

PNGWING

Isótopos:

las huellas digitales de los átomos

Eduardo Cejudo Espinosa, Fanny de Gante Ayora y Daniela Ortega Camacho

Resumen: Los elementos químicos integran la base material de todo lo que existe, y son parte de diversas interacciones no solo entre ellos y el entorno, sino de las que suceden al interior de cada uno. Sus propiedades particulares obedecen a que sus átomos están agrupados en arreglos específicos, y al cambiar el número de protones, se da lugar a la aparición de los isótopos, los cuales permiten que un elemento tenga distintas particularidades sin dejar de ser el mismo, y que se le pueda utilizar en diversas aplicaciones ya sea en la medicina, en el estudio de migraciones de animales y hasta para un mejor entendimiento de los cambios en el clima.

Palabras clave: agua, átomo, lluvia, peso molecular, elementos químicos.

Maayat'aan (maya): Isótopos: beey wa u péets' k'abo'ob átomose'

Kóom ts'íibil meyaj: Le k'ájoola'an beey elementos químicos' u chuun tu'ux ku taal tuláakal ba'ax yaan yóok'olkaab, ku paklan meyaj'ob ma' chéen ichilubáajo'ob yéetel ba'ax bak' pachtiko'ob, tak yéetel ba'ax yaan tu ts'u jujuntúulil. Ba'ax u biilal wáaj u propiedadesil ku taalo'ob ti' bix múuch'enmúuch' u atomosil, yéetel le kéen u k'exo'ob jayp'éeel u protones, ku taasik túun u yantal isótopos, le je'elo'oba' ku cha'iko'ob u jeelpajal bix le elementoo' ba'ale' láayli' leti'e'; ts'o'oke' ma'alob uti'al ba'alo'ob jach k'a'ana'an, ku yáantaj je'elbix ti' ts'aak, ti' u xo'okol bix u bin u k'exiko'ob tu'ux ku kuxtalo'ob ba'alche'ob, bey xan uti'al k' utsil na'atik ba'axten wáaj bix u k'expajal u k'iinil ke'elil wáaj u k'iinil ja'ja'il.

Áantaj t'aano'ob: ja', átomo, cháak, peso molecular, elementos químicos.

Bats'i k'op (tsotsil): sbe chkom yu'un ch'uch'ul kuxlejal

Smelolal vun albil ta jbel cha'bel k'op: Li slikebal k'usi x-ayanan ta skotol banumile oy xch'uch'ultak, le'e ma'uk no'ox stinoj stsakoj sbaik xchi'uk xchi'iltake, taje snitoj stsakoj sbaik ta jujun tal te yo bu tsobolike. Yu'un li xch'uch'ul xkuxle-jale komon tsobajtik ta jchop no'ox, k'alaluk chjel yotolal skap protones sbie, ja' tey chlok' talel li isotopos sbie, ti ja' te xlok'talel skap jeltso no'ox xch'uch'ultake ak'o mi ja' o no'ox u mu xjel, ja' te xlok' talel sju'el sventa spasel k'usitik no'ox, xu' xtunan ta spasel poxiletik, ta sk'elel k'u yelan xanav batel chonbolometik ta yan osilaltik, xu' no'ox xtok sven-ta sna'el smeloal k'u yu'un ta sikub ta xk'ixnaj li banumile.

Jbel cha'bel k'opetik tunesbil ta vun: yoxo', ch'uch'ul kuxlejal, vo', yalal xch'uch'ul k'usitik, xch'uch'ultak k'usitik.

Es posible que a la palabra isótopo no sea parte de nuestro vocabulario diario y que nos haga pensar en algo peligroso, dañino o hasta catastrófico por relacionarla con cuestiones de radiación, pero no es así. Se trata de átomos que son parte constitutiva de muchos componentes de la naturaleza, incluido nuestro cuerpo; es decir, que se encuentran en toda la materia que conforma el universo. Los seres humanos hemos aprovechado varias de sus características para conocer y desentrañar los misterios de la física, la biología, la química o la arqueología, e incorporarlos en procesos de la vida cotidiana. Por ejemplo, tenemos isótopos del yodo que se aplica con usos medicinales o el carbono 14 (¹⁴C) que se utiliza para determinar la edad de restos arqueológicos.

Lo mismo, pero diferente

Recordando las clases de química de la secundaria o bachillerato, sabemos que se han descubierto 118 elementos, agrupados en la tabla periódica, y que son el componente de toda la materia del universo, desde luego, incluidos nuestros cuerpos. Son muy distintos entre sí, y como muestra tenemos al cobre y el acero, que son duros y resistentes, en contraposición con el oxígeno, el hidrógeno y el helio, gases que no se perciben a simple vista. Sus propiedades

particulares obedecen a que sus átomos están agrupados en "arreglos específicos" que los hacen ser una cosa y no otra.

Para clarificar esta idea, conviene revisar la estructura del átomo, resaltando que es la partícula más pequeña que conserva las características de un elemento químico:

Núcleo	<p>Protones. Partículas con carga positiva; su número es fijo en cada elemento y esto lo determina; el número de protones constituye el número atómico, distinto en todos los elementos.</p>
	<p>Neutrones. Partículas sin carga; su número puede ser variable en un elemento.</p>
Electrones	<p>Partículas que giran alrededor del núcleo y tienen carga negativa.</p>

Imaginemos que tenemos una barra de oro y la fragmentamos en pedazos cada vez más pequeños; llegaremos hasta los minúsculos trozos que miden apenas unos nanómetros. Para dimensionar esta diminuta escala, consideremos que un milímetro equivale a un millón de nanómetros, y en uno solo de ellos hay todavía numerosos átomos que conservan las características del oro (79 protones), así que de algún modo siguen siendo oro.



STEVE BIDMEAD EN PIXABAY

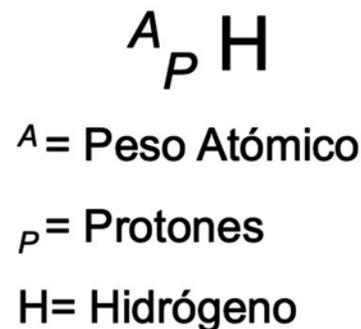
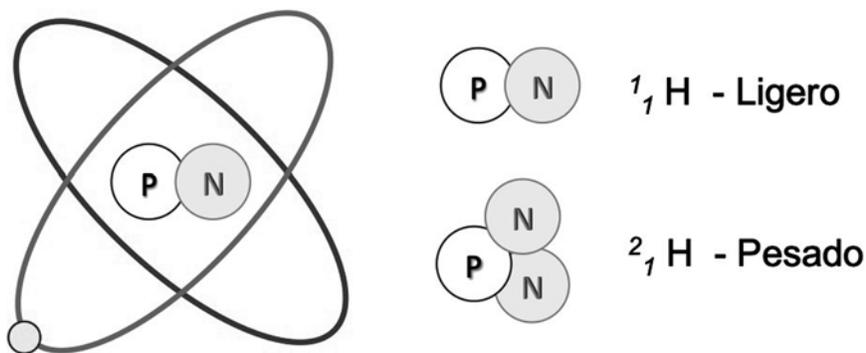
Ahora bien, los isótopos son átomos de un mismo elemento, pero con distinta masa atómica; es decir, que pueden pesar menos o más sin que se altere su número atómico o cantidad de protones. Por ejemplo, el número atómico del carbono siempre será 6, aunque habrá variaciones en su masa atómica;

en el elemento "normal" esta es de 12, (^{12}C), y tiene como hermanos al carbono 13 (^{13}C) y el carbono 14 (^{14}C), que son más pesados por su mayor masa.

Recapitulando, los isótopos se definen como las diferentes formas que presenta un elemento químico sin dejar de serlo, y la

única diferencia entre isótopos de un mismo elemento es el peso molecular, ya que contienen neutrones en exceso o carecen de ellos. La palabra proviene del griego e integra los componentes "igual" (*isos*) y "lugar" (*topos*), así que equivale a decir "la misma forma" o "el mismo lugar" (figura 1).

Figura 1.



Ejemplo de dos isótopos del hidrógeno (H). La notación química usada para representar al elemento hidrógeno (H) es la forma ${}^A_P\text{H}$, donde A representa el peso atómico, y P el número de protones. Los círculos P y N se refieren a los protones y neutrones del núcleo.

Los isótopos en nuestro ambiente

Una vez que hemos comprendido la constitución de los isótopos, el siguiente paso es diferenciarlos, ya que en la naturaleza existen de manera estable e inestable, y ambos son de gran importancia en múltiples procesos de la biósfera que debemos comprender, por ejemplo, para cuantificar el agua que se mueve en el planeta, para estudiar la intemperización o fragmentación de las rocas, o el origen y degradación de los contaminantes, entre otros. Vale mencionar que la biósfera se refiere a la red de todos los seres vivos del planeta, con sus entornos, dinámicas y sistemas.

Los isótopos estables son formas no radiactivas de átomos; también hay formas inestables que reciben el nombre de radioisótopos, los cuales emiten radiación hasta transmutarse en una forma más estable. Lo que los estabiliza es la relación adecuada entre el número de protones y neutrones en el núcleo, el llamado "número mágico". Ochenta de los primeros 82 elementos de la tabla periódica contienen isótopos estables; destacan aquellos con

números atómicos menores a 20, puesto que mantienen una relación neutrón-protón de 1:1. Algunos ejemplos: hidrógeno, helio, carbono, nitrógeno, oxígeno, flúor, neón, magnesio, cloro y potasio.

Por otra parte, los elementos con número atómico mayor a 83 tienen solo isótopos radiactivos inestables. Estos isótopos pierden masa (protones y neutrones) y energía mediante el fenómeno llamado decaimiento radiactivo, el cual emite radiación (alfa, beta y gamma) y llega a provocar que un elemento se transforme en otro al perder protones.

La diferencia entre estabilidad y relación neutrones-protones de los isótopos en los distintos elementos en la naturaleza permite conocer y analizar fenómenos para aprovecharlos en estudios del medio ambiente, medicina, nutrición y ciencia forense. En muchas ocasiones, la cantidad de isótopos que se movilizan por reacciones físicas, químicas o biológicas, puede ser cuantificada de modo que es posible aprovecharlos, pues su huella digital indicadora permite saber cómo ocurrieron esos procesos naturales.

Un ejemplo de esto lo tenemos con los isótopos naturales del agua durante la lluvia. El principal origen del agua es el océano, el cual se evapora cerca de las costas o mar adentro; a medida que el aire mueve este vapor hacia tierra, se condensa en nubes y cae finalmente como lluvia tal vez a kilómetros del lugar de evaporación inicial. Si las nubes dejan la lluvia en la costa, como en Mérida, Yucatán, la composición isotópica del agua será muy parecida a la de las nubes y a la del mar; pero será diferente en las altas montañas, por ejemplo, en la Ciudad de México. Esto se debe a que el líquido más pesado es el que cae o se precipita primero; en cambio, el más ligero viaja tierra adentro en forma de nubes, las cuales llevan el vapor de agua que no cayó como precipitación, y se desplazan hacia otras regiones con una composición isotópica diferente de la inicial.

Tal diferencia en proporciones de isótopos estables de la lluvia se llama fraccionamiento isotópico, y es a través de este proceso y su estudio que podemos saber el origen del agua. La composición isotópica

G. ACOSTA

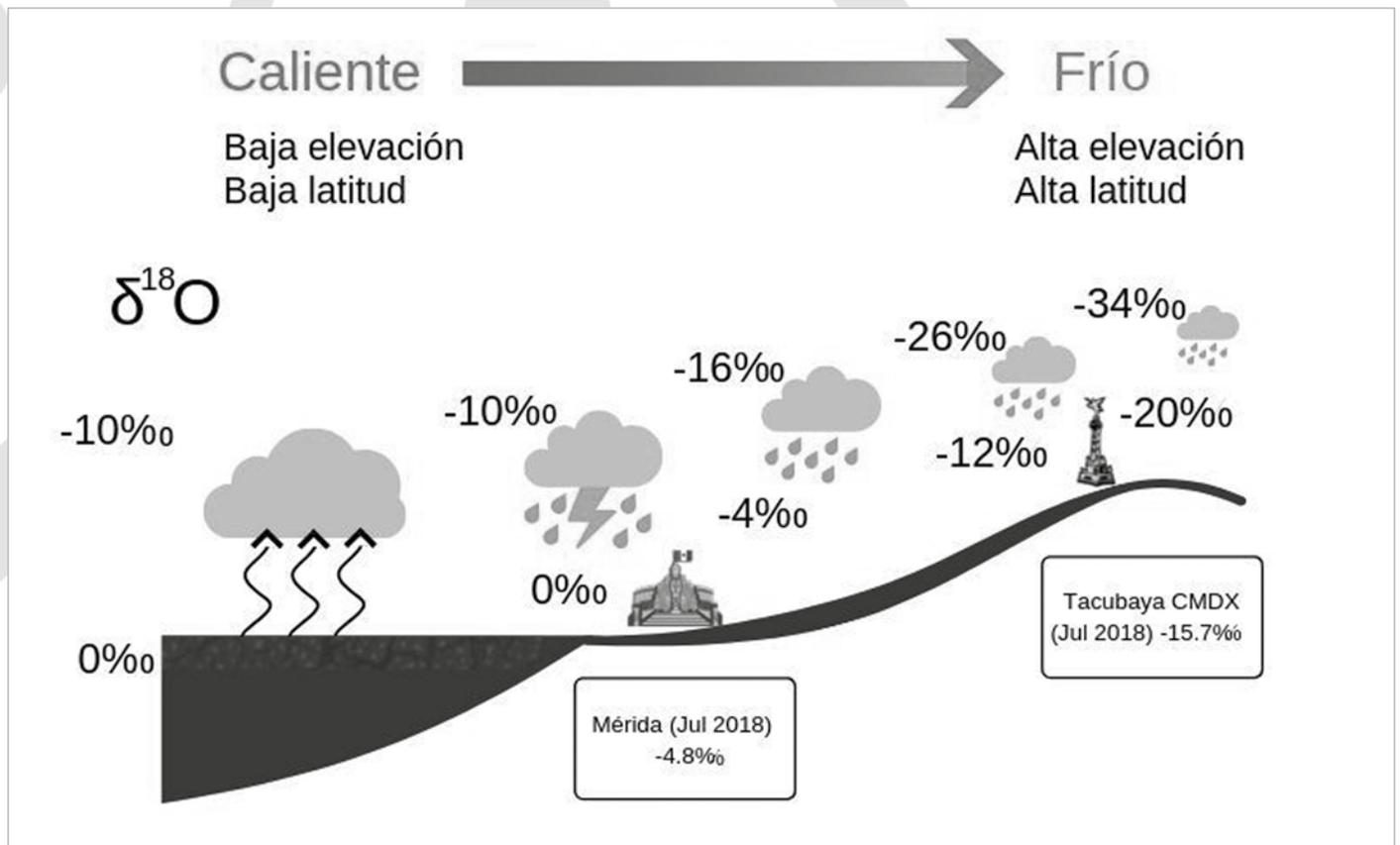


Toma de muestra de la lluvia acumulada durante un mes, la cual se utiliza para medir la composición isotópica del agua. Peto, Yucatán.

de la lluvia es el equivalente a una huella digital distintiva que se simboliza con la letra delta minúscula (δ) en la literatura especializada, y que se ha empleado para estudiar el movimiento del agua en diversas regiones del planeta, para conocer la recarga de mantos freáticos y determinar la explotación adecuada del agua subterránea en los acuíferos.

Los acuíferos son formaciones geológicas hidráulicamente conectadas entre sí, por las que circula o se almacena agua que puede ser extraída para su explotación y aprovechamiento. Es decir, con esta información es posible saber cuánta lluvia está realmente llenando nuestros pozos y qué cantidad es conveniente extraer del subsuelo para no agotarla. La composición isotópica del agua nos ayuda a contar con información adecuada y tomar buenas decisiones (fig. 2).

Figura 2.



Fraccionamiento isotópico del agua de lluvia en la precipitación pluvial. El agua que llueve cerca de la costa (Mérida, Yucatán) tiene una composición isotópica ($\delta^{18}\text{O}$) similar a la del agua del mar. La composición isotópica de las nubes en altas elevaciones (Ciudad de México) o diferentes latitudes tiene una composición isotópica diferente, empobrecida en el isótopo ^{18}O (valores más negativos). Fuente: Red Nacional de Monitoreo de la Composición Isotópica Estable y del Contenido de Tritio Ambiental de la Precipitación Pluvial, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

Veamos otro ejemplo, ahora dentro de un organismo vivo. Pensemos en una planta enraizada en el patio de una casa. Necesita nutrientes para sobrevivir, crecer y reproducirse; y los nutrientes solo los puede tomar del suelo o del poco abono que le ponemos de vez en vez. En este caso, los nutrientes con isótopos ligeros son los primeros que la planta toma, pues le ocurre lo mismo que nosotros al cargar las bolsas de la despensa: nos cuestan menos trabajo las que son ligeras, y las preferimos si vamos a transportarlas una distancia considerable. Pues en el suelo pasa lo mismo, los nutrientes ligeros son preferidos sobre los pesados; son los primeros en movilizarse hacia las plantas y formar el nuevo tejido, como hojas o flores.

Múltiples aplicaciones

Como podemos ver, los isótopos son parte de los elementos más simples que existen en la naturaleza, y los aprovechamos por sus características particulares para tareas disímiles. Podemos mencionar varios ejemplos, como el relacionado con un isótopo del hidrógeno llamado deuterio (^2H), el cual se usa en investigación relativa al agua y a la nutrición. O bien, en la agricultura, el isótopo estable más utilizado es el nitrógeno 15 (^{15}N) para el estudio de los agroquímicos, ya que los fertilizantes sintéticos (artificiales) tienen una composición isotópica diferente de los fertilizantes naturales, como el estiércol o el salitre. Una muestra más es el carbono 13 (^{13}C) que se usa en la farmacología para evaluar la asimilación de medicamentos en el organismo.

Bibliografía

Clark, I., y Fritz, P. (1997). *Environmental isotopes in hydrogeology*. Estados Unidos: CRC Press.

Red Nacional para Monitoreo de Isotopía Estable de Lluvia (RENIP) – Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). <https://bit.ly/3xiYHmH>

Kendall, C., y McDonnell, J. J. (eds.). (1998). *Resources on isotopes isotope tracers in catchment hydrology*. Amsterdam: Elsevier Science. <https://on.doi.gov/3tbjhTF>

Eduardo Cejudo Espinosa es investigador en el Centro de Investigación Científica de Yucatán (México) | eduardo.cejudo@cicy.mx | <https://orcid.org/0000-0002-5779-517X>
 Daniela Ortega Camacho es técnica académica en el Centro de Investigación Científica de Yucatán (México) | daniela.ortega@cicy.mx | <https://orcid.org/0000-0001-6125-2146>
 Fanny Margarita de Gante Ayora es técnica de Enlace en el Centro de Investigación Científica de Yucatán (México) | fanny.degante@cicy.mx | <https://orcid.org/0000-0002-2297-8662>



Agua de lluvia en un contenedor para evitar su evaporación. Esta estrategia de colecta permite involucrar a la comunidad en la toma de muestras con valor científico y práctico, como actividad de ciencia ciudadana. Bacalar, Quintana Roo.

Otra aplicación de los isótopos estables se observa en los estudios de migración de animales. Se ha usado el deuterio en plumas de aves para identificar su origen; también se ha estudiado la dieta de mamíferos marinos a través de sus largas travesías, así como los sitios de alimentación preferidos de animales tan disímiles como murciélagos y camarones. O para entender cómo es que nuestro clima está cambiando, las personas dedicadas a la investigación de las ciencias atmosféricas usan los isótopos del carbono para determinar cuánto dióxido de carbono entra y sale de cada reservorio,

como el suelo, los bosques, los manglares y las industrias.

Muchos otros isótopos estables están utilizándose cada vez con más frecuencia, y esto nos ayuda no solo a entender mejor muchos de los procesos de la naturaleza, sino a facilitar diversos aspectos de la vida cotidiana. 