tipo de energía que genera el propio sol: la energía atómica o nuclear. Se trata de la energía liberada por el núcleo del átomo, de un modo continuo y controlado, en un número creciente de centrales construidas cada año en más países. A finales del presente siglo, tal energía será probablemente el origen de más de la mitad de la electricidad producida en el mundo.

En 1910 la producción industrial de energía en el mundo entero equivalía a seis millones de kilovatios-hora (kWh) térmicos. En dicho año, la elec

tricidad suponía tan sólo una proporción minúscula de este total.

En 1955, la producción mundial de energía era equivalente a unos 26 billones de kWh térmicos. Actualmente, en 1971, asciende a aproximadamente 50⁻ billones de kWh térmicos. Se espera que sea triple a finales del presente siglo.

Gran parte de esta energía se utiliza directamente, como sucede en la combustión de la gasolina en un automóvil o del fuel oil en una instalación de calefacción central. Sin embargo, por razones de comodidad, rendimiento y limpieza, se transforma en electricidad una parte cada vez mayor del total. En consecuencia, la producción de electricidad está creciendo a un ritmo más rápido que la de las restantes formas de energía, como permite apreciar el gráfico (Fig. 1).

La cantidad de electricidad consumida per cápita se ha convertido en patrón para medir la prosperidad de una nación. En la mayor parte de los países, la producción de electricidad se duplica cada diez años; en muchos, sobre todo en aquéllos en desarrollo, el período de duplicación es sólo de cinco a siete años. Sin embargo, la mayoría de la población mundial carece todavía de electricidad. En Asia, por ejemplo, donde vive más de la mitad de la humanidad, sólo se produce una décima parte de toda la electricidad mundial.

Se espera que la población será de seis a siete mil millones a fines de siglo, y que el crecimiento más acentuado se produzca en los países en desarrollo. Evidentemente, se precisará un enorme esfuerzo para suministrar la energía y, sobre todo, la energía eléctrica necesaria para que los países en desarrollo logren un nivel de vida tolerable.

PAPEL DE LA ENERGIA NUCLEOELECTRICA

No cabe poner en duda la necesidad de más energía. ¿Qué proporción de esta necesidad será satisfecha por la energía nucleoelectrónica?

En 1955 sólo había en servicio un pequeño reactor de potencia, de cinco megavatios (5 MW(e)). A finales de 1970, 15 años después, la capacidad nuclear instalada superaba los 19000 MW(e). Para 1980, se estima que la capacidad nucleoelectrónica será superior a los 300000 MW(e)) es decir, aproximadamente el 15% de la capacidad total de generación de electricidad. Esta progresión se representa gráficamente en la Fig. 2.

La razón de este crecimiento es, por supuesto, fundamentalmente de naturaleza económica: en la mayor parte de los países industrializados, la energía nucleoelectrónica -generada en centrales de grandes dimensiones- resulta ya más barata que la electricidad de cualquier otro origen.

Pero hay que tener también en cuenta consideraciones a largo plazo. Las reservas de carbón, petróleo y gas natural, no son ilimitadas. Estos recursos energéticos <<fósiles>> representan al mismo tiempo valiosas materias primas para la industria: fabricación de plásticos, medicamentos, co-

lorantes, etc.. La tecnología se está orientando hacia las fuentes de energía que, a diferencia de los combustibles fósiles, provocan poca o ninguna contaminación. Se recurrirá también cuando sea factible a la energía geotérmica -el calor liberado a través de la corteza terrestre, por ejemplo, en fuentes termales y géiseres, la energía de las mareas y la solar. Pero la energía nuclear es, con mucho, la nueva fuente más importante y fácilmente utilizable en el futuro próximo.

Las reservas de combustible para las centrales nucleares, principalmente en forma de minerales de uranio, representan un potencial energético mucho mayor que todas las reservas conocidas de combustibles fósiles juntas. Siempre que los reactores reproductores rápidos den los resultados apetecidos, la energía nuclear generada en las reacciones de fisión será como una garantía de que el hombre, durante muchas generaciones, no tendrá que temer el agotamiento de sus recursos energéticos. Se están realizando también trabajos de investigación y desarrollo encaminados a resolver los problemas técnicos que entraña la liberación controlada de energía por fusión nuclear. De ser posible construir reactores de fusión rentables, el hidrógeno pesado extraído de los océanos constituirá una fuente casi inagotable de combustible para la humanidad.

APROVECHAMIENTO DE LA

ENERGIA DEL ATOMO

LA TEORIA - Los átomos son partículas extraordinariamente pequeñas que componen toda la materia de nuestro mundo, imposibles de ver, ni aún con los más potentes microscopios. Así el aire, la piedra, el agua, el cuerpo humano, están formados por átomos. Tan pequeños son, que en una gota de agua caben millones y millones.

Aunque antiguamente se creía que los átomos eran indivisibles; a fines del siglo pasado se demostró que están formados a su vez por partículas menores. Se lo representa como un sistema solar en miniatura, formado por un núcleo central compuesto por dos clases de partículas, los *protones*, cargados con electricidad positiva y los *neutrones*, sin ninguna carga. Alrededor de este núcleo, como los planetas alrededor del sol, giran otras partículas llamadas *electrones*, con carga eléctrica negativa. En el núcleo del átomo se halla encerrada una extraordinaria energía, que es precisamente la que hoy aprovecha el hombre para su beneficio.

La energía nuclear se produce al ser liberadas las fuerzas que mantienen unido el núcleo del átomo. Esta liberación puede tener lugar bien por fisión de un átomo o bien por su fusión con otro. Todos los reactores nucleares que se utilizan hoy día para la investigación y la producción de electricidad se basan en el principio de la fisión. Los núcleos de algunos átomos de uranio -sobre todo los del uranio-235- pueden escindirse bien espontáneamente o bien al incidir sobre ellos las partículas sub-atómicas llamadas neutrones. Cada vez que tiene lugar una fisión, se libera energía, y el núcleo que se desintegra emite dos o tres neutrones que, a su vez, pueden desencadenar otras fisiones, manteniéndose así el proceso. La fisión completa de un kilogramo de uranio libera una cantidad de calor equivalente a la combustión de 3 000 toneladas de carbón.

El uranio y otros materiales fisionables se pueden disponer de manera que la fisión de los núcleos sucesivos tenga lugar con gran rapidez, caso de

la reacción incontrolada en cadena que da lugar a una explosión nuclear, o bien lentamente, de forma controlada, como sucede en el núcleo de un reactor. Importa señalar que los reactores se construyen y explotan con gran lujo de precauciones, de manera que no pueda producirse en ellos una explosión nuclear ni un accidente por pérdida del control.

Cuando los átomos se escinden, los productos de fisión se separan a grandes velocidades y son frenados por los materiales circundantes. La energía cinética cedida por estos fragmentos al perder velocidad genera calor. En los reactores utilizados para producir electricidad, este calor se extrae del núcleo por medio de un refrigerante que se utiliza generalmente para producir vapor que, a su vez, acciona un generador eléctrico.

En los reactores alimentados con uranio, algunos neutrones son captu-rados por núcleos que no se escinden fácilmente, los de uranio-238, una forma de este elemento ligeramente más pesada. Cuando sucede ésto, el átomo de este uranio-238 se convierte en otro material fisionable, el plutonio-239, que será un importante combustible para la futura generación de reactores.

El uranio, tal como se encuentra en la naturaleza, contiene tan sólo un átomo de uranio-235 (el isótopo fisionable) por cada 140 átomos de ura-nio-238. Purificado este uranio natural se puede emplear directamente como combustible en determinados tipos de reactores. Pero muchos reactores mo-dernos de potencia utilizan uranio en el que se ha aumentado la concentra-ción de uranio-235; este uranio se denomina <<enriquecido>>.

Los neutrones que provocan la fisión de un átomo pueden ser rápidos o lentos. En la actualidad, la mayoría de los reactores funcionan con neu-trones lentos y reciben el nombre de reactores térmicos. Cuando tiene lu-gar la fisión, los neutrones producidos poseen una elevada velocidad ini-cial y, para conseguir la fisión de los átomos de uranio-235 en un reactor térmico, es necesario frenarlos empleando un moderador, por ejemplo, agua común, agua pesada (en cuya composición entra el hidrógeno pesado) o grafi-to. Los reactores reproductores rápidos, que se están construyendo ahora, funcionan con neutrones de gran velocidad y no precisan moderador.

....Y LA PRACTICA- La primera reacción controlada en cadena se consiguió en Chicago en diciembre de 1942, empleando un conjunto combustible de uranio natural con grafito como moderador. Desde entonces, se ha desarrollado con gran rapidez la tecnología de los reactores. Se han creado diversos tipos de reactores. Todos ellos poseen un núcleo en el que está contenido el combustible y dispositivos de control para regular su potencia, así como un refrigerante para extraer el calor. Los reactores térmicos se clasifican en distintos tipos, según el combustible (uranio natural o enriquecido), el refrigerante (agua, gas, orgánico, etc.) o el moderador (agua ligera, agua pesada, grafito). Además, los reactores refrigerados por agua pueden ser del tipo de agua a presión o del tipo de agua hirviente. En este último ca-so, el agua hierve en el interior del núcleo y el vapor así producido se utiliza directamente para accionar un turbogenerador.

El primer reactor utilizado para la generación de electricidad se construyó en Obninsk (Unión Soviética) y empezó a funcionar en mayo de 1954 con una potencia de 5 MW(e). En él se emplearon agua ligera como refrigerante y grafito como moderador. En enero de 1956, se puso en servicio en Mar-

coule (Francia) un reactor refrigerado por gas y moderado por grafito, de una potencia de 2 MW(e). Pocos meses después, se pusieron en funcionamiento dos reactores análogos refrigerados por gas, con una potencia conjunta de 100 MW(e), en Calder Hall (Reino Unido). En diciembre de 1957, apareció en escena un nuevo tipo, con la construcción de una central en Shippingport (Estados Unidos) de una potencia de 90 MW(e). En esta central se utiliza uranio enriquecido, con agua ligera como refrigerante y moderador, pero el agua está sometida a una gran presión. Pronto siguió a esta central un reactor de 200 MW(e) en Dresden, Illinois (Estados Unidos), en el que también se utilizaba uranio enriquecido, pero la ebullición del agua tenía lugar en el núcleo, de forma que el vapor pasaba directamente a la turbina. En 1962, Canadá creó un sistema moderado y refrigerado por agua pesada en el que se utilizaba uranio natural.

Desde entonces se han multiplicado el número y las dimensiones de los reactores nucleares de potencia y han aparecido nuevas variantes. Entre éstas cabe citar el reactor moderado por agua pesada y refrigerado por agua hirviente, que entró en funcionamiento, en su versión de uranio enriquecido, en el Reino Unido en 1967 y, en su versión de uranio natural, en el Canadá en 1971, y el reactor de uranio enriquecido y elevada temperatura con refrigerante gaseoso (helio), como el del proyecto Dragon (OCDE-AEEN) en el Reino Unido, la central Peachbottom en los Estados Unidos y el reactor AVR en la República Federal de Alemania. A esta lista, se podrían añadir algunos tipos más.

Todos los reactores que se han mencionado hasta ahora son de tipo térmico. Al consumir uranio natural o enriquecido, generan un importante producto secundario también combustible: plutonio. En este hecho se basa un nuevo tipo de reactor: el reproductor rápido.

En un reactor reproductor típico, el núcleo está rodeado por una envoltura de material fértil, como es el uranio-238, que captura los neutrones que escapan del núcleo, generando así un nuevo material fisionable en proporción mayor que lo que consume: al cabo de 10 a 20 años de funcionamiento, podría producir suficiente material fisionable para dotar de combustible a otro reactor de las mismas dimensiones.

Una gran ventaja del reactor reproductor, también un incentivo en los trabajos para conseguirlo, radica en su mayor aprovechamiento de los combustibles nucleares. En tanto los reactores térmicos actuales pueden quemar del uno al dos por ciento del uranio y torio disponibles, los reactores reproductores podrían convertir en calor una proporción del 60 al 80 por ciento. Ello significa que si se lograra realizar los reactores reproductores, no sólo disminuirían los costos de generación, sino que la disponibilidad de las reservas de combustible nuclear aumentaría cincuenta veces.

La primera central experimental de este tipo, de una potencia de 14 MW(e), se construyó en Dounreay (Reino Unido) en 1959. En la actualidad, se están construyendo en distintos países cuatro grandes prototipos de reactores reproductores rápidos, de potencias que oscilan entre los 150 y los 600 MW(e). Muchos países adelantados están invirtiendo grandes sumas en el desarrollo y construcción de reproductores rápidos, y aunque subsiste una serie de problemas técnicos, se espera que tales reactores entrarán en explotación comercial a mediados de la década del ochenta, para complementar primero y sustituir después a los actuales reactores térmicos.

ENERGIA ELECTRICA PARA LA INDUSTRIA

Los gastos de instalación de una central nuclear, que comprenden una elevada inmovilización de fondos en combustible, son normalmente superiores a los de una central clásica de "combustible fósil" de la misma capacidad, aunque los costos de explotación tienden a ser muy inferiores. Esto compensa la elevada inversión inicial y puede dar por resultado la reducción del costo unitario de la electricidad producida. Además, los gastos de instalación por unidad de capacidad de una central nuclear decrecen con mayor rapidez que los de una central clásica al aumentar la capacidad. Dicho de otro modo, en las centrales nucleares las economías de escala son mucho más apreciables que en las centrales clásicas. En la figura (pág. 14) se representan los principales elementos componentes de los costos y su importancia relativa en el caso de las centrales clásicas y nucleares de gran capacidad.

Cuando los planificadores, técnicos y economistas hayan de decidir un programa nacional o regional de abastecimiento de electricidad, deben determinar qué combinación de las diversas capacidades y tipos de centrales satisfará mejor la demanda prevista de la industria y demás consumidores. Tal demanda oscilará entre la carga de punta y la carga básica durante cada 24 horas y de una estación a otra. Los planificadores no deben limitarse a considerar los aspectos económicos actuales de las diversas centrales, sino que han de tener en cuenta las tendencias en cuanto a los costos de los distintos combustibles y centrales en el futuro. De esta manera, cada país puede optar por una economía energética bien equilibrada, con bajos costos de generación.

En los países industrializados, las grandes centrales nucleares (que hacen frente a la mayor parte de la carga básica) representan una proporción cada vez mayor del total de electricidad generada. En la actualidad, las centrales que se construyen en los países industrializados se sitúan por lo general en el intervalo de 600 a 1200 MW(e), pues las grandes centrales son más económicas que las pequeñas. En consecuencia los fabricantes concentran sus esfuerzos en la estandarización de unidades comprendidas en este intervalo.

En la mayoría de los países en desarrollo, la demanda total de energía eléctrica, aunque en rápido crecimiento, es todavía pequeña. En una red eléctrica modesta, la capacidad máxima de cada unidad -nuclear o clásica- que puede integrarse viene limitada por consideraciones de orden técnico y económico; la difusión de la energía nucleoelectrica en los países en desarrollo dependerá en primer lugar de la magnitud y ritmo de crecimiento de la red nacional o regional. (En algunas redes en rápido crecimiento, el período de duplicación puede ser de cinco a siete años). También dependerá de que los fabricantes produzcan unidades nucleares rentables, de una capacidad de 500 MW(e) y menores. Pero lo probable es que las necesidades de cada país sean diferentes, y la implantación de la energía nucleoelectrica debería basarse en un estudio detallado no sólo de una central aislada, sino de toda la red, tanto en su forma actual como futura.

Una serie de países en desarrollo han emprendido ya programas de energía nucleoelectrica. La primera central nuclear de la India, la central de

Tarapur, con dos reactores que suponen una potencia combinada de 380 MW(e), entró en funcionamiento en 1969.

La República Argentina ha sido el primer país de Latinoamérica en iniciar la construcción de un reactor de potencia. La Central Nuclear en Atucha de 319 MW(e) de potencia, entrará en funcionamiento en 1973. Está en licitación una segunda Central Nuclear de 600 MW(e) de potencia, a instalarse en la Provincia de Córdoba a orillas del lago del Embalse Río III. Ambas Centrales quedarán interconectadas a la red eléctrica del Litoral-Gran Buenos Aires. Está en estudio la instalación, antes de 1980 de una tercera central, en la Provincia de Buenos Aires.

PARA LA PROPULSION DE

BUQUES MERCANTES

Han construído buques mercantes nucleares prototipo la Unión Soviética (el rompehielos *Lenin*), los Estados Unidos (el *Savannah*) y la República Federal de Alemania (el *Otto Hahn*), y se encuentra en construcción en el Japón una nave para investigaciones oceanográficas. Aunque los mercantes nucleares distan mucho aún de ser rentables, la tendencia a operar con buques gigantes y lograr tiempos de carga y descarga cada vez más cortos puede hacer que la propulsión nuclear resulte más interesante en los años por venir.

Existen otras aplicaciones posibles de los reactores nucleares, por ejemplo, la generación de calor para consumo industrial y urbano, como subproducto de la generación de energía eléctrica, pero, con mucho, la aplicación más importante será la de contribuir a satisfacer las necesidades mundiales de electricidad, que tan rápidamente aumentan.

Todas las centrales nucleares en explotación o en construcción en la actualidad utilizan uranio como combustible. Hace muy poco se cifraron en 840000 toneladas de óxido de uranio (U_3O_8) las actuales reservas a bajo costo, de las cuales el 85 o 90% se encuentran en cuatro países industriales (los Estados Unidos, Canadá, Sudáfrica y Francia) y el resto en otros 12, uno de ellos la Argentina. Las reservas uraníferas indetificadas en nuestro país cubren nuestras necesidades hasta mediados de la década del 90 y es evidente que habrán de encontrarse reservas adicionales.

LA CHIMENEA SIN HUMO Y

EL MEDIO AMBIENTE

Las centrales que queman combustibles ordinarios, tales como carbón, petróleo o gas, descargan en la atmósfera productos de combustión. Una central alimentada con carbón, de 350 MW(e), expulsa diariamente alrededor de 75 toneladas de dióxido de azufre, 16 toneladas de dióxido de nitrógeno y cinco toneladas de hollín. El escape de tales productos de combustión es inevitable, pero el perfeccionamiento de las características técnicas permite reducirlo: las centrales térmicas de este tipo son hoy mucho más <<limpias>> que las construídas hace sólo pocas décadas.

Las centrales nucleares pueden contribuir a *reducir* la contaminación del medio ambiente.

Tienen una gran ventaja sobre los otros tipos de centrales térmicas: son "limpias". No originan productos de combustión en el sentido corriente de la palabra. El "quemado" del combustible nuclear origina pequeñas cantidades de sustancias radiactivas, los llamados productos de fisión que, por lo general, suman unos pocos kilos al día en una central nuclear grande. Pero bastante más del 99% de estos productos permanecen dentro de los elementos combustibles herméticamente cerrados. Una cantidad muy pequeña de productos de fisión suele penetrar en el sistema de refrigeración, pero se puede extraer. Una cantidad mucho menor todavía escapa al medio ambiente por conducto del aire y el agua utilizados en la central; en consecuencia, se vigila el contenido radiactivo de las descargas de estos fluidos, a fin de verificar su inocuidad.

Todas las centrales generadoras de vapor, por ejemplo, descargan en el medio ambiente calor residual, pero las centrales clásicas disipan más calor en la atmósfera y las nucleares más en el agua de refrigeración. Si no se dispone de suficiente agua de refrigeración, el problema suele resolverse construyendo torres de enfriamiento, a fin de disipar el calor residual con el menor efecto posible sobre el medio ambiente.

TRANSPORTE Y REPROCESAMIENTO DE MATERIALES RADIATIVOS

En un momento determinado, el combustible irradiado (altamente radiactivo) de una central nuclear ha de ser transportado a una planta de reelaboración, en la que se extraen los componentes útiles y se da a los desechos restantes una forma adecuada. Si, debido a un accidente, escapara parte de este combustible, las consecuencias podrían ser graves. Muy pronto se reconoció la importancia de transportar el combustible exclusivamente con arreglo a normas acordadas a escala internacional y cumplidas con todo rigor.

El punto crucial en la separación de los desechos nucleares es la planta de reelaboración, donde comienza la importante actividad que es el tratamiento de estos desechos, la mayor parte de los cuales se encuentran en estado líquido. Después del período inicial de almacenamiento, durante el cual desaparece gran parte de la radiactividad, los desechos líquidos se tratan (frecuentemente se solidifican) de manera que puedan almacenarse sin riesgos en lugares inaccesibles, lejos del hombre y de su medio ambiente.

MEDIO PARA FOMENTAR

LA CIENCIA Y LA ENSEÑANZA

Además de contribuir a satisfacer las necesidades de energía eléctrica, los reactores nucleares son también un instrumento importante de investigación, desarrollo y enseñanza. Hoy en día están en funcionamiento en más de 40 países unos 400 reactores de investigación de diversos tipos. En su mayoría son pequeños y suelen encontrarse en las universidades de todo el mundo y en los centros de investigaciones nucleares de los países en desarrollo.

En Latinoamérica el primer reactor nuclear puesto en funcionamiento fue el RA-1, íntegramente construido en nuestro país y que está en operación desde 1958 con fines de investigación y producción de radioisótopos.

Actualmente la producción de radioisótopos en nuestro país se realiza primordialmente en el RA-3, diseñado y construido por la C.N.E.A., que funciona en el Centro Atómico Ezeiza desde 1967.

MEDIO PARA EL DIAGNOSTICO Y TRATAMIENTO DE LAS ENFERMEDADES

Hace más de 30 años, se utilizó por primera vez un radioisótopo artificial del yodo para estudiar el estado funcional de la glándula tiroides. Desde entonces, las técnicas basadas en los <<trazadores>> radiactivos han pasado a ser un elemento indispensable en la actividad cotidiana de muchos hospitales modernos del mundo entero.

Estos procedimientos son sencillos, rápidos y eficaces y pueden facilitar al médico una clara indicación de lo que le sucede a su paciente, que de otra forma no podría obtenerse.

Por ejemplo, si se añade una pequeña cantidad de una hormona tiroidea marcada con un radioisótopo del yodo a una muestra de sangre del paciente, la cantidad de la hormona marcada que pasa a los glóbulos rojos depende del estado funcional de la glándula tiroides. Esta prueba se describió por primera vez en 1957; desde entonces se ha perfeccionado notablemente y se aplica en la actualidad a los pacientes sospechosos de padecer una enfermedad de esta glándula.

AMPLIA APLICACION DE LOS TRAZADORES

Existen muchas otras modalidades de aplicación de los radioisótopos en medicina. Podemos imaginar, por ejemplo, el caso de un paciente que es trasladado al hospital tras un accidente de automóvil. El cirujano puede sospechar que uno de los riñones ha sufrido lesiones tan graves que debería ser extraído. Pero, antes de proceder a esta operación, debe cerciorarse de que el otro riñón tiene capacidad para desempeñar la función de ambos: es decir, que se encuentra en buen estado.

Al objeto de averiguarlo, el médico puede inyectar una solución que contenga un trazador radiactivo, en el torrente circulatorio del paciente. Seguidamente, aplicando un detector de radiaciones sobre el riñón no lesionado, puede observar cómo elimina la sustancia radiactivamente marcada. En un riñón normal la gráfica de la radiactividad ascenderá durante cuatro minutos y a continuación descenderá rápidamente, según el riñón va absorbiendo y eliminando el producto químico. Si el riñón no lesionado es defectuoso, la cantidad de radiactividad en él medida no ascenderá tanto ni descenderá con tanta rapidez.

Hay otras pruebas semejantes que se aplican cotidianamente al estudio de otros órganos.

Los trazadores radiactivos también se emplean para detectar tumores, quistes y otras lesiones de los órganos corporales, o bien para demostrar que un órgano que infundía sospechas está en realidad sano.

En un tumor, las células crecen y se dividen con una rapidez mayor que la debida. Determinados productos químicos tienden a ser fijados en el tumor a una velocidad o en una proporción diferente que en el tejido sano circundante. Si estos productos químicos están radiactivamente marcados, el gráfico que representa la distribución de la radiactividad en el órgano o tejido de interés permite apreciar los tumores.

La C.N.E.A. produce una gran variedad de radiofármacos marcados (especialmente con I-131 e I-125) habiendo ido en constante aumento la demanda de los mismos.

RADIOTERAPIA

Las fuentes de radiación pueden utilizarse en determinados casos para el tratamiento de las enfermedades, dado el poder que tienen las radiaciones de destruir los tejidos vivos. Hoy en día muchos hospitales cuentan con <<bombas de cobalto>> que se emplean para administrar dosis controladas de irradiación a un punto determinado -normalmente un tumor- del cuerpo del paciente. Un aspecto importante de este tipo de trabajos es la medición exacta de la dosis administrada al paciente con la fuente de irradiación.

Para usar correctamente las radiaciones en el tratamiento de las enfermedades es preciso conocer sus efectos en las células y los tejidos vivos. El estudio de estos efectos recibe el nombre de radiobiología, y constituye una base indispensable para el desarrollo y perfeccionamiento de los métodos terapéuticos, así como para garantizar la seguridad radiológica.

Nuestro país cuenta con unos 300 centros de Asistencia e Investigación Médica que utilizan técnicas nucleares. Uno de los más modernos lo constituye el Centro de Medicina Nuclear del Hospital Escuela "José de San Martín", que depende conjuntamente de la C.N.E.A. y de la Facultad de Medicina de la Universidad de Buenos Aires.

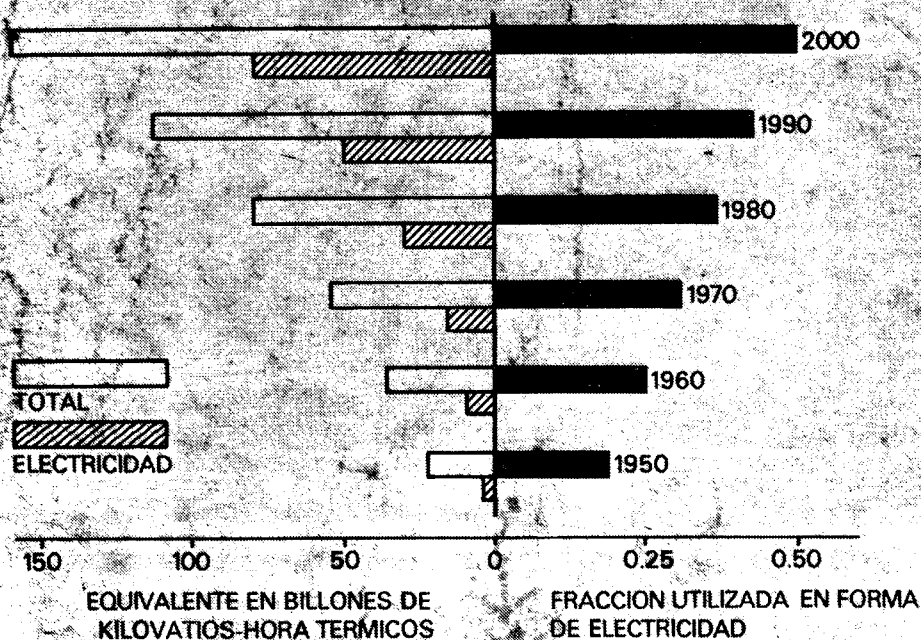
AYUDA PARA ALIMENTAR A UN MUNDO HAMBRIENTO

Actualmente pueblan la superficie de la tierra más de tres mil quinientos millones de personas. Cada día nacen alrededor de 320000 y mueren 140000; por lo tanto, la población mundial experimenta un incremento neto diario de 180000 personas. La necesidad primaria de esta población en crecimiento es una alimentación en cantidad y calidad suficientes. Se ha hablado de una "Revolución Verde", que se producirá fundamentalmente gracias a la implantación de variedades muy fértiles de trigo, arroz y maíz en los países en desarrollo de Asia, Africa y América Latina. Las ciencias nucleares están empezando a contribuir a la mejora de estas plantas.

Las variedades de alto rendimiento o bien las que contienen en sus granos una mayor proporción de proteínas se consiguen por mejora genética: seleccionando en cada generación de plantas los ejemplares que reúnen o se aproximan a las características deseadas y obteniendo a partir de ellos las generaciones posteriores. Normalmente, para conseguir las características apetecidas se efectúan cruzamientos entre las plantas. Empleando técnicas "nucleares" se inducen nuevos caracteres en las plantas sin necesidad de

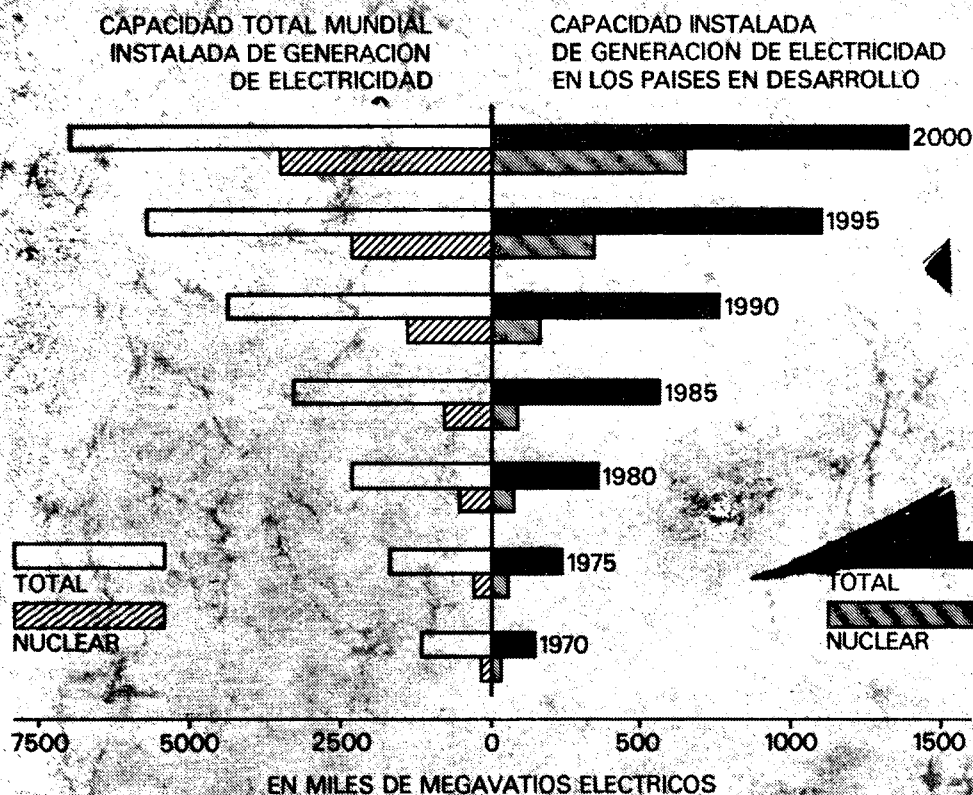
PRODUCCION MUNDIAL DE ENERGIA

Fig.1



CAPACIDAD DE GENERACION DE ELECTRICIDAD

Fig.2



cruces, lo que puede permitir un mejoramiento más rápido y eficaz de las especies.

Las técnicas nucleares aplicadas para la mejora de las plantas se conocen con el nombre de selección por mutaciones. La inducción de mutaciones es una realidad que ilustran los siguientes ejemplos. Hace algunos años, el Gobierno de la India introdujo una nueva variedad de trigo que había sido desarrollada en México. Esta variedad presentaba una serie de características favorables, entre ellas, tallo corto y alto rendimiento. Pero la harina obtenida de él resultó inaceptable para la población india: su color era des acostumbrado. El grano era rojo, en lugar de presentar el habitual color ámbar.

Los investigadores de la India irradiaron semillas de este trigo con rayos gamma. A continuación plantaron las semillas y los científicos descubrieron entre las nuevas plantas unas cuantas con grano de tonalidad más clara. En el plazo de cuatro años, habían desarrollado una nueva variedad, la Sharbati Sonora, que reúne todas las cualidades de la variedad original mexicana, pero cuyo grano es de color ámbar.

La selección de especies por mutación se ha empleado con éxito para lograr plantas resistentes a las enfermedades. Se han entregado a los agricultores alrededor de 100 variedades de plantas de cultivo (la mayor parte de las cuales se han conseguido por mutaciones radioinducidas). En la Argentina la actividad en este campo se inició en 1953, año en que se realizaron las primeras irradiaciones de semillas en la C.N.E.A.. El INTA ha seguido desarrollando ininterrumpidamente esta aplicación habiendo producido numerosas variedades que se emplean en nuestro país.

¿COMO SE COMPORTAN LOS FERTILIZANTES?

Existe otra técnica nuclear que se puede utilizar en los estudios para aumentar el rendimiento obtenido mediante el empleo de fertilizantes. Un procedimiento típico consiste en marcar un fertilizante fosfatado con una pequeña cantidad de una forma radiactiva o radioisótopo del fósforo. A continuación, se utilizan instrumentos para medir la cantidad de fertilizante que entra realmente en las plantas, según los diversos métodos de aplicación. Esto permite seleccionar el método más eficaz y enseñar a los agricultores a obtener el máximo rendimiento de los fertilizantes que emplean.

La exposición que antecede no constituye en forma alguna un catálogo exhaustivo de las técnicas nucleares aplicables en agricultura. Hay otras utilizables en veterinaria, para el diagnóstico y tratamiento de las enfermedades de los animales. Así en nuestro país se estudió la inmunidad producida por vacunas anti-brucelosas y se desarrollaron técnicas para determinar la digestibilidad de distintos forrajes, la carencia de ciertos elementos (cobre, cobalto), en el ganado, etc..

LUCHA CONTRA LOS INSECTOS Y CONSERVACION DE ALIMENTOS

A juzgar por las estimaciones de los daños que causan en agricultura las plagas de insectos, las pérdidas en el mundo entero pueden llegar a ser del orden del 10 por ciento del total, cifra equivalente a toda la producción agrícola de los Estados Unidos.

Una técnica nuclear, denominada el método de suelta de insectos estériles, fue aplicada por primera vez por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Se crían en el laboratorio grandes cantidades de insectos nocivos que se exponen a una dosis no letal de irradiación, suficiente para esterilizarlos en una fase adecuada de su desarrollo. A continuación, se sueltan en el campo, donde su apareamiento con los insectos silvestres resulta improductivo. Cuando se extingue la generación procreadora, sólo quedan los descendientes de las copulaciones entre insectos silvestres. Si se repite la suelta en masa de insectos esterilizados, llegará un momento en que los insectos silvestres serán tan escasos que no podrán encontrar parejas fecundas. De esta forma, se puede eliminar de una zona determinada la plaga en cuestión.

La primera plaga así tratada fue la mosca tornillo o gusanera del ganado, enojoso parásito que vive en las llagas y heridas de los animales de sangre caliente, tales como el ganado mayor. Esta técnica se utilizó en Florida, donde las pérdidas en el ganado habían llegado a más de 20 millones de dólares anuales; los ganaderos no han tenido problema alguno con la mosca tornillo desde 1959. Este insecto ha desaparecido también de Curaçao.

La misma técnica se ha aplicado a escala experimental en América Central y en la isla de Prócida, en el Mediterráneo, contra la mosca mediterránea de la fruta; los investigadores están tratando de ampliar su aplicación a otros insectos como la mosca tse-tse, el piral del manzano, y muchos otros.

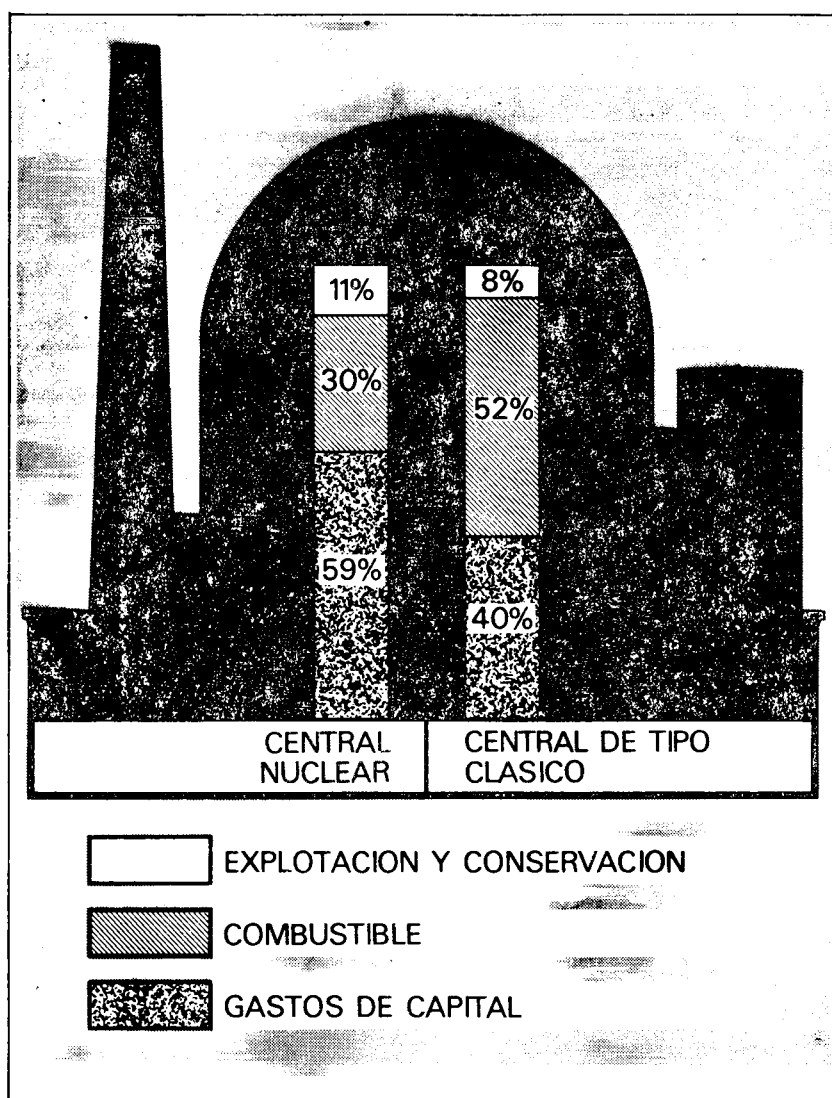
Los insectos parásitos de los alimentos almacenados se pueden erradicar con dosis relativamente bajas de irradiación. Igualmente, es posible prolongar el período de conservación de algunos productos alimenticios recurriendo a las radiaciones para inhibir la descomposición y otros procesos naturales. En algunos países, se ha autorizado ya el consumo general de algunos alimentos irradiados, entre los que figuran las papas, el trigo y el pescado. En el Centro Atómico Ezeiza, la C. N. E. A. ha realizado extensas investigaciones y ensayos en relación a estos tres productos, habiéndose obtenido una notable prolongación de su período de conservación.

...Y UNA NUEVA HERRAMIENTA PARA LA INDUSTRIA

Se conocen en la actualidad más de mil aplicaciones de los radioisótopos y de las radiaciones en la industria. Su utilización permite economizar anualmente ingentes sumas de dinero, y permite a la industria fabricar nuevos y mejores productos.

Los radioisótopos se utilizan en el estudio de la lubricación y desgaste de la maquinaria móvil, y en el estudio de la circulación de materiales; en algunas fábricas se utilizan corrientemente para comprobar el peso de

Costos comparativos:
La figura es una representación aproximada
de los costos totales comparados
de construcción y explotación
de las centrales clásicas y de las nucleares



tabaco en cada cigarrillo, el nivel de cerveza dentro de las latas o el espesor de materiales tales como plásticos extruídos o planchas de acero laminado.

Los estudios hidrológicos también se han beneficiado de las técnicas de los trazadores. Mediante ellos se puede determinar el movimiento de las aguas subterráneas. Así se determinaron las infiltraciones subterráneas en el lecho del Río Mendoza, para el mejor aprovechamiento de sus aguas, y la permeabilidad del Dique Sumampa (Catamarca). Otra aplicación la constituye el estudio del movimiento de los sedimentos y arenas de los fondos de los ríos y en las costas marinas. Determinaciones de este tipo se han hecho en el Río de La Plata y en el Puerto de Mar del Plata, en relación con los trabajos de dragado.

LAS FUENTES DE IRRADIACION EN LA INDUSTRIA

Las grandes fuentes de radiación se utilizan corrientemente para comprobar la integridad de las soldaduras en piezas de fundición especialmente gruesas y pesadas, que no se pueden examinar con los aparatos corrientes de rayos X; la calidad de la imagen obtenida es con frecuencia mejor que la de las radiografías normales, ofreciendo más detalles.

Otra aplicación de las fuentes de radiación es la esterilización de artículos tales como las jeringas y agujas quirúrgicas no reutilizables. En este caso, por ejemplo, las agujas salidas directamente del proceso de fabricación, limpias, pero no estériles, se pueden meter en bolsas herméticamente cerradas de plástico, sin ser tocadas por mano humana, y a continuación se someten a intensa irradiación para destruir los organismos presentes que pudieran ser nocivos para el paciente. Esta aplicación se realiza corrientemente en la Planta Semi-industrial que la C.N.E.A. posee en Ezeiza. Esta modalidad de esterilización, con grandes fuentes de radiación, resulta también especialmente adecuada en el caso de artículos fabricados con plásticos o materiales de origen biológico, tales como las suturas, difíciles de esterilizar sin dañarlas por los métodos clásicos térmicos o químicos.

Otra aplicación industrial de las fuentes intensas de radiación que se está desarrollando en muchos países es la producción de materiales "compuestos" polimerizados. La madera, o materiales baratos tales como el bagazo, subproducto de la fabricación del azúcar de caña, se pueden impregnar con un plástico líquido, cuyas moléculas no se presentan en ningún orden especial ni poseen verdadera resistencia. La irradiación del material impregnado hace que se unan o polimericen las moléculas del plástico, trabando a su vez entre sí las fibras de la madera o de cualquier otro material que se haya empleado. Aisladamente, las fibras de la madera no son muy resistentes; experimentan con facilidad cortes o roturas: la madera sin tratar empleada en los pisos presenta pronto irregularidades y se mancha y decolora fácilmente. Tratado de la manera descrita, un piso formado por un compuesto de madera y plástico resistirá durante años. La fabricación de estos materiales compuestos no es barata, pero ya se están utilizando solados compuestos de madera y plástico en algunos centros docentes y hospitales, en los que el desgaste normal es intenso.

GLOSARIO DE TERMINOS ATOMICOS

ACELERADOR - Dispositivo para comunicar una velocidad muy grande a partículas cargadas eléctricamente como electrones y protones. Estas partículas aceleradas pueden penetrar la materia, y se utilizan en la investigación y en el estudio del átomo.

ACELERADOR LINEAL -Acelerador en que las partículas se mueven siempre en línea recta, gracias a una onda electromagnética.

ACELERADOR VAN DE GRAAFF - Acelerador de partículas electroestático. Para obtener el voltaje, la electricidad estática se toma de una de las extremidades de la máquina por medio de una cinta de caucho y se transporta a la otra extremidad, donde es almacenada.

ACTIVACION - Acción de volver artificialmente radiactiva una sustancia en un acelerador o en un reactor bombardeándola con partículas aceleradas o con neutrones.

AGUA PESADA - Agua que contiene hidrógeno pesado (o deuterio) en vez del hidrógeno ordinario. Se usa en algunos reactores para retardar los neutrones.

ATOMO - Diminuto "bloque de construcción" de la naturaleza. Toda la materia está compuesta de átomos. Los elementos tales como hierro, plomo y azufre, se distinguen unos de otros porque contienen átomos diferentes. Los átomos son increíblemente pequeños. En una gota de agua hay seis mil trillones (6 seguido de 21 ceros) de átomos. La palabra "átomo" viene del griego y significa etimológicamente "indivisible". Hoy sabemos que el átomo se puede dividir: consta de un corazón interior (núcleo) rodeado de electrones que giran en torno suyo como los planetas alrededor del sol.

AUTORRADIOGRAFIA - Autorretratos de fuentes radiactivas, que se obtienen colocando el material radiactivo cerca de una película fotográfica. Las radiaciones velan la película dejando una imagen de la fuente. Tales autorretratos condujeron al descubrimiento de la radiactividad.

BARRA DE CONTROL - Barra usada para controlar la potencia de un reactor nuclear. La barra de control absorbe neutrones que normalmente fisiónan átomos de combustible. La introducción de la barra en el reactor reduce el desprendimiento de energía nuclear, y su retiro lo incrementa.

BLINDAJE - Pared o sistema material de protección contra las radiaciones nocivas emitidas por los materiales radiactivos.

BOMBARDEO - Disparo de protones, partículas alfa u otras de alta energía, contra núcleos atómicos generalmente para romperlos o formar un nuevo elemento.

CALIENTE - Término familiar que significa altamente radiactivo.

CAMARA DE IONIZACION - Dispositivo similar al contador Geiger y que se usa para medir la radiactividad.

CAMARA DE NIEBLA - Cámara llena de vapor de agua sobresaturado. Cuando ciertos tipos de partículas atómicas pasan a través de dicha cámara, dejan una huella de niebla semejante a la estela de un avión de propulsión a chorro. Los científicos, fotografiando las huellas de las partículas, pueden estudiar sus movimientos.

CAPSULA - Vaso que, por medio de un tubo neumático, se emplea para introducir muestras en un reactor atómico, y para sacarlas.

CARGA - Combustible (material fisiónable) que se pone en un reactor para producir una reacción en cadena.

CELDA CALIENTE - Recinto especialmente acondicionado, situado dentro de un laboratorio caliente, en el que se ejecutan operaciones con materiales de radiactividad elevada. Las operaciones se realizan por medio de manipuladores y la observación se lleva a cabo a través de ventanas blindadas o por métodos de visión indirecta.

CICLOTRON - Acelerador de partículas. En esta máquina las partículas atómicas son llevadas en trayectoria espiral entre los polos de un electroimán gigante y ganan velocidad en cada vuelta para el impacto final sobre el material que sirve de blanco.

COBALTO-60 - Isótopo radiactivo del elemento cobalto. El cobalto-60 es una fuente importante de radiación gamma, en aplicaciones médicas e industriales.

COMBUSTIBLE NUCLEAR - Material que contiene núcleos fisiónables y se emplea en un reactor nuclear para que en él se desarrolle una reacción nuclear en cadena.

CONCENTRADO DE URANIO 1-Producto procedente del tratamiento de un mineral radiactivo que presenta un contenido en uranio superior al originario en

la naturaleza. 2-En particular, producto con un contenido elevado de uranio -generalmente superior al 70%- y que suele estar constituido por un uranato (sódico, magnésico, amónico, etc.) o un óxido de uranio.

CONTADOR DE CENTELLEO - Aparato para contar partículas atómicas por medio de diminutos destellos de luz que las partículas producen cuando chocan contra ciertos cristales.

CONTADOR GEIGER - Aparato eléctrico que revela la presencia de radiactividad, contando los impulsos producidos por la formación de iones dentro de un tubo lleno de gas.

CONVERTIDOR - Reactor que utiliza una clase de combustible y produce otra.

Por ejemplo, un convertidor cargado con isótopos de uranio, puede consumir uranio-235 y producir plutonio del uranio-238.

CRITICO - Dícese del sistema (reactor) en el que tiene lugar una reacción en cadena que se automantiene.

CURIO - Unidad de radiactividad. Su símbolo es Ci. Equivale a $3,7 \times 10^{10}$ desintegraciones por segundo. Este es aproximadamente el número de desintegraciones que se producen en 1 gramo de radio. El nombre dado a esta unidad proviene de los esposos Pierre Curie y Marie Curie, descubridores del elemento radio.

DESINTEGRACION - Transformación de un nucleido en otro nucleido por emisión de partículas y radiaciones.

DESINTEGRADOR DE ATOMOS - Máquina (acelerador) que acelera las partículas atómicas y subatómicas de manera que se puedan usar como proyectiles que rompan los núcleos de otros átomos.

DEUTERIO - Hidrógeno pesado. El núcleo del hidrógeno pesado es un deuterón. Se llama hidrógeno pesado porque su masa es doble de la del hidrógeno común.

DEUTERON - El núcleo de un átomo de hidrógeno pesado, que contiene un protón y un neutrón. Los deuterones se usan frecuentemente como proyectiles atómicos.

DOSIS - Energía cedida por la radiación ionizante a la unidad de masa de material irradiado.

DOSIMETRO (MEDIDOR DE DOSIS) - Instrumento que se usa para determinar la dosis de radiación recibida.

EFFECTO "COMPTON"- El choque de un rayo gamma con un electrón. El rayo gamma cede una parte de su energía al electrón, emitiéndose un rayo gamma de menor energía.

EFFECTO FOTOELECTRICO - Tiene lugar cuando un electrón es sacado de un átomo por un rayo de luz o un rayo gamma. Este efecto se usa en la célula fotoeléctrica. La luz cae sobre una superficie sensible, sacando electrones, que entonces pueden ser descubiertos.

ELECTRON - Partícula atómica que contiene la carga eléctrica negativa más pequeña encontrada en la naturaleza. En el átomo los electrones giran alrededor de un pequeño núcleo. El peso de un electrón es tan pequeño que se necesitaría un quintillón (uno, seguido de 30 ceros) de ellos para tener un kilogramo. Su masa es aproximadamente dos mil veces menor que la de un protón o la de un neutrón.

ELECTRON VOLTIO (EV) - Pequeña unidad de energía. Un electrón alcanza esta energía cuando está sometido a una diferencia de potencial de un voltio.

ELEMENTO - "Familia" de isótopos. El hidrógeno, el plomo, el oxígeno, por ejemplo, son elementos. Todos los átomos de un elemento contienen un número determinado de protones y tienen, por consiguiente, el mismo número atómico.

ELEMENTO COMBUSTIBLE - Cada una de las unidades que contienen el combustible y que pueden ser utilizadas directamente en un reactor nuclear.

ENERGIA ATOMICA - Energía liberada en las reacciones nucleares. De particular interés es la energía emitida cuando un neutrón rompe el núcleo de un átomo en partes más pequeñas (fisión) o cuando dos núcleos se juntan uno con otro a temperaturas de millones de grados (fusión). "Energía atómica" es en realidad una expresión popular inexacta. Es más apropiado decir "energía nuclear".

ENERGIA DE LIGAMENTO - La energía que mantiene juntos los neutrones y protones de un núcleo atómico. También llamada energía de enlace o de unión.

ENERGIA NUCLEAR - La energía liberada en una reacción nuclear, como la fisión o la fusión. Impropiamente se llama "energía atómica".

ENRIQUECIMIENTO - Incremento de la abundancia isotópica de un elemento que integra un combustible nuclear. El uranio natural está formado esencialmente por Uranio 238 y por sólo un 0,7% de Uranio 235. Los combustibles nucleares enriquecidos tienen una mayor proporción de Uranio 235.

FILM MONITOR - Hoja de película fotográfica, usada como escarapela por los trabajadores nucleares. Esta película se ennegrece con la radiación nuclear y su grado de exposición determina la radiación recibida por el trabajador.

FISION - Rompimiento de un núcleo atómico en dos partes, acompañado por emisión de neutrones, de una gran cantidad de radiactividad y desprendimiento de energía. La fisión ocurre solamente en elementos pesados, como el uranio y el plutonio.

FISIONABLE - Núcleo que puede fisionarse por acción de neutrones, aunque sean muy lentos. El uranio-235 (isótopos de uranio con el número de masa 235), es fisionable. El plutonio también lo es.

FONDO - Radiación proveniente de fuentes distintas del material radiactivo que se está midiendo. Este "fondo" se debe en primer lugar a los rayos cósmicos que bombardean constantemente la Tierra desde el espacio exterior y de pequeñas cantidades de sustancias radiactivas que hay presentes en cualquier cuerpo.

FOTON - "Paquete" (cuanto) de radiación electromagnética. Los fotones constituyen, por ejemplo, los rayos gamma los rayos X y la luz. En ciertos procesos los fotones se comportan como partículas.

FUENTE - Toda substancia que emite radiaciones. Ordinariamente se trata de una porción de material radiactivo convenientemente acondicionada para uso científico industrial.

FUSION - Unión de núcleos atómicos para formar un núcleo pesado, lo cual sucede a temperaturas extremadamente altas (millones de grados). Cuando dos núcleos de átomos livianos se fusionan, la fusión va acompañada por emisión de una gran cantidad de energía. La energía del sol proviene de la fusión de átomos de hidrógeno para formar helio.

GEV - Unidad de energía equivalente a mil millones de electron-voltios.

HIDROGENO PESADO - Véase deuterio.

INESTABLE - Todos los elementos radiactivos son inestables porque emiten partículas y se desintegran para formar otros elementos.

ION - Ordinariamente un átomo que ha perdido uno o más de sus electrones y queda cargado positivamente. Hay también iones negativos que han ganado electrones adicionales.

ISOTOPO - Se llaman isótopos dos núcleos del mismo elemento que tienen la misma carga pero diferentes masas. Contienen el mismo número de protones, pero un número diferente de neutrones. El uranio-238 contiene 92 protones y 146 neutrones, mientras que el isótopo U-235 contiene 92 protones y 143 neutrones. La masa atómica del U-238 excede, por consiguiente, en 3 unidades a la del U-235.

KEV - Kilo electrón voltio, o sea, 1.000 electrones voltios. Es una unidad de energía.

KILOCURIO - 1.000 curios. Unidad de radiactividad.

MANIPULADOR REMOTO - Manos mecánicas usadas para manejar materiales radiactivos. Se controlan a distancia desde un sitio protegido por un blindaje.

MASA ATOMICA - La masa atómica es aproximadamente la suma del número de protones y neutrones que se encuentran en el núcleo del átomo. La masa del oxígeno, por ejemplo, es aproximadamente 16 (exactamente es 16.0044) y contiene 8 protones y 8 neutrones. La del aluminio es 27, y contiene 14 neutrones y 13 protones.

MASA CRITICA - Cantidad de combustible nuclear necesaria para mantener una reacción en cadena. Si no hay suficiente combustible (material fisiónable) se dispersan muchos neutrones y se suspende la reacción.

MESON - Partícula de masa mayor que la del electrón pero generalmente menor que la del protón. Los mesones se pueden producir artificialmente, y también por la radiación cósmica (o radiación natural que viene de los espacios exteriores). Los mesones son inestables: se desintegran en una fracción de segundo.

MEV - Un millón de electrones voltios.

MODERADOR - Material usado para retardar (disminuir la velocidad) los neutrones en un reactor. Tales neutrones lentos son particularmente eficientes para producir fisión. El retardo de los neutrones ocurre cuando chocan con átomos de elementos ligeros como el hidrógeno y el carbono, que son dos moderadores comunes.

MOLECULA - La unidad más pequeña de un compuesto. Una molécula de agua consta de dos átomos de hidrógeno combinados con uno de oxígeno. De ahí la conocida fórmula H_2O .

MONITOR - Detector de radiaciones, que sirve para saber cuándo una zona es segura para los trabajadores.

MONITOR PORTATIL - Instrumento transportable equipado con un medidor de lectura directa, que se usa para determinar el nivel de radiación dentro de un área.

NEUTRON - Una de las tres partículas atómicas básicas. Su masa es aproximadamente igual a la del protón y, como su nombre lo indica, no tiene carga eléctrica. Los neutrones son proyectiles atómicos muy efectivos.

NUCLEIDO - Especie atómica. Se caracteriza por sus números atómico y másico.

NUCLEO - Parte central del átomo. Está compuesta de protones y neutrones estrechamente unidos entre sí.

NUMERO ATOMICO - Número de protones (partículas cargadas positivamente) que se encuentran en el núcleo de un átomo. Todos los elementos tienen diferentes números atómicos. El número atómico del hidrógeno es 1, el del oxígeno 8, el del hierro 26, el del plomo 82 y el del uranio 92.

PARTICULA ALFA (RAYO ALFA, RADIACION ALFA) - Pequeña partícula electrizada de alta velocidad que despiden muchos materiales radiactivos, como el uranio y el radio. Es idéntica al núcleo del átomo de helio, y está compuesta de dos neutrones y dos protones. Su carga eléctrica es positiva, y dos veces mayor que la de un electrón.

PARTICULA BETA (RADIACION BETA) - Pequeña partícula eléctricamente cargada que despiden muchos materiales radiactivos. Es idéntica al electrón y posee la más pequeña carga de electricidad negativa que se encuentra en la naturaleza. Las partículas beta emergen de los materiales radiactivos a grandes velocidades, algunas veces cercanas a la velocidad de la luz.

PECBLENDA - Mineral que contiene uranio y radio. Los esposos Curie tuvieron que purificar toneladas de pecblenda para obtener una pequeñísima cantidad de radio.

PERIODO DE SEMIDESINTEGRACION - Magnitud que sirve para medir la velocidad relativa de desintegración de los radioisótopos de acuerdo con el tiempo necesario para que pierdan la mitad de su intensidad de radiación.

Estos períodos pueden variar desde fracciones de segundo hasta miles de millones de años. El cobalto-60, por ejemplo, tiene un período de 5.3 años. Una sustancia radiactiva pierde la mitad de su intensidad al cabo de un período de semidesintegración.

PILA - Reactor nuclear. Se llama pila porque los primeros reactores eran "pilas" de bloques de grafito y lingotes de uranio.

PLUTONIO - Elemento pesado que sufre la fisión bajo el impacto de los neutrones. Es combustible muy útil en los reactores nucleares. El plutonio no se encuentra en la naturaleza pero puede producirse y "quemarse" en los reactores.

POLUCION - Contaminación intensa o dañina del agua, del aire, etc., en particular la que se produce por residuos de procesos industriales o biológicos.

POSITRON - Partícula que tiene la misma masa y la misma carga de un electrón pero es eléctricamente positiva en vez de negativa. La existencia del positrón fue predicha teóricamente años antes de descubrirse. No es estable en la materia.

PRODUCCION DE PARES - Conversión de un rayo gamma en un par de partículas: un electrón y un positrón. Ejemplo de la conversión directa de la energía en materia, de acuerdo con la famosa fórmula de Einstein: $E=mc^2$. (Energía) = (Masa) x (velocidad de la luz)².

PROSPECCION - Exploración de una región con el objeto de encontrar determinados minerales.

PROTON - Una de las partículas básicas del núcleo atómico (la otra es el neutrón). Su carga es igual en magnitud a la del electrón, pero positiva (y su masa es aproximadamente igual a la del neutrón).

RAD - Unidad de dosis. (véase rem),

RADIACION - Emisión de partículas o rayos por los núcleos. Algunos elementos son, por naturaleza, radiactivos; otros se vuelven radiactivos después del bombardeo con neutrones u otras partículas. Las tres principales formas de radiación son alfa, beta y gamma, llamadas así por las tres primeras letras del alfabeto griego.

RADIOACTIVIDAD - Propiedad que poseen algunos nucleídos de desintegrarse espontáneamente emitiendo radiaciones.

RADIOACTIVIDAD ARTIFICIAL - Radiactividad creada en un cuerpo por irradiación con neutrones u otras partículas.

RADIACION DE CERENKOV - Luminiscencia azulada producida por los electrones que atraviesan un material transparente, como el agua. Es esta radiación la que se ve durante el funcionamiento de algunos reactores nucleares.

RADIO - Uno de los primeros elementos radiactivos encontrados en la naturaleza. Es mucho más radiactivo que el uranio, y se encuentra en los mismos minerales que éste.

RADIOISOTOPO - Isótopo radiactivo de un elemento. Un radioisótopo puede producirse colocando un material en un reactor nuclear y bombardeándolo con neutrones. Los radioisótopos se utilizan actualmente como trazadores en muchos campos de la ciencia y de la industria y constituyen una de las contribuciones más importantes para los empleos pacíficos de la energía atómica.

RADIOQUIMICA - Parte de la química que estudia las propiedades y comportamiento de los materiales radiactivos.

RAYOS GAMMA (RADIACION GAMMA) - La más penetrante de todas las radiaciones. Los rayos gamma son rayos X de energía muy grande.

RAYOS X - Radiación electromagnética altamente penetrante, análoga a los rayos gamma. A diferencia de estos, los rayos X no provienen del núcleo atómico sino de los electrones periféricos. Son producidos por bombardeo electrónico. Cuando estos rayos pasan a través de un objeto dejan una sombra de las partes más densas.

REACCION EN CADENA - Cuando un neutrón rompe un núcleo fisionable este libera energía y uno o más neutrones. Estos neutrones rompen otros núcleos fisionables, liberando más energía y más neutrones, lo que hace que la reacción se automantenga.

REACCION NUCLEAR - Resultado de bombardear un núcleo con partículas atómicas o subatómicas o con radiaciones de alta energía. Son reacciones posibles la emisión de otras partículas o la división del núcleo (fisión).

REACCION TERMONUCLEAR - Reacción de fusión, es decir, reacción en la cual dos núcleos livianos se combinan para formar un átomo más pesado, liberando una gran cantidad de energía. Esta es la fuente de la energía solar. Se llama "termonuclear" porque ocurre solamente a temperaturas altísimas.

REACTOR NUCLEAR - En un reactor el núcleo del combustible sufre la fisión bajo la acción de los neutrones. La fisión produce nuevos neutrones y, por consiguiente, una reacción de cadena. Esto pone en libertad grandes cantidades de energía transformable en calor que puede usarse para producir vapor utilizable en la generación de electricidad.

RECIPIENTE PROTECTOR - El que sirve para acarrear o almacenar materiales radiactivos. Es generalmente de plomo, y sus gruesas paredes protegen de la radiación a la persona que lo maneja.

REELABORACION - Ver reprocesamiento.

REM - Unidad de dosis equivalente. Es igual a la dosis multiplicada por factores que tienen en cuenta los distintos efectos biológicos que producen una dosis dada según el tiempo y condiciones de irradiación. De acuerdo a las normas de protección radiológica un trabajador ocupado en actividades nucleares puede recibir como máximo una dosis uniforme en todo el cuerpo de 5 rem por año.

REPROCESAMIENTO - Someter un combustible nuclear irradiado a una serie de operaciones que tienen por objeto aprovechar los átomos fisionables residuales o de una nueva formación contenidos en él.

ROENTGEN - Unidad de exposición, entendiéndose por ésta la carga eléctrica de los iones positivos producidos por la radiación en una unidad de masa de aire. El símbolo es R.

REPRODUCTOR - Reactor que produce más combustible atómico (es decir, material fisionable) del que consume. Un isótopo no fisionable, bombardeado por neutrones, se transforma en material fisionable, como el plutonio, que puede usarse como combustible. Los científicos están trabajando para lograr que todo el material consumido en los reactores pueda usarse de nuevo mediante este proceso.

SINCROCICLOTRON - Variante del ciclotrón que permite conferir a las partículas aceleradas una velocidad más alta que en el ciclotrón normal.

SINCROTRON - Acelerador utilizado para dar a las partículas atómicas las mayores energías actualmente alcanzables. El sincrotron de mayor tamaño actualmente en operación es el de Batavia (EE.UU), de 200 GeV.

TEORIA ATOMICA - Desde el tiempo de los antiguos griegos el hombre ha sostenido la teoría de que toda la materia está compuesta de muy pequeñas partículas invisibles llamados átomos. Correspondió a los químicos y físicos de los siglos XIX y XX verificar la existencia del átomo y la validez de la teoría atómica.

TORIO - Un elemento pesado. Cuando es bombardeado con neutrones, el torio se transmuta en uranio, volviéndose fisionable y, por lo tanto, fuente de energía atómica.

TRAZADOR - Radioisótopo mezclado con un material estable. El radioisótopo permite al científico rastrear el material mientras sufre cambios físicos o químicos. Los trazadores se usan hoy ampliamente en la ciencia, la industria y la agricultura. Cuando el fósforo radiactivo, por ejemplo, se mezcla con fertilizantes químicos, la sustancia radiactiva puede ser rastreada a través de la planta, durante su crecimiento.

TRITIO - A menudo se llama hidrógeno tres. Los núcleos de este hidrógeno extra pesado contienen dos neutrones y un protón. Es elemento radiactivo, tres veces más pesado que el hidrógeno ordinario.

URANIO - Un metal pesado. Los dos isótopos principales del uranio natural son U-235 y U-238. El U-235 posee el único núcleo fácilmente fisionable que se encuentra en cantidad apreciable en la naturaleza, y de ahí su importancia como combustible nuclear. Sólo una parte sobre 140 de uranio natural es uranio 235.

VALOR Q - Energía liberada o absorbida en una reacción nuclear.

Z - Símbolo del número atómico. El número atómico de un elemento es el número de protones que se encuentran en el correspondiente núcleo atómico. Todos los isótopos de un elemento dado poseen el mismo número Z.

