



# QUÍMICA

## RADIATIVIDAD

Colegio  
24hs.



Química

# Radiactividad



# ÍNDICE

1. Radiactividad Natural .....	6
2. Relación Entre La Ley De Lavoisier Y La De Einstein .....	11
3. Interacciones Entre Átomos Y Ondas.....	15
4. Poder De Penetración De La Radiación...	23
5. Vida Media .....	28
6. Radiactividad Artificial .....	31
7. Usos De Los Radioisótopos .....	38
8. Medicina Nuclear .....	43
9. Fechado Por Medio De Radioisótopos.....	53
10. Plantas De Energía Nuclear.....	60
11. Bomba Atómica.....	63
12. Efectos De Una Explosión Nuclear.....	77
Ejercicios 12.....	86
Ejercicios 12.1 .....	89
Hoja De Respuestas12.1 .....	92
Ejercicios 12.1.1 .....	94
Ejercicios 12.1.2 .....	99

Hoja De Respuestas 12.1.2.....	104
--------------------------------	-----

# 1. RADIATIVIDAD NATURAL



Todos sabemos los perjuicios de la radiactividad, otros pocos conocen los beneficios pero:



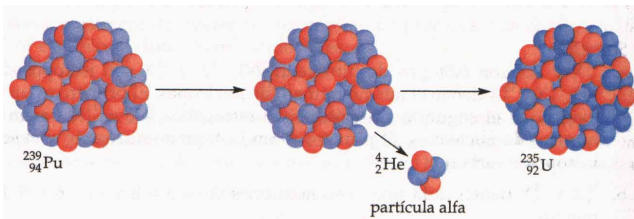
¿Qué es la radiactividad?

Ciertos núcleos son inestables en su forma natural: experimentan desintegración radiactiva. Por ejemplo, los átomos de radio con 226 nucleones se descomponen espontáneamente y emiten partículas alfa( $\alpha$ ). Como las partículas alfa son idénticas a núcleos de helio, el proceso se puede resumir

por medio de la siguiente ecuación:

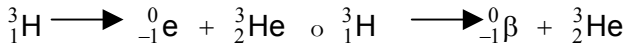


El nuevo elemento, que tiene dos protones menos, se identifica por su número atómico (86) como radón (Rn). En la figura se muestra un segundo ejemplo de desintegración alfa.



También los núcleos de tritio son inestables. El tritio es uno de los isótopos pesados de hidrógeno. Como todo núcleo de hidrógeno, el núcleo de tritio contiene un protón. Sin embargo, a diferencia del isótopo más común de hidrógeno el núcleo de tritio contiene dos neutrones, y su masa es por tanto de 3 uma ( ${}^3_1\text{H}$ ). El tritio se descom-

pone por desintegración beta ( $\beta$ ). Puesto que una partícula beta es idéntica a un electrón, podemos escribir el proceso como:



El isótopo que se produce se identifica por su número atómico como helio (He).

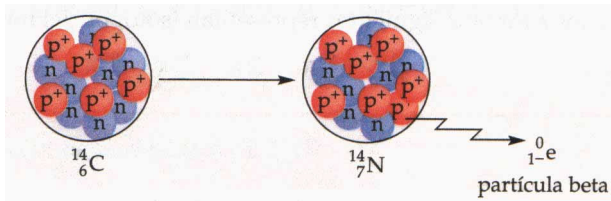
¿Cómo es posible que el núcleo original, que contiene sólo un protón y dos neutrones, emita un electrón?

Podemos concebir la transformación de uno de los neutrones del núcleo de tritio original en un protón y un electrón.



El núcleo retiene el nuevo protón (por tanto, el número atómico del producto aumenta en una unidad) y el electrón o partícula beta, que prácti-

camente carece de masa, sale despedido (el núcleo que se produce tiene el mismo número de masa que el núcleo original). En la figura se muestra un segundo ejemplo de desintegración beta.



El tercer tipo de radiactividad se llama desintegración gamma ( $\gamma$ ). En este tipo de emisión no intervienen partículas; sólo se emite energía. La emisión gamma acompaña la emisión de partículas alfa o beta.

En la tabla que sigue se resumen los tipos principales de desintegración radiactiva y los cambios nucleares correspondientes.



Tipo De Radiación	Código	Nº Nucleones	Carga	Cambios Nº Nucleones	Cambio Nº Atómico
ALFA	$\alpha$	4	2+	Disminuye 4	Disminuye 2
BETA	$\beta$	0	1-	Ninguno	Aumenta 1
GAMMA	$\gamma$	0	0	Ninguno	Ninguno

## 2. RELACIÓN ENTRE LA LEY DE LAVOISIER Y LA DE EINSTEIN

- ☞ Cuando hervimos agua por mucho tiempo, ésta desaparece.
- ☞ Cuando mezclamos dos sustancias miscibles, pareciera que una de las dos oculta a la otra.
- ☞ Cuando se produce reacción nuclear, ¿podemos aplicar las mismas consideraciones?

La ley de Lavoisier , más conocida como Ley de Conservación de la Masa plantea que en las

reacciones químicas la materia no se crea ni se destruye, sino que solo cambia la naturaleza de las sustancias . Pero si pensamos un papel quemándose podemos decir que la masa no se conserva ya que el papel al quemarse se convierte en cenizas y pierde peso. Y esto es verdad, ya que la masa se pierde en los gases desprendidos. Por lo tanto la forma correcta de enunciar la ley de Lavoisier es:

**La masa total de un sistema cerrado se mantiene constante, independientemente de los cambios físicos o químicos que en él se produzcan.**

Hay que remarcar que la ley se cumple para un sistema cerrado.

A comienzos del siglo XX se ha demostrado que durante las espectaculares reacciones de fusión nuclear que ocurren en el sol y otras estrellas, se destruyen cantidades de materia, apareciendo en su lugar enormes cantidades de energía. Esto sucede también en las explosiones atómicas y procesos similares. En estos cambios extraordinarios se puede medir la destrucción de materia. A sus expensas se crea energía. Estos dos elementos, materia y energía, se pueden relacionar a través de una relación descubierta por Einstein:

$$E = c^2 \cdot m$$

Donde  $E$  y  $m$  representan los cambios de energía y de masa respectivamente durante la transformación y  $c$  es la velocidad de la luz. ( $3 \cdot 10^8$  m/s).

De esta manera la desaparición de un gramo de materia dará origen a  $9 \cdot 10^{20}$  ergios, o  $9 \cdot 10^{13}$  joules. Esta energía liberada es suficiente como para calentar  $2 \cdot 10^5$  toneladas de agua de  $0^\circ\text{C}$  a  $100^\circ\text{C}$ .

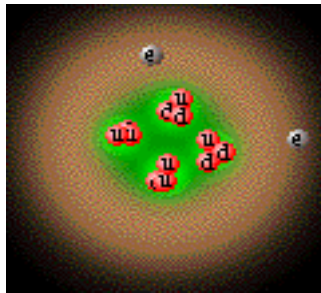
Materia y energía pueden interconvertirse. En los procesos químicos la cantidad de materia que se transforma en energía es tan pequeña que resulta imposible medir, con los instrumentos actuales, la variación de masa correspondiente.

### 3. INTERACCIONES ENTRE ÁTOMOS Y ONDAS

Sabemos que la energía se transforma en materia y viceversa.

Pero... ¿sabemos si pueden interactuar entre si?

Para responder a esta duda recorreremos una parte de la historia del conocimiento del átomo.



**Definición:** La partícula de un cuerpo simple más pequeña capaz de entrar en las reacciones químicas.

**1803** Dalton propone que la materia se dividía en elementos y compuesto. Los elementos constituidos por átomos, y los compuestos por moléculas.

**Siglo XIX** se piensa que los átomos son divisibles, se componen de varias partículas.

**1897** Thomson descubre el electrón, años después Nagaoka propone que los electrones giran en órbitas alrededor de una partícula positiva..

En **1911** Rutherford descubre el núcleo atómico con su experimento de la lámina de oro.

Alrededor de **1920** Borh propone que los electrones giran alrededor del núcleo en órbitas circulares, donde cada órbita corresponde a un nivel de energía diferente.

**Años más tarde**, De Broglie postula el principio de dualidad en donde el electrón se comporta como una onda y partícula. Como consecuencia solo se puede encontrar al electrón en un área determinada llamada nivel de energía ya que no se puede conocer la velocidad y posición al mismo tiempo( a este fenómeno se lo denomina principio de incertidumbre de Heisenberg). Esto produce el desarrollo de la mecánica cuántica.

### **Radiactividad**

En **1896** Becquerel descubre una propiedad nueva de la materia a la que posteriormente Marie Curie llamó *Radiactividad*.



La radiactividad no depende de la naturaleza física o química del átomo sino que es una propiedad del núcleo. La causa que los origina probablemente se debe a la variación en la cantidad de partículas que se encuentran en el núcleo.

En general los núcleos de átomos pesados presentan cierta inestabilidad, para lo cual emiten radiación para alcanzar estados de equilibrio.

Dichas radiaciones podemos dividir las en:

Desintegraciones alfa, desintegraciones beta y desintegraciones gamma.

**Desintegraciones alfa:** Cuando el núcleo atómico es inestable a causa del gran número de protones que posee (ocurre en los elementos más pesados, es decir con  $Z = 83$  o superior), la estabilidad es alcanzada, con frecuencia, emitiendo una partícula alfa, es decir, un

núcleo de Helio ( ${}^4_2\text{He}$ ) formado por dos protones y dos neutrones.

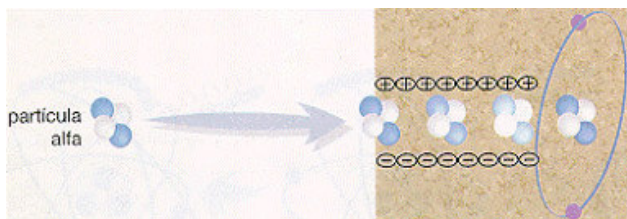
**Desintegraciones beta:** Cuando la relación de neutrones/ protones en un núcleo atómico es elevada, el núcleo se estabiliza emitiendo un neutrón, o bien como ocurre con frecuencia, emitiendo una partícula beta, es decir, un electrón.

**Desintegraciones gamma:** Los rayos gamma son ondas electromagnéticas de gran energía, muy parecidos a los rayos X, y en ciertas ocasiones se presentan cuando ocurre una desintegración de partículas beta, o bien una emisión de positrones. Por lo tanto, la radiación gamma no posee carga eléctrica y su naturaleza ondulatoria permite describir su energía en relación a su frecuencia de emisión.

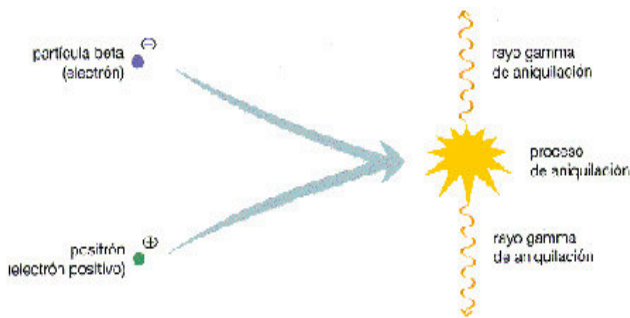
## INTERACCIÓN DE LAS RADIACIONES CON LA MATERIA

La radiación al chocar con las moléculas que encuentra a su paso produce iones, esto se debe a que excita los electrones de los átomos de las moléculas, es decir les entrega energía para que pasen a órbitas superiores.

- **Radiaciones alfa ( $\alpha$ ):** compuesta por dos protones y dos neutrones, de bajo poder de penetración y alta capacidad de ionización. Se mueve en línea recta debido a su gran cantidad de masa.



- **Radiaciones beta ( $\beta$ ):** formada por electrones de carga negativa, su masa es pequeña por lo tanto es propensa a cambiar de trayectoria, bajo poder de penetración y bajo poder de ionización. Al acercarse a un núcleo se frena, la energía que pierde en el frenado la libera como rayos X. Si una partícula beta choca con un positrón (electrón negativo) se aniquila y emite un rayo gamma.



- **Radiaciones gamma ( $\gamma$ ):** son las de mayor energía, no tiene carga eléctrica por lo

tanto no desvían sus trayectorias frente a campos eléctricos, tienen un alto poder de penetración, y un alto poder de ionización. Pueden llegar a extraer electrones de los átomos los cuales a su vez ionizan otras moléculas.

**Neutrones:** no poseen carga eléctrica, tienen un alto poder de penetración. Al chocar contra un átomo ceden parte de su energía y se frenan. Los neutrones de baja velocidad se denominan neutrones térmicos los cuales se descomponen en un electrón y un protón, o pueden ser absorbidos por otros núcleos atómicos.

## 4. PODER DE PENETRACIÓN DE LA RADIACIÓN



**La radiación es uno de los efectos más peligrosos de la energía nuclear.**



**No todas las partículas emitidas tienen la misma posibilidad de atravesar los elementos.**

Los materiales radiactivos pueden ser peligrosos porque la radiación que se emite puede dañar los tejidos vivos. La capacidad para infligir daños depende en parte del poder de la radiación para penetrar en los tejidos.

En condiciones de igualdad por lo demás, cuanto mayor es la masa de una partícula menor es su poder de penetración. Las partículas alfa, que son núcleos de helio con una masa de 4 uma, constituyen el menos penetrante de los tres tipos principales de radiactividad. Las partículas beta, idénticas a los electrones, cuya masa es insignificante, son un poco más penetrantes. Los rayos gamma, como los rayos X, carecen totalmente de masa; su poder de penetración es mucho mayor que el de los otros dos tipos.

Puede parecer contrario al sentido común pensar que las partículas más grandes se abren camino con más dificultad. Considerará, sin embargo, que el poder de penetración refleja la capacidad de la radiación para abrirse camino a través de una muestra de materia. Es como si trataras de hacer rodar piedras por un campo de grandes rocas. La partícula alfa se comporta como si fuese una roca grande. Debido a su tamaño, no puede

avanzar mucho sin chocarse con otras rocas y ser detenida por ellas. La partícula beta se comporta como una piedra pequeña que puede introducirse entre las rocas y quizá hasta rebotar en ellas hasta completar un recorrido más largo. El rayo gamma es comparable a un grano de arena capaz de pasar por las aberturas más pequeñas.

Al principio de esta explicación dijimos que, si todo lo demás es igual, así es como funcionan las cosas. Pero lo demás no siempre es igual. Cuanto más rápido se mueve una partícula o más energía tiene la radiación, mayor es su poder de penetración.

Si la sustancia radiactiva está afuera del cuerpo, las partículas alfa de poco poder de penetración son las menos peligrosas, pues las detiene la capa externa de la piel. También las partículas beta se detienen normalmente antes de alcanzar órganos vitales. Los rayos gamma atraviesan sin difi-

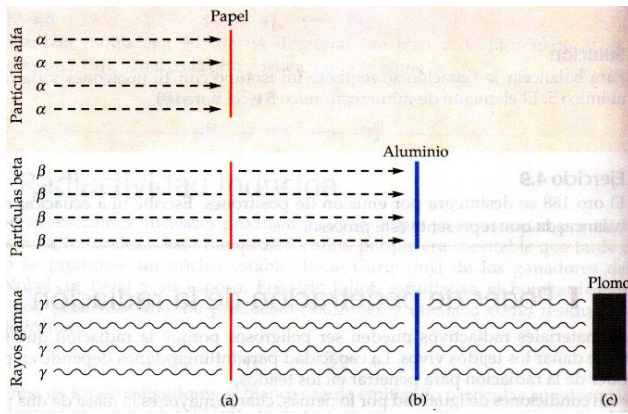


cultad los tejidos, así que una fuente externa de los mismos puede ser muy peligrosa. En cambio, cuando la fuente radiactiva está adentro del cuerpo la situación se invierte. Las partículas alfa que no penetran pueden causar graves daños. Todas estas partículas están atrapadas en el interior del cuerpo, el cual tiene, entonces, la posibilidad de absorber toda la energía que libera la partícula. Las partículas alfa infligen el daño en un área muy pequeña porque no se desplazan muy lejos. Las partículas beta distribuyen el daño en un área algo mayor porque recorren distancias mayores. Los tejidos se pueden recuperar de un daño limitado disperso en un área grande, pero es menos probable que sobrevivan a una lesión concentrada.


Las personas que trabajan con materiales radiactivos disponen de diversas formas de protegerse contra ellos. La más simple consiste en alejarse de la fuente, porque la intensidad de la radiación disminuye con la distancia respecto a la fuente.


te. Los trabajadores se pueden proteger también por medio de blindajes. Una hoja de papel detiene casi todas las partículas alfa. Un bloque de madera o una lámina delgada de aluminio detiene las partículas beta.

Pero se necesitan varios metros de concreto o varios centímetros de plomo para detener los rayos gamma.



## 5. VIDA MEDIA

 Cuando hablamos de átomos individuales estamos trabajando con elementos que apenas imaginamos.

 Para entender lo que pasa con la radiación debemos referirnos a un grupo más grande de partículas y trabajar con promedios.

Hasta aquí hemos estudiado la radiactividad en relación con los átomos individuales. En el laboratorio nos ocupamos en general con números muy grandes de átomos, mucho mayores que el núme-

ro de habitantes de la tierra. Si pudiésemos ver el núcleo de un átomo individual, podríamos ver si sufre o no desintegración radiactiva examinando su composición. Ciertas combinaciones de protones y neutrones son inestables. Sin embargo, lo que no podríamos determinar es cuando el átomo va a sufrir un cambio. La radiactividad es un proceso aleatorio, independiente en general de las influencias externas.

Cuando tenemos un número grande de átomos el proceso de desintegración radiactiva se hace más predecible. Podemos medir la vida media, que es una propiedad característica de cada radioisótopo. La vida media de un isótopo radiactivo es el período durante el cual la mitad del número original de átomos sufre desintegración radiactiva para formar un nuevo elemento. Por ejemplo, supone que tuviésemos 16 billones de átomos de tritio, el isótopo radiactivo de hidrógeno. La vida media del tritio es de 12.3 años. Esto significa que al cabo de 12.3 años se habrán desin-


tegrado 8 billones de átomos de tritio y quedarán 8 billones de átomos. Al cabo de otros 12.3 años se habrá desintegrado la mitad de los 8 billones de átomos restantes. Por tanto, al cabo de dos vidas medias quedará una cuarta parte del número original de átomos de tritio. Así pues, dos vidas medias no hacen una entera.


Podemos calcular la fracción restante del isótopo original al cabo de un número dado de vidas medias por medio de la relación

$$\text{FRACCIÓN RESTANTE} = \frac{1}{2^N}$$

Donde n es el número de vidas medias transcurridas

## 6. RADIATIVIDAD ARTIFICIAL

 La radiactividad es un fenómeno natural y en esas condiciones poco aprovechable.

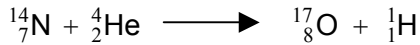
 El hombre trabajó mucho para controlarlo y hacer de este efecto algo útil. Aunque, como es muy habitual en la humanidad, las implementaciones destructivas también tuvieron gran desarrollo.

## TRANSMUTACIÓN ARTIFICIAL

Las formas de radiactividad que se presentan en la Naturaleza. Se pueden inducir otras reacciones nucleares bombardeando núcleos estables con partículas alfa, neutrones u otras partículas subatómicas. Estas partículas, si tienen suficiente energía, penetran los núcleos, que antes eran estables, e inducen alguna forma de emisión radiactiva. Al igual que la radiactividad natural, este tipo de cambio nuclear produce una transmutación: un elemento se transforma en otro. Debido a que el cambio no se habría producido de manera natural, el proceso se conoce como transmutación artificial.

Pocos años después de su famoso experimento de la laminilla de oro (bombardeo con radiación alfa una lamina de oro y detectó en una lamina de sulfuro de zinc la radiación emergente), Ernest Rutherford estudió el bombardeo de diversos elementos ligeros con partículas alfa. Un experi-

mento de este tipo, en el cual Rutherford bombardeó nitrógeno, dio por resultado la producción de protones.



(Recordá que el núcleo de hidrógeno es un protón; por eso usamos el símbolo alternativo  ${}^1_1\text{H}$  para el protón)

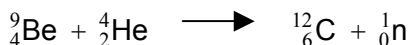
Observá que la suma de los números de nucleones de la izquierda es igual a la suma de los números de nucleones de la derecha. También los números atómicos están balanceados.

Rutherford había postulado en 1914 la existencia de protones en los núcleos. Un experimento publicado en 1919 proporcionó la primera comprobación empírica de la existencia de estas partículas fundamentales. Ya antes Eugen Goldstein había producido protones en sus experimen-



tos con tubos de descarga en gas. Goldstein obtuvo estas partículas a partir del hidrógeno gaseoso contenido en el tubo por separación de un electrón del átomo de hidrógeno. La trascendencia del experimento de Rutherford consistió en que obtuvo protones del núcleo de un átomo que no era de hidrógeno, con lo cual estableció la naturaleza de los protones como partículas fundamentales. Al hablar de partículas fundamentales nos referimos a las unidades básicas a partir de las cuales se pueden formar estructuras más complicadas (como el núcleo de nitrógeno). El experimento de Rutherford constituyó la primera reacción nuclear inducida.

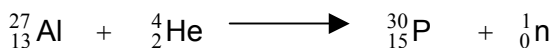
Durante la década de 1920 se llevaron a cabo muchas transmutaciones artificiales. En la década de 1930 una de estas reacciones condujo al descubrimiento de otra partícula fundamental. En 1932, James Chadwick bombardeó berilio con partículas alfa.



Entre los productos se encontraba el neutrón.

## RADIOACTIVIDAD INDUCIDA

Las primeras reacciones nucleares produjeron isótopos que ya se conocían por estar presentes en la Naturaleza. Esto fue quizá fortuito, porque era inevitable que tarde o temprano se produjese un núcleo estable. Irène Curie (hija de los ganadores del premio Nobel de 1903) y su esposo, Frédéric Joliot, estudiaban el bombardeo de aluminio con partículas alfa. Se producían neutrones y quedaba como residuo un isótopo de fósforo.

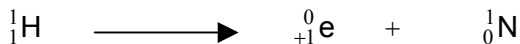


Para sorpresa de los investigadores, el blanco seguía emitiendo partículas aún después de interrumpido el bombardeo. El isótopo de fósforo era radiactivo y emitía partículas cuya masa era igual a

la del electrón pero cuya carga era opuesta. Estas partículas se llaman positrones. La reacción que estaban observando era la siguiente:




Así pues, surge una vez más la pregunta: ¿de dónde proviene esta partícula si el núcleo contiene sólo protones y neutrones? Anteriormente explicamos el hecho de que surgiese una partícula beta (un electrón) de un núcleo afirmando que un neutrón se había descompuesto en un protón y un electrón. Quizá un suceso similar puede explicar la aparición de un positrón. Considera que un protón del núcleo se transforma en un neutrón y un positrón (un protón es idéntico a un núcleo de hidrógeno)




Todo queda muy bien balanceado en esta

ecuación. Al emitirse el positrón, el núcleo radiactivo original tiene de pronto un protón menos y un neutrón más que antes. Por tanto, la masa del núcleo producido es la misma, pero su número atómico se ha reducido en una unidad respecto al núcleo original. Por este trabajo la pareja Joliot-Curie se hizo acreedora al premio Nobel en 1935. (la pareja Joliot-Curie adoptó el apellido combinado para perpetuar el nombre de Curie. Marie y Pierre Curie tuvieron dos hijas, pero ningún hijo varón.

## 7. USOS DE LOS RADIOISÓTOPOS

 Muchas de las aplicaciones de la energía de la radiación se realizan a través de los radioisótopos.

 Gracias a ellos y a los detectores se evitan grandes pérdidas materiales y se ahorra grandes esfuerzos.

Los científicos que trabajan en una amplia variedad de campos emplean isótopos radiactivos (radioisótopos) como rastreadores en sistemas físicos, químicos y biológicos. Los isótopos de un elemento determinado, sea radiactivo o no, se

comportan de manera casi idéntica en los procesos químicos y físicos. En virtud de la facilidad para detectar los isótopos radiactivos, es relativamente fácil seguir sus movimientos, incluso en un sistema complicado.

Como un ejemplo sencillo, consideremos el flujo de un líquido por una tubería. Supongamos que hay una fuga en una tubería enterrada bajo un piso de concreto. Podríamos localizar la fuga levantando partes extensas del piso, o bien podríamos agregar una pequeña cantidad de material radiactivo al líquido que va hacia el drenaje y rastrear el flujo de líquido con un contador Geiger (un instrumento que detecta la radiactividad). Una vez localizada la fuga, sólo habría que levantar una parte pequeña del piso para reparar la fuga. Por lo general se emplean para este propósito isótopos de vida corta, que desaparecen poco tiempo después de realizar su función.

Análogamente, podríamos rastrear la incorporación de fósforo en una planta verde. La planta se

alimenta con un fertilizante que contiene fósforo radiactivo. Un método sencillo de detección consiste en colocar la planta sobre una película fotográfica. La radiación que emiten los isótopos de fósforo expone la película, en gran medida como lo hace la luz. Este tipo de exposición, llamado radiografía, muestra la distribución del fósforo en la planta.

También se da un buen uso a los rastreadores radiactivos en la investigación agrícola. Estos isótopos se utilizan para estudiar la eficacia de los fertilizantes y los herbicidas, para comparar el valor nutritivo de diversos alimentos, y a fin de determinar cuáles son los mejores métodos para regular los insectos. La mutación intencional de plantas por irradiación ha producido nuevas y mejores cepas de plantas de cultivo con valor comercial, desde rábanos hasta maní.

Los radioisótopos se emplean también para irradiar alimentos, como método de conservación. La radiación destruye los microorganismos que


causan la descomposición de los alimentos. Los alimentos irradiados muestran poco cambio en cuanto a su sabor o aspecto. A muchas personas les inquietan los posibles efectos dañinos de las sustancias químicas que produce la radiación, pero no hay pruebas contundentes de daños causados por alimentos irradiados en animales de laboratorio alimentados con ellos, y tampoco se conocen efectos adversos en seres humanos en los países donde la irradiación se ha utilizado por muchos años. El proceso de esterilización no deja irradiación residual en los alimentos.


Los radioisótopos han sido empleados extensamente en la investigación científica básica. El mecanismo de la fotosíntesis se dilucidó en gran parte utilizando carbono 14 como rastreador. Por ejemplo, para determinar cómo fabrican las plantas el azúcar glucosa a partir de dióxido de carbono y agua, la planta se expone a dióxido de carbono radiactivo. El investigador identifica los compuestos que se forman a partir de estas materias



primas y el orden en el que se sintetizan, y después determina cuáles compuestos se tornan radiactivos y en qué secuencia. Con base en los datos obtenidos de experimentos con rastreadores los científicos determinan las rutas metabólicas de plantas, animales y seres humanos.

## 8. MEDICINA NUCLEAR

 La medicina nuclear ha generado tratamientos y terapias inimaginables antes de su descubrimiento.

 En el diagnóstico generó métodos no invasivos que evitan a los pacientes, tanto sufrimientos como pérdidas de tiempo.

En medicina nuclear se dan dos usos distintos a los radioisótopos: para fines terapéuticos o para realizar un diagnóstico. En la terapia con radiación se intenta tratar, o curar, un padecimiento por

medio de radiación. El uso de los radioisótopos con fines de diagnóstico busca obtener información acerca del estado de salud del paciente.

## **TERAPIA POR RADIACIÓN**

El cáncer no es una sola enfermedad, sino muchas. Algunas formas de cáncer son particularmente susceptibles a la terapia por radiación. La radiación se dirige cuidadosamente hacia el tejido canceroso y se reduce al mínimo la exposición de las células normales. Si los efectos destructivos de la radiación consiguen matar las células cancerosas, se detiene el avance del tumor maligno. (Pero los pacientes que se someten a terapia por radiación suelen experimentar malestares a causa del tratamiento. Náusea y vómito son los síntomas usuales del malestar por radiación. Así pues, el objetivo de la terapia por radiación es destruir las células cancerosas antes de que se cause un daño excesivo a los tejidos sanos. La radiación tiene

efectos más letales para las células que se reproducen con rapidez, y ésta es precisamente la característica de las células cancerosas que permite que la terapia por radiación tenga éxito.

## **USOS DIAGNÓSTICOS DE LOS RADIOISÓTOPOS**

Los radioisótopos se usan para fines diagnósticos con el propósito de obtener información acerca del tipo o el alcance de la enfermedad. El yodo 131 radiactivo se emplea para determinar el tamaño, la forma y la actividad de la glándula tiroides, así como para tratar cánceres localizados en esta glándula y para controlar una tiroides hiperactiva. Primero, el paciente toma una solución de yoduro de potasio que contiene yodo 131. El organismo concentra el yodo en la tiroides. Se usan dosis grandes para el tratamiento del cáncer de la tiroides; la radiación del isótopo se concentra en las células cancerosas de esta glándula aún cuando las células cancerosas se hayan extendido a

otras partes del cuerpo. Sin embargo, para fines de diagnóstico sólo se necesita una pequeña cantidad del radioisótopo. También en este caso el material se concentra en la tiroides. Se monta un detector de tal manera que las lecturas se convierten en un registro visual permanente que muestra la incorporación diferencial del isótopo. La "imagen" que se obtiene se describe como una fotoexploración, y permite determinar con precisión la ubicación de un tumor en esa región del cuerpo.

El radioisótopo de uso más extendido en medicina es el gadolinio 153. Este isótopo se emplea para evaluar la mineralización de los huesos. Su popularidad es un indicio del gran número de personas, principalmente mujeres, que sufren de osteoporosis (reducción de la cantidad de tejido óseo) a medida que envejecen. El gadolinio 153 emite dos radiaciones características: un rayo gamma y un rayo X. Un dispositivo analizador compara estas radiación después de que atraviesan el hueso. La

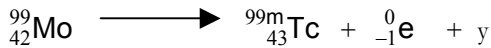
densidad del mismo se determina con base en las diferencias de absorción de los rayos.

El tecnecio  $99^m$  se utiliza en diversos ensayos diagnósticos. La letra m quiere decir metaestable, lo que significa que este isótopo emite cierta energía para convertirse en una versión más estable del mismo isótopo (mismo número atómico y mismo peso atómico). La energía que desprende es el rayo gamma que permite detectar el isótopo.



Observa que la desintegración del tecnecio  $99^m$  no produce partículas alfa ni beta, las cuales podrían causar daños innecesarios al organismo. Además, el tecnecio  $99^m$  tiene una vida media corta (alrededor de 6 h), lo que significa que la radiactividad no permanece en el organismo mucho tiempo después de que la exploración se ha completado. Esta vida media tan corta obliga a planifi-

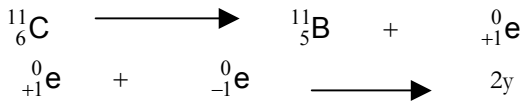
car cuidadosamente el uso del radioisótopo. De hecho, lo que se adquiere no es el isótopo mismo. El tecnecio  $^{99m}$  se forma por desintegración del molibdeno 99.



Se emplea un recipiente que contiene este isótopo de molibdeno, y el producto de desintegración, el tecnecio  $^{99m}$ , se extrae del recipiente a medida que se necesita.

Mediante el uso de modernas tecnologías basadas en la utilización de computadoras, la tomografía por emisión de positrones (PET, por sus siglas en inglés) permite medir los procesos dinámicos que se llevan a cabo en el organismo, como el flujo sanguíneo o la rapidez con la que se metaboliza el oxígeno o la glucosa. Las exploraciones de PET se emplean actualmente para identificar con precisión el área de daño cerebral que desen-

cadena los ataques epilépticos graves. Antes de la exploración se inhalan o se inyectan compuestos que contienen isótopos emisores de positrones, como el carbono 11. Antes de que el positrón emitido pueda recorrer una distancia apreciable en el cuerpo se topa con un electrón (en toda la materia ordinaria abundan los electrones) y se producen dos rayos gamma.



Estos rayos gamma salen del cuerpo en sentidos opuestos. Se colocan detectores en lados opuestos del paciente para registrar los rayos gamma. Si se ajustan los dispositivos de registro de tal modo que se registren casi simultáneamente dos rayos gamma, el sistema no toma en cuenta los rayos gamma de la radiación natural de fondo. A continuación se emplea una computadora para calcular la ubicación dentro del cuerpo del punto



en el cual ocurrió una aniquilación del positrón y el electrón, y se genera una imagen en esa región.

La tabla contiene una lista de radioisótopos de uso común en la medicina. La lista es necesariamente incompleta. Incluso con esta exposición tan breve puedes hacerte una idea de la importancia que los radioisótopos tienen en la medicina. La aseveración de que la ciencia nuclear ha salvado más vidas de las destruidas por las bombas atómicas no carece el fundamento.

Isótopo	Nombre	Vida media	Uso
$^{11}\text{C}$	Carbono 11	20.3m	Exploraciones cerebrales
$^{51}\text{Cr}$	Cromo 51	27.8d	Determinación del volumen sanguíneo
$^{57}\text{Co}$	Cobalto 57	270d	Medición de la incorporación de vitamina v12
$^{60}\text{Co}$	Cobalto 60	5.26a	Terapia de cáncer por radiación
$^{153}\text{Gd}$	Gadolinio 153	242d	Determinación de la densidad ósea
$^{67}\text{Ga}$	Galio 67	78.1h	Exploración en busca de tumores pulmonares
$^{131}\text{I}$	Yodo 131	8.07d	Terapia de la tiroides
$^{192}\text{Ir}$	Iridio 192	74d	Terapia del cáncer de mamá
$^{59}\text{Fe}$	Hierro 59	45d	Detección de anemia

$^{32}P$	Fósforo 32	14.3d	Detección de cáncer de la piel o tumores oculares.
$^{238}Pu$	Plutonio 238	86a	Suministra energía para marcapasos
$^{226}Ra$	Radio 226	1600a	Terapia de cáncer por radiación
$^{75}Se$	Selenio 75	120d	Exploraciones del páncreas
$^{24}Na$	Sodio 24	15.0h	Localización de obstrucciones en el flujo sanguíneo
$^{99}Tc$	Tecnecio 99	6.0h	Obtención de imágenes de cerebro, hígado, médula ósea riñón o corazón
$^{201}Tl$	Talio 201	73h	Detección de problemas cardíacos con la prueba de esfuerzo en rueda de andar
$^3H$	Tritio	12.3a	Determinación de agua corporal total
$^{133}Xe$	Xenón133	5.27d	Obtención de imágenes de pulmón

## 9. FECHADO POR MEDIO DE RADIOISÓTOPOS



Una de las aplicaciones más increíbles de la química nuclear es la posibilidad de averiguar la antigüedad de los objetos encontrados en las investigaciones arqueológicas.

Se puede usar la vida media de ciertos isótopos para estimar la antigüedad de rocas y artefactos arqueológicos. El uranio  $^{238}\text{U}$  se desintegra con una vida media de 4500 millones de años. Los productos iniciales de esta desintegración también son radiactivos, y la descomposición continúa

hasta que se forma un isótopo de plomo (plomo 206). Los químicos pueden estimar la antigüedad de una roca determinando las proporciones relativas de uranio 238 y plomo 206. Se ha encontrado que algunas de las rocas más antiguas de la Tierra se formaron hace entre 3000 y 4500 millones de años . En las rocas lunares y en meteoritos se ha determinado una antigüedad máxima de alrededor de 4500 millones de años. Así pues, se considera en general que la Tierra tiene una antigüedad de unos 4500 millones de años.

#### **FECHADO POR CARBONO 14**

En el fechado de artefactos interviene por lo general un isótopo radiactivo de carbono. Se forma carbono 14 en las capas superiores de la atmósfera por el bombardeo que experimenta el nitrógeno ordinario por parte de los neutrones de los rayos cósmicos.



Este proceso origina una concentración constante de carbono 14 en el  $\text{CO}_2$  terrestre. Las plantas y animales vivos incorporan este isótopo en sus propias células. Sin embargo, cuando estos seres mueren se interrumpe la incorporación de carbono 14, y el carbono 14 que hay en el organismo se desintegra (con una vida media de 5 730 años) a nitrógeno 14.

Por consiguiente, basta con medir la actividad residual de carbono 14 en un artefacto de origen vegetal o animal para determinar su antigüedad. Por ejemplo, una muestra que tiene la mitad de la actividad de carbono 14 propia del material vegetal de origen reciente tiene 5 730 años de antigüedad; es decir, ha estado muerta durante un tiempo equivalente a una vida media. Análogamente, un artefacto que muestra el 25% de la actividad de carbono 14 del material vegetal reciente tiene

11460 años de antigüedad; en otras palabras, ha estado muerto durante un tiempo que equivale a dos veces la vida media.

El fechado por carbono 14, como lo hemos descrito aquí, supone que la formación del isótopo fue constante a lo largo del tiempo. En realidad no es así. Sin embargo, aproximadamente para los últimos 7000 años las fechas obtenidas por carbono 14 han sido correlacionadas con las calculadas con base en los anillos de crecimiento anual de los árboles. Se han construido curvas de calibración que permiten determinar fechas consideradas como exactas.

En términos generales, el método de carbono 14 es razonablemente preciso para fechar objetos de hasta 50000 años de antigüedad. La cantidad residual del isótopo en los objetos de una antigüedad mayor que esa es demasiado pequeña para hacer una determinación exacta.

El carbón de las fogatas de los pueblos anti-

guos, fechado por determinación de la actividad de carbono 14, se usa para estimar la antigüedad de otros artefactos encontrados en el mismo emplazamiento arqueológico. La técnica de fechado por carbono 14 se ha usado también para detectar si supuestos artefactos antiguos han sido falsificados.

## **EL SUDARIO DE TURÍN**

Probablemente han oído hablar del sudario de Turín. Se trata de una pieza de tejido de lino muy antigua, de unos 4 metros de largo, que muestra la impresión aproximada de un cuerpo humano. Desde alrededor del año 1350 d.C. se afirmaba que era parte del lienzo mortuorio de Cristo. Sin embargo, los estudios de fechado por carbono 14 que llevaron a cabo tres laboratorios nucleares distintos indicaron que el lino empleado en la fabricación del lienzo había sido cultivado en algún momento entre los años de 1260 y 1390 d.C. Por



tanto, el lienzo no podría haber existido en tiempos de Cristo. A diferencia de los pergaminos del Mar Muerto, para los que el fechado por carbono 14 demostró que son registros auténticos de una civilización que existió hace unos 2000 años, el sudario de Turín resultó ser falso.

### **FECHADO POR TRITIO**

El tritio, que es el isótopo radiactivo del hidrógeno, sirve también para fechar. Su vida media de 12.3 años lo hace útil para fechar objetos de hasta 100 años de antigüedad. Una aplicación interesante es el fechado de aguardientes. Estas bebidas alcohólicas son muy costosas cuando han sido añejadas de 10 a 50 años. El fechado por tritio permite comprobar la veracidad de los anuncios publicitarios respecto al proceso de añejamiento de las variedades más caras.

Hay muchos otros isótopos que permiten estimar la antigüedad de objetos y materiales.

Isótopo	Vida media (años)	Período de utilidad	Uso
<b>Carbono 14</b>	5730	500 a 50000 años	Carbón vegetal, material orgánico
<b>Tritio</b>	123	1 a 100 años	Vinos añejados
<b>Potasio 40</b>	$1.3 \times 10^9$	Desde 10000 años	Rocas, corteza terrestre y lunar
<b>Renio 187</b>	$4.3 \times 10^{10}$	Desde $4 \times 10^7$ años	Meteoritos
<b>Ranio238</b>	$4.5 \times 10^9$	Desde $10^7$ años	Rocas, corteza terrestre.

## 10. PLANTAS DE ENERGÍA NUCLEAR



**¿Sabés de dónde viene esa energía que nosotros usamos tanto?**



**Mucha de la energía eléctrica es producida por plantas nucleares de todo el mundo.**

La energía nuclear ha dado origen a bombas muy destructivas y a la nociva precipitación radiactiva, y podría incluso provocar un devastador invierno nuclear. Sin embargo, una cantidad mucho mayor de personas han recibido beneficios de la energía nuclear que las que han sido perjudicadas por ella. El hecho es que existen muchos usos de la energía nuclear que son sumamente benéfi-

cos. Ya conocemos el uso de isótopos radiactivos en el diagnóstico clínico y en el fechado de objetos de antigüedad desconocida. Otro uso pacífico de la energía nuclear es la "generación de electricidad". Una gran parte de la energía eléctrica que se utiliza hoy en día se genera en plantas de energía nuclear.

En la actualidad, una quinta parte de toda la electricidad que se produce en Estados Unidos proviene de plantas de energía nuclear. En Europa la dependencia respecto a la energía nuclear para la producción de electricidad es aún mayor. En Francia, por ejemplo, más del 70% de la energía eléctrica del país proviene de plantas nucleares.

No es sorprendente que una reacción que desprende tanta energía como lo hace la fisión nuclear se use como fuente de energía para generar electricidad. En las plantas de energía nuclear se usa el calor obtenido de una reacción de fisión

en cadena, controlada, para producir vapor de agua que mueve las turbinas generadoras de electricidad. El combustible nuclear es normalmente óxido de uranio,  $U_3O_8$ , enriquecido hasta alrededor de 3% de uranio 235.

La energía nuclear es mucho más limpia que la que se obtiene quemando combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas): no produce cenizas finas ni hollín, no forma dióxido de carbono, que contribuye al efecto de invernadero y al calentamiento global, y no contamina el aire con óxidos de azufre y de nitrógeno, que dan origen a la lluvia ácida. Por otra parte, emite grandes cantidades de calor residual en el ambiente y, lo que es mucho más serio, produce muchos residuos radiactivos. La eliminación de todos estos materiales radiactivos de desecho es uno de los problemas constantes que se tienen en relación con las plantas de energía nuclear.

## 11. BOMBA ATÓMICA



Todos sabemos los desastres que pueden causar la detonación de una bomba nuclear.



Aquí presentamos la explicación teórica y cómo se pone en práctica.

### **CÓMO FUNCIONA UNA BOMBA NUCLEAR EN LA TEORÍA**

El 16 de Julio de 1945 estalló la primera bomba atómica en el campo de pruebas de Trinity, cerca de álamo Gordo (Nuevo Méjico). Desde ese pre-

ciso instante la historia de la humanidad ha pasado a una nueva era, la era nuclear.

Nunca hasta entonces se habían tenido los conocimientos necesarios como para saber que la masa puede convertirse en grandes cantidades de energía y cómo podía realizarse ese proceso, hasta entonces reservado tan sólo a las estrellas.

La famosa fórmula de Einstein  $E = mc^2$  ha pasado ya a formar parte de la cultura popular aún sin que en realidad se llegue a saber que implica. Donde E es energía, m masa y c la velocidad de la luz (constante). En esta ecuación se expresa la relación de equivalencia entre masa y energía. Por ejemplo, haciendo algunas cuentas se ve que con un gramo de uranio, si se convirtiese totalmente en energía se obtendrían 25 millones de Kw.

Aplicado como una bomba nuclear basta decir que para asolar Hiroshima sólo se convirtió un

gramo de masa (aunque toda la bomba como mecanismo pesara cuatro toneladas); su potencia fue de 12.5 kilotones, es decir, para igualar su potencia serían necesarios 12500 toneladas de TNT. La materia usada en una bomba nuclear suele ser uranio 235 o plutonio 239, ya que debido a su gran densidad las hace ideales como combustibles de fisión. Cuando en un espacio se reúne la suficiente cantidad de materia (denominada masa crítica) se produce una reacción en cadena espontánea; esto es: el núcleo de los átomos del material se divide liberando energía y varios neutrones "rápidos" que provocan que otros núcleos también se dividan y liberen más energía y neutrones. Este proceso se denomina fisión nuclear. Sin embargo, si la densidad no es suficiente la energía liberada hace que el material se expanda y se detenga el proceso. Para evitar que se pare la reacción se recurre a una materia muy densa de por sí (isótopos del uranio y plutonio) que además se comprime de manera muy rápida para lograr una



altísima densidad que permite que los neutrones "rápidos" choquen antes con otros núcleos y se produzcan antes el mayor número de divisiones.

Como la cantidad de divisiones aumenta exponencialmente (por Ej.: 2, 4, 16, 256...) es casi al final del proceso cuando se libera más energía. Para una explosión de 100 kilotones son necesarias 58 generaciones, las 7 últimas generan el 99,9 % de la energía en periodo cortísimo de tiempo. También puede liberarse energía con la fusión, en este proceso los núcleos se unen en vez de separarse, pero se requieren altísimas temperaturas (del orden de millones de grados) para que este proceso se lleve a cabo. Para esta reacción se usan átomos ligeros (más fáciles de unir), generalmente hidrógeno o sus isótopos (deuterio y tritio). Para unir dos átomos "basta" con hacerlos chocar. Los protones de cada átomo se repelen debido a que ambos tienen carga positiva, de modo que no llegan a acercarse lo suficiente para que se unan (gracias a la fuerza nuclear fuerte). Por eso, para que se lleve a cabo la

fusión deben comprimirse fuertemente los núcleos, y una vez hecho sólo podrán continuar unidos si pierden un equivalente de la energía que les hizo apretarse. En el caso de usar deuterio y tritio se libera violentamente un neutrón. Esta energía liberada es la que forma una bomba de fusión, también denominada bomba H.

## **COMO FUNCIONA UNA BOMBA ATOMICA EN LA PRACTICA**

Sea cual fuere el sistema de funcionamiento de una bomba nuclear (fusión o fisión), una cantidad de masa se convierte en energía, la potencia sólo depende de la capacidad de la ingeniería para convertir más masa antes de que la reacción disperse las moléculas; en teoría la potencia es, por tanto, ilimitada.

Una bomba nuclear consiste básicamente en una esfera hueca de plutonio que no es lo suficiente-

mente densa como para producir una reacción en cadena. En su interior se encuentra un mecanismo iniciador de neutrones, y el exterior se encuentra revestido de un material explosivo.

Para iniciar la explosión se disparan los detonadores que hacen que el material explosivo estalle de la manera lo más regular posible para que envíe una onda de choque esférica hacia el plutonio. Cuando ésta impacta contra él lo comprime y reduce su volumen empujándolo hacia el centro de la esfera hasta que alcanza una densidad suficiente (supercrítica) y se dispara el iniciador de neutrones para comenzar la reacción en cadena que da lugar a la explosión nuclear.

Las bombas termonucleares, de fusión o H, necesitan de una gran temperatura para que se puedan unir los núcleos, esto se consigue en el interior de una explosión de fisión, que es el comienzo de toda bomba H.

Una vez acabada la reacción de fusión nos encontraremos con una esfera expandida con una temperatura de millones de grados en la que existen los productos de la fusión (litio e isótopos del hidrógeno). Tal es su velocidad que pueden fundirse unos con otros dando lugar a la reacción de fusión. Esta reacción genera más energía que la anterior y libera gran cantidad de partículas nucleares, pero no es una reacción en cadena, ya que el propio calor que genera hace que las partículas se separen y se expandan en forma de una esfera de plasma con una temperatura que tan sólo experimenta el universo de manera natural en las estrellas. En nuestro sol por ejemplo, ocurren la fusión nuclear de hidrógeno y helio. Pero antes de que la reacción se extinga, los neutrones generados por las detonaciones anteriores provocan de nuevo una reacción de fusión sobre una camisa de U-238, pero esta vez mucho mayor que las anteriores. La potencia de una bomba termonuclear carece de límite; una bomba como la de Hiroshima de

12,5 kilotones (un kilotón equivale a 1.000 toneladas de TNT) se considera dentro de los arsenales modernos como pequeña, siendo las de un megatón (1000 kilotones) las "standard". En la URSS llegaron a detonar una de 60 megatones. Un submarino norteamericano Trident posee el poder destructivo equivalente a 25 veces el de toda la Segunda Guerra Mundial.

Para la construcción de una bomba nuclear normalmente se usa U-235 mezclado con U-238. El primero no forma parte de la reacción nuclear sino que es el segundo el que es fisionable de manera espontánea emitiendo neutrones, que son absorbidos por el U-235 para evitar que se produzca de manera accidental la reacción en cadena. Así el U-235 hace de escudo absorbiendo los neutrones del U-238 que es el que produce la detonación nuclear. El U-235 puede ser sustituido por PU-239, que no se halla de manera natural en cantidad apreciable, de modo que se obtiene de los

reactores nucleares a partir del U-238.

La desintegración del uranio en la reacción en cadena se produce de manera espontánea para una masa de 50 Kg si éste elemento es puro. El plutonio no es capaz por si solo de comenzar una rápida reacción en cadena de modo que se mezcla de berilo y polonio, dando como resultado un producto que, aunque no es fisiónable por si solo, una pequeña cantidad actúa como catalizador para las grandes reacciones. Así bastan 16 Kg. de PU-239 para obtener la masa supercrítica, y 10 Kg. si se mezcla con U-238.

El U-235 es muy difícil de extraer por encontrarse en la naturaleza muy mezclado con otros compuestos. Así, por cada 25.000 toneladas de mineral de uranio bruto sólo se obtienen 50 toneladas de uranio, del que el 99.3% es U-235 y el resto el rarísimo isótopo U-238; ambos sólo se pueden separar de manera mecánica gracias a la levísima

diferencia de peso entre ambos. Así, el uranio se mezcla en forma gaseosa con fluor (hexafluorídrico) que es impulsado a baja presión haciéndolo pasar por unas cámaras, que aumentan la concentración de uranio sensiblemente tras cientos de pasadas. Para una central nuclear la pureza ha de ser del 2% y para una bomba (teóricamente) el 95%.

Para separar el isótopo se recurre a la centrifugación del gas, siendo el más pesado U-238 despedido hacia el exterior con más fuerza. Para obtener otra vez el uranio separado del gas se recurre a la separación magnética.

### **MECANISMOS QUE SUELEN COMPONER UNA BOMBA NUCLEAR**

Los mecanismos que suelen componer una bomba nuclear son los siguientes:

**ALTÍMETRO:** No suele usarse el barométrico por verse afectado por las condiciones atmosféricas, tampoco los de continua frecuencia modulada (FM CW) por su complejidad excesiva. Por tanto se suelen usar los que simplemente emiten un pulso intermitente que, rebotando en el suelo y volviendo a la bomba y según el tiempo transcurrido en el recorrido, puede saberse la altura sin necesidad de complicar más el sistema para dar una precisión que en realidad no es importante (2 o 3 m. de diferencia no son apreciables más que en minibombas bastante menores que las de Hiroshima), siendo la altura normal de detonación la de 2.000 m.

En la práctica, la bomba emite un pulso de 4200 Mhz, y al poco emite otra onda de alta frecuencia (la diferencia de tiempo depende de la altura), ambas frecuencias son recibidas y mezcladas electrónicamente para obtener la diferencia de ambas, que es proporcional a la altura. Los pulsos suelen emitirse 120 veces por segundo y alcanzan un



rango de 3.000 m. sobre la tierra y 6.000 m. sobre el mar (la reflexión es allí mejor) siendo su error de hasta 1.5 m.

**CABEZA DETONADORA:** Como ya se dijo, está compuesta de una carga explosiva muy bien calibrada que, a la orden del altímetro, detona produciendo una onda de choque uniforme sobre el elemento radioactivo comprimiéndolo hasta alcanzar la masa supercrítica.

Compañías privadas producen camisas explosivas que, modificadas, pueden ser usadas para la fabricación del objeto que nos ocupa. La cantidad de presión necesaria a aplicar es un secreto por razones de seguridad, aunque se sabe que los explosivos plásticos son ideales sobre todo por su maleabilidad y facilidad de manejo.

El detonador varía si es combustible es uranio o plutonio:

**DETONADOR DE URANIO:** La masa total se divide en dos partes, una mayor de forma semiesférica y cóncava que se acopla perfectamente con la otra más pequeña. Como es de suponer, ambas se encuentran separadas hasta el momento de la detonación, en el que una explosión convencional dispara la parte pequeña que impacta contra la mayor para lograr en un instante la masa supercrítica.

**DETONADOR DE PLUTONIO:** Necesita una precisión de ingeniería mucho mayor que la anterior, ya que está compuesta de 32 secciones de plutonio-berilio-polonio, todas de igual forma y posición distribuidas concéntricamente. El aspecto final es parecido al de un balón de fútbol. Todas han de cerrarse simétricamente en una diezmilésima de segundo para conseguir la detonación.


**DEFLECTOR DE NEUTRONES:** Suele ser U-238. Su función es la que ya se explicó: evitar


una reacción accidental, además refleja las partículas de vuelta cuando se alcanza la masa supercrítica.

**ESCUDO PROTECTOR:** Recibe otros nombres, pero su función es siempre la de proteger de la radiación natural tanto al personal que la maneja como a los circuitos de la bomba que pueden sufrir cortocircuitos o puestas en funcionamiento accidentales.

**SISTEMA DE ARMADO:** Es otro sistema más de seguridad, consistente en quitar una parte imprescindible de la bomba para evitar detonaciones accidentales, de modo que sólo cuando está próximo su lanzamiento se inserta esta parte. Una analogía sería como si al aparcar nuestro coche le quitáramos el volante o una bujía, así estaríamos seguros de que no nos lo roban. porque sin estas partes. el coche no funciona.

## 12. EFECTOS DE UNA EXPLOSIÓN NUCLEAR

 Tenemos frescas en nuestra memoria las imágenes que nos mostró la televisión cuando se produjo el accidente de Chernobyl.

 Aquí explicamos todas las consecuencias de una detonación nuclear.

Las bombas convencionales causan solamente un efecto destructivo provocado por la onda de choque, mientras que las nucleares tienen muchos, siendo cinco los principales:

- **Radiación nuclear** inicial: la altísima temperatura y la elevada presión que se genera en el interior de la explosión emiten radiación en todas las direcciones. Esta se compone de rayos alfa, beta y gamma, que son una forma de radiación electromagnética de alta energía que puede causar la muerte sin que el individuo se de cuenta de que ha sido irradiado. Una explosión de un megatón (de tamaño estándar) mataría a todo ser humano en 15 Km. a la redonda que se encontrase al aire libre.

Las partículas alfa son idénticas a un núcleo de helio, son las que mas larga vida tienen, unos mil años, pero su poder de penetración en la materia es poco, por tanto son las menos peligrosas ya que los que son irradiados por ellas suelen estar cerca del punto cero, y por tanto ya no han de preocuparse por la radiación. Con 45 cm. de tierra se consigue reducir la radiación veinte veces.

Las partículas beta penetran más, siendo suficiente

38 cm. de pared de ladrillo para reducir a un quinto la radiación (una pared moderna ya espesa se compone de 1 pie de ladrillo más cámara más aislante más ladrillo hueco y yeso, que suele quedarse en los 37 cm).

Los de más poder de penetración son las gamma, y por tanto los más peligrosos ya son los que se introducen en los refugios nucleares aún con grandes espesores de hormigón. La única protección eficaz es la de interponer grandes masas de material, mejor cuanto más denso, siendo el ideal el plomo, ya que pasa por los materiales como la luz por una tela, si esta es más densa mayor cantidad de chocará con ella y no la traspasará. Para reducir la dosis a un veinteavo se precisan 30 cm. de hormigón armado.

- **Pulso electromagnético:** La intensa actividad de los rayos gamma genera mediante inducción una corriente de alto voltaje so-

bre antenas, vías férreas, tuberías, que destruye todas las instalaciones eléctricas de una amplia zona si la explosión se efectúa a gran altura. Una detonación de muchos kilotones a 200 km. sobre Omaha (Nebraska) destruiría todos los circuitos eléctricos integrados de toda Norteamérica y parte de Méjico y Canadá. Ante el riesgo de una detonación nuclear es conveniente alejarse de líneas eléctricas y vía férreas, ya que la corriente inducida puede electrocutarnos.

- **Pulso térmico:** al expandirse la bola de fuego el aire circundante absorbe energía en forma de rayos X y la irradia en forma de una luz cegadora y un intensísimo calor. Una bomba de 20 Megatones produciría una intensa luz durante 20 segundos y causaría quemaduras de segundo grado a

cualquier persona expuesta a 45 Km. de distancia.

- **Onda de choque:** La rápida expansión de la bola de fuego genera una onda de choque como cualquier explosión, pero de una potencia muy superior, ya que puede aplastar o barrer edificios dañándolos muy seriamente o destruyéndolos por completo, ya que más que "empujar" por su duración lo que hace es estrujar. Una bomba de 20 megatones no dejaría en un radio de 20 Km. más que escombros, sólo se salvarían las cimentaciones y construcciones enterradas.
- **Primera lluvia radioactiva o lluvia radiactiva local:** una explosión de 20 megatones aras de suelo produciría un cráter de 183 m. de profundidad, la elevada tempe-



ratura vaporiza todo lo que se encuentra dentro de la bola de fuego, todo se funde con los materiales radiactivos de la fisión o fusión y se eleva con el hongo para luego precipitar en forma de finas cenizas. Esto ocurrirá durante las 24 h. siguientes a la explosión y afectará a una región más o menos amplia para una misma potencia, según la climatología. El fenómeno se amplía considerablemente si la detonación se produce cerca del suelo. La energía liberada por esta lluvia es de un 5% del total, aunque no se suele considerar al indicar la potencia de un arma nuclear.

Estos son los denominados **efectos primarios**, que no son los más destructivos; los denominados secundarios, como incendios en masa que acabarían con los pocos supervivientes y matarían a más que el pulso térmico y la onda de choque.

Además, en caso de que se lanzaran muchas bombas nucleares, sus efectos secundarios serían mucho más graves que la suma de ellos por separado, afectando a la totalidad del planeta y la biosfera, a estos se les denomina **efectos globales secundarios**, producidos por unos 10.000 megatonnes mínimos para considerar un holocausto como tal.

- **El primero** de estos efectos es que la radioactividad liberada en caso de holocausto penetraría en todos y cada uno de los seres vivos (y en el mar, la tierra y el aire). Mientras que en dosis altas (según la especie) produciría la muerte, en otras más bajas los efectos serían de lo más variados (mutaciones, esterilidad...)
- **El segundo**, sería que los materiales impulsados por las detonaciones se elevarían hasta la troposfera donde ocultarían la luz

del sol durante meses o años, haciendo bajar la temperatura de la tierra y alterando la fotosíntesis de los vegetales y el plancton marino: sería el famoso invierno nuclear. Además estos materiales radiactivos irían cayendo durante meses o años convirtiéndose en una lluvia radiactiva global que, aún con menos dosis radiactiva que una lluvia provocada por una bomba, sería global. Entre los trescientos productos radiactivos algunos son inofensivos a las pocas segundos u horas, pero otros son perjudiciales durante miles o millones de años. Ese 5% de energía liberada por la lluvia radiactividad en una bomba es poco, pero en los 10.000 megatones de un holocausto suponen ya 500 megatones que irán "estallando" durante miles de años después de la catástrofe.

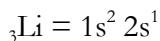
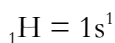
- **El tercero,** sería una reducción en la capa de ozono producida por el óxido de nitrógeno generado por las bolas de fuego, de modo que la radiación solar que llegase a la tierra sería mortal. Un 70% del ozono desaparecería en el hemisferio norte y un 40% en el sur, siendo necesarios treinta años para recuperar su estado normal.

## Ejercicios 12

### MODELO DE RESOLUCIÓN

La distribución de los electrones de un átomo en sus niveles y subniveles se puede representar en forma abreviada de la siguiente manera:

- a) Un coeficiente que indica el número del nivel de energía (n).
- b) Una letra que corresponde al subnivel.
- c) Un supraíndice que señala el número de electrones que hay en el subnivel.



En razón del entrecruzamiento de subniveles, el orden en que se van completando los subniveles por energía creciente es el siguiente:

1s	2s	2p	3s	3p	4s	3d
	4p	5s	4d	5p	6s	4f
	5d	6p		7s	5f	6d
	7p					

Para visualizar la distribución de los electrones en orbitales, se puede representar cada orbital por un pequeño cuadrado, dividido por una diagonal y cada electrón mediante una flecha:



Entonces el orbital puede estar:



Vacío



incompleto  
(1 electrón)



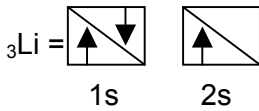
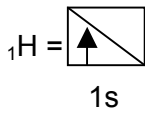
completo  
(2 electrones)

En caso del orbital completo las flechas tienen sentido contrario para indicar que los electrones presentan *spin* contrario.

El llenado de los orbitales por los electrones se realiza a partir de los niveles y subniveles en

orden creciente de energía. Cada nuevo electrón se incorpora a un orbital vacío.

De ese modo los elementos quedan representados así:



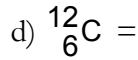
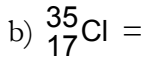
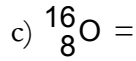
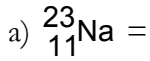
## Ejercicios 12.1

- 1) Un átomo de fósforo tiene 15 protones y 16 neutrones. Indicá cuál es su:
  - a) número atómico ( $Z$ ) .....
  - b) número de masa ( $A$ )
- 2) Un átomo de potasio tiene  $Z = 19$  y  $A = 39$ . Indicá su número de:
  - a) protones .....
  - b) electrones .....
  - c) neutrones
- 3) Completá los datos que faltan en el siguiente cuadro:

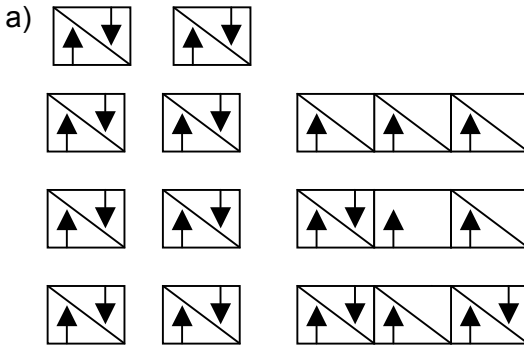


ELE- MEN- TO	NÚ- MERO ATÓ- MICO	NÚ- MERO DE MASA	PRO- TO- NES	ELECTR ONES	NEU- TRO- NES
Na	11	23			
C		12	6		
Si	14				14
Ca			20		20
Ag		108		47	
S		32			16
Cl				17	18

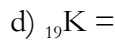
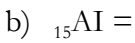
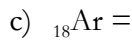
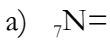
- 4) Señalá el nombre y símbolo de los elementos cuyas configuraciones electrónicas son:
- $1s^2 \ 2s^2 \ 2p^2$
  - $1s^2 \ 2s^2 \ 2p^6 \ 3s^2$
  - $1s^2 \ 2s^2 \ 2p^6 \ 3s^2 \ 3p^6$
  - $1s^2 \ 2s^2 \ 2p^6 \ 3s^2 \ 3p^6 \ 4s^2 \ 3d^1$
- 5) Escribí la configuración electrónica de los siguientes elementos:



6) De acuerdo con la siguiente representación de los electrones en orbitales, indicá a qué elementos corresponden:



7) Representá la distribución de los electrones en orbitales de los elementos:

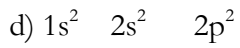
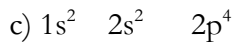
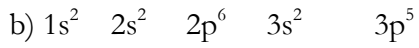


## Hoja de respuestas12.1

- 1) a) 15    b) 31  
 2) a) 19    b) 19    c) 20  
 3)

ELE- MEN- TO	NÚME- RO ATÓ- MICO	NÚ- MERO DE MASA	PRO- TO- NES	ELEC- TRO- NES	NEU- TRO- NES
<b>Na</b>	11	23	11	11	12
<b>C</b>	6	12	6	6	6
<b>Si</b>	14	28	14	14	14
<b>Ca</b>	20	40	20	20	20
<b>Ag</b>	47	108	47	47	61
<b>S</b>	16	32	16	16	16
<b>Cl</b>	17	35	17	17	18

- 4) a) Boro B  
       b) Magnesio Mg  
       c) Argón Ar  
       d) Escandio Sc
- 5) a)  $1s^2$   $2s^2$   $2p^6$   $3s^1$



- 6) a) Be      b) N      c) O      d) Ne

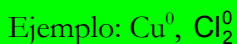


## Ejercicios 12.1.1

### Modelo de resolución

El número de oxidación se asigna según las siguientes reglas:

- 1) El número de oxidación de los elementos en la sustancia simple es cero.



- 2) El número de oxidación del oxígeno es  $-2$  excepto en las sustancias como el agua oxigenada. Ejemplo:  $\text{H}_2\overset{-2}{\text{O}}$ .

- 3) El número de oxidación del hidrógeno es  $+1$ , excepto en las sustancias donde está combinado con los metales. Ejemplo:  $\overset{+1}{\text{H}}_2\text{O}$ .

- 4) El número de oxidación de un ion monoatómico es igual a la carga del ion. Ejemplo:  $\text{Ca}^{2-}$   
 $\text{Cl}^-$ .

5) En la fórmula de una sustancia la suma algebraica de los números de oxidación de todos los átomos debe ser cero. Ejemplo:  $\overset{+1}{\text{H}}_2\overset{-2}{\text{O}}$   
 $\therefore 2(+1) + (-2) = 0$

6) En los iones que tienen más de un átomo, la suma algebraica de los números de oxidación de todos los átomos es igual a la carga del ion.

El número de oxidación se escribe colocando primero el signo y luego el número.

Ejemplo: el número de oxidación del aluminio es +3.

1) Calcúlalos números de oxidación en la molécula de dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ).

**Datos:**  $\text{SO}_2$ , número de oxidación del  $\text{O}_2$  es  $-2$ .

**Incógnita:** número de oxidación de S.

**Resolución:** Cada átomo de oxígeno tiene número de oxidación  $-2$ , por lo tanto el número de oxidación del azufre es  $+4$ , porque

$$2(-2) + (+4) = 0$$

- 2) Calcúlalo el número de oxidación del azufre en el ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ).

**Datos:**  $\text{H}_2\text{SO}_2$ , número de oxidación del  $\text{O}_2$  es  $-2$ , número de oxidación de H es  $-1$ .

Incógnita: número de oxidación de S.

**Resolución:** Se debe cumplir que la suma algebraica de todos los números de oxidación sea cero:

$$4(-2) + 2 \cdot 1 + x = 0$$

$$-8 + 2 + x = 0$$

$$x = 6$$

**Respuesta:** el número de oxidación del azufre en el ácido sulfúrico es  $+6$ .

- 3) Calcúlalo el número de oxidación del nitrógeno en el nitrato de sodio ( $\text{NaNO}_3$ ).

**Datos:**  $\text{NaNO}_3$ , número de oxidación del  $\text{O}_2$  es  $-2$ .

Incógnita: número de oxidación de N.

**Resolución:** El número de oxidación del sodio es +1 porque el ion sodio tiene una carga eléctrica positiva.

$$+1 + 3(-2) + x = 0$$

$$1 - 6 + x = 0$$

$$x = 5$$

**Respuesta:** el número de oxidación del nitrógeno en el nitrato de sodio es +5.

- 4) Calcúlá el número de oxidación del azufre en el ion sulfato ( $\text{SO}_4^{-2}$ ).

**Datos:**  $\text{SO}_4^{-2}$ , número de oxidación del  $\text{O}_2$  es -2.

**Incógnita:** número de oxidación de S.

**Resolución:** La suma de los números de oxidación es igual a -2, porque el ion sulfato tiene dos cargas negativas (2-).

$$x + 4(-2) = -2$$

$$x - 8 = -2$$

$$x = 6$$



**Respuesta:** El número de oxidación del azufre en el ion sulfato es +6.

## Ejercicios 12.1.2

- 1) Dibujá los símbolos de Lewis para los átomos de:  
a) He, b) Al, c) Si, d) Ar, e) N
- 2) ¿Cómo adquiere la distribución electrónica del inértido más cercano cada uno de los siguientes átomos?  
a) K:    b)  $:\ddot{\text{F}} \cdot$     c)  $:\ddot{\text{S}}:$     d) Mg:    e)  $:\ddot{\text{Br}} \cdot$
- 3) Escribí las ecuaciones iónicas, la fórmula electrónica y la fórmula mínima del compuesto iónico formado por:  
a) K y Br (bromuro de potasio)  
b) Ca y O (óxido de calcio)
- 4) Marcá con una X las propiedades correspondientes a las sustancias que presentan uniones iónicas:

- a) Son sólidas y tienen bajo punto de fusión ( )
- b) Conducen la corriente eléctrica fundidas o disueltas en agua ( )
- c) Tienen brillo metálico ( )
- d) Forman cristales duros y quebradizos, solubles en agua ( )
- e) No conducen la corriente eléctrica. ( )

5) Explicá cómo se unen dos átomos de bromo para formar la molécula  $\text{Br}_2$  y escribí su fórmula electrónica y su fórmula desarrollada.

- 6) La fórmula del monóxido de dicloro es  $\text{Cl}_2\text{O}$ .
- a) Indicá qué tipo de unión existe entre el cloro y el oxígeno.
  - b) Escribí su fórmula electrónica y su fórmula desarrollada.

7) .El azufre y el oxígeno forman dos óxidos importantes, el dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) y el

trióxido de azufre ( $\text{SO}_3$ ). Para el trióxido de azufre:

- a) Indicá qué tipo de unión existe entre el azufre y los tres átomos de oxígeno.
- b) Escribí la fórmula electrónica.
- c) Escribí la fórmula desarrollada

8) Marcá con una X las propiedades que corresponden a las sustancias que presentan uniones covalentes:

- a) Generalmente son poco solubles en agua ( )
- b) A temperatura ambiente pueden ser gaseosas, líquidas o sólidas ( )
- c) Son dúctiles y maleables ( )
- d) No forman moléculas, son agregados de iones ( )
- e) No son buenas conductoras de la corriente eléctrica ( )

9) Coloque en el paréntesis UCP si la unión es covalente polar y UCNP si es covalente no polar en cada una de las siguientes sustancias:

a) cloruro de hidrógeno, HCl ( )

b) Hidrógeno, H<sub>2</sub> ( )

c) yodo, I<sub>2</sub> ( )

10) Escribí la fórmula electrónica y la fórmula desarrollada de cada una de las sustancias mencionadas en el ejercicio 9.

11) Calculá el número de oxidación:

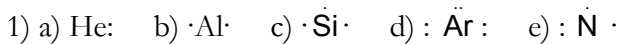
a) del azufre (S), en el dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), en el trióxido de azufre (SO<sub>3</sub>) y en el sulfuro de sodio (Na<sub>2</sub>S);

b) del nitrógeno (N) en el dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), en el ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>) y en el nitrato de potasio (KNO<sub>3</sub>)

12) Marcá con una X las propiedades que se explican en el concepto de unión metálica

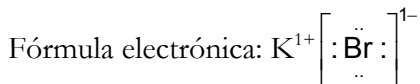
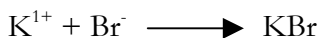
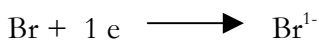
- a) Tienen bajo punto de fusión y de ebullición ( )
- b) Tienen brillo metálico ( )
- c) Conducen la corriente eléctrica sin alterarse ( )
- d) En estado sólido son malos conductores de la corriente eléctrica ( )
- e) Forman hilos y láminas delgadas ( )

## Hoja de respuestas 12.1.2



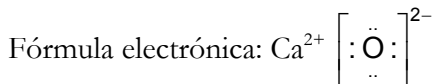
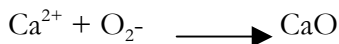
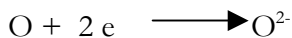
2) a) cede un electrón, d) cede electrones, c) gana dos electrones, b) y e) gana un electrón.

3) a) Ecuaciones iónicas



Fórmula mínima: KBr

b) Ecuaciones iónicas



Fórmula mínima CaO

4) b y d

5) se unen compartiendo un par de electrones.

6) a) unión covalente.

b) fórmula electrónica:  $:\ddot{\text{Cl}} \cdot \cdot \ddot{\text{O}} \cdot \cdot \ddot{\text{Cl}}:$

fórmula desarrollada: Cl – O – Cl

7) a) una unión covalente doble entre el azufre y uno de los átomos de oxígeno, dos uniones covalentes coordinadas con los otros dos átomos de oxígeno.

b) Fórmula electrónic  $:\ddot{\text{O}}:\ddot{\text{S}}::\ddot{\text{O}}:$   
 $:\ddot{\text{O}}:$

Fórmula desarrollada:  $\text{O} \leftarrow \text{S} = \text{O}$   
 $\text{O} \leftarrow$



8) a, b y e

9) a) UCP; y c) UCNP

10) Fórmula electrónica      Fórmula desarrollada

a)       $\text{H}:\ddot{\text{Cl}}:$        $\text{H} - \text{Cl}$

b)       $\text{H}\cdot\cdot\text{H}$        $\text{H} - \text{H}$

c)       $:\ddot{\text{I}}\cdot\cdot\ddot{\text{I}}:$        $\text{I} - \text{I}$

11) a) +4, +6, -2; b) +4, +5, +5

12) b, c y e