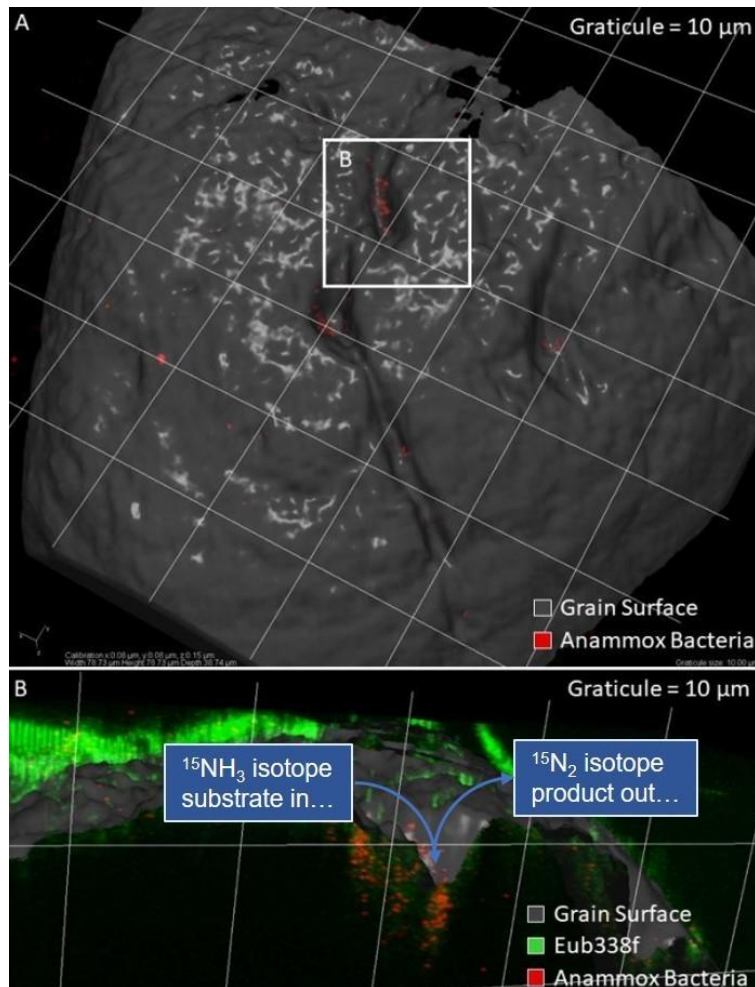


Cómo utilizamos los isótopos para estudiar los microbios y sus actividades

*Ni siquiera podemos ver los microbios.
¿Cómo podremos entender lo que hacen?*



¿Es un meteorito que se precipita hacia la Tierra desde el espacio exterior? No, es un pequeño grano de arena del lecho del río cubierto de bacterias. A) bacterias anammox (de color rojo) "ocultas" en las grietas, lejos del oxígeno, y B) muchas otras bacterias (de color verde) que viven en la superficie rica en oxígeno. Podemos añadir sustratos isotópicos para rastrear la actividad microbiana; aquí, la medición de la respiración mediante anammox es como el gas N₂. ¡Qué genial es eso!/? Imagen de Philippe Laissue de la Universidad de Essex.

Marca Recortadora

Facultad de Ciencias Biológicas y del Comportamiento, Queen Universidad Mary de Londres, Reino Unido

Sinopsis

Si te miras al espejo por la mañana, puedes suponer razonablemente que eres la misma persona que ayer. Es cierto en lo que respecta a tu carácter, pero no es estrictamente cierto en lo que respecta a tu composición. Toda la vida en la Tierra está formada por elementos que están en constante ciclo entre el medio ambiente (aire, suelo, agua) y la vida. La clave de ese ciclo (por ejemplo, el ciclo del carbono, el ciclo del nitrógeno) son los microbios y podemos medir sus actividades de ciclo mediante isótopos.

Cómo utilizamos los isótopos para estudiar los microbios y sus actividades.

1. Isótopos: no todos son malos. Es posible que ya esté familiarizado con la palabra "isótopo", pero tal vez no estamos tan familiarizados con la forma en que podemos utilizarlos para estudiar los microbios. Algunas personas se preocupan cuando escuchan la palabra "isótopo", ya que a menudo se asocia negativamente con isótopos radiactivos, desintegración atómica y emisión de radiación, por ejemplo, neutrones. ¡Suena emocionante! No se preocupen, los isótopos que estamos analizando hoy pertenecen a la familia de isótopos estables: estables porque no se desintegran y, por lo tanto, no emiten radiación. Pero, antes de adelantarnos demasiado, consideremos primero algunos aspectos fundamentales...

2. Elementos y vida. Tus amigos, todos los animales, plantas e incluso los microbios (en la tierra y en el mar), es decir, todos los organismos vivos de la Tierra están formados por elementos creados en las estrellas antes de que existiera nuestro sistema solar. ¡No es de extrañar que a veces te sientas cansado, tus elementos ya tienen miles de millones de años!

Sin embargo, la vida es un poco exigente y, aunque hay 94 elementos naturales en la tabla periódica, solo 6 dominan las moléculas orgánicas estructurales que forman un organismo vivo: estos 6 son los macroelementos (Figura 1).

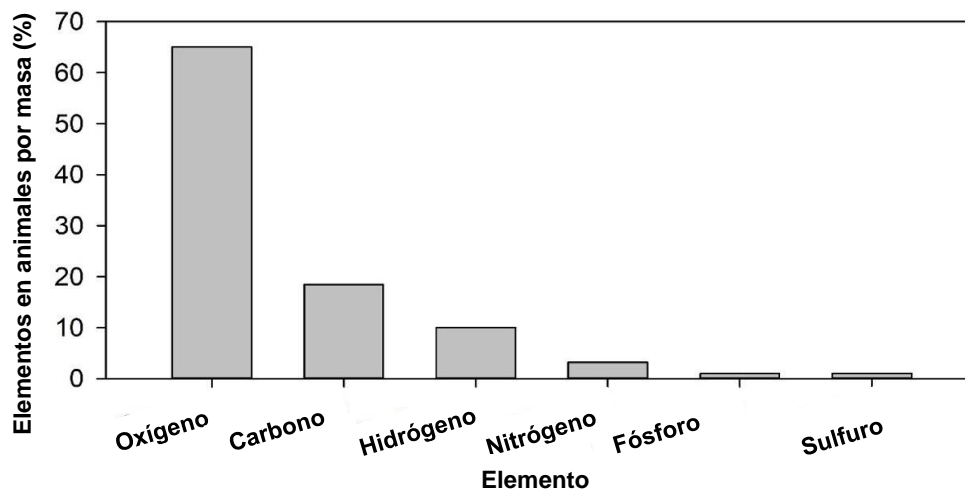


Figura 1 | De los 94 elementos naturales que se encuentran en la Tierra (es decir, los que aparecen en la tabla periódica), solo 6 dominan las moléculas orgánicas estructurales que son los "bloques constructores" de la vida (en este caso, los animales). Gran parte del oxígeno se combina con el hidrógeno en el agua. Mientras haya agua (y, por lo tanto, hidrógeno) disponible, se dice que la vida está limitada por el carbono (por ejemplo, para obtener energía), el nitrógeno (para construir proteínas y músculos) y el fósforo (membranas celulares y ADN). Podemos estudiar el ciclo del carbono y el nitrógeno a lo largo de la vida con bastante facilidad utilizando sus isótopos.

Un marco educativo en microbiología centrado en la niñez

En primer lugar, la vida contiene mucha agua (es decir, óxido de hidrógeno, H_2O), que es una molécula formada por dos elementos, hidrógeno (H) y oxígeno (O), y el resto –es decir, la “materia” que hace que la vida funcione– es una mezcla de carbono (elemento C: energía en azúcares), nitrógeno (N: rico en proteínas y ADN), fósforo (P: reserva de energía en ATP y membranas celulares) y azufre (S: aminoácidos y vitaminas).

Por lo tanto, si estudias biología, o incluso te conviertes en microbiólogo, vas a trabajar con vida que contiene principalmente C, H, O, N, P y S. Utilizo el neumónico “*HiC NOPS*” para recordarlos, aunque la “i” solo está ahí para el HiC. Un punto importante para recordar es que la vida no es solo una mezcla aleatoria de los elementos “*HiC NOPS*”, ya que los componentes básicos de la vida (aminoácidos, proteínas, azúcares, lípidos, etc.) necesitan estos elementos en cantidades cuidadosamente equilibradas y es por eso que es importante tener una dieta equilibrada. Para que la vida funcione correctamente, por ejemplo, para que la sangre transporte oxígeno, también necesita cantidades muy pequeñas de una amplia variedad de otros elementos, es decir, los oligoelementos, como el hierro (Fe) de las verduras verdes y otros oligoelementos como el cobre (Cu), el cobalto (Co) y el zinc (Zn).

3. Isótopos: ¡el mismo elemento, sólo que un poco más pesado! Antes de ver cómo se utilizan los isótopos para estudiar los microbios, necesitamos “deconstruir” un elemento. Todos los elementos son átomos y todos los átomos tienen una estructura atómica. En el centro de la estructura atómica tenemos un núcleo formado por protones y neutrones (puedes ir más allá y mirar “dentro” de un protón o un neutrón, pero eso lo dejaremos para el Gran Colisionador de Hadrones del CERN), y alrededor del exterior del núcleo “Orbitando” están los electrones (Figura 2). Por lo tanto, cada elemento está formado por solo tres unidades fundamentales: neutrones, protones con carga positiva y electrones con carga negativa.

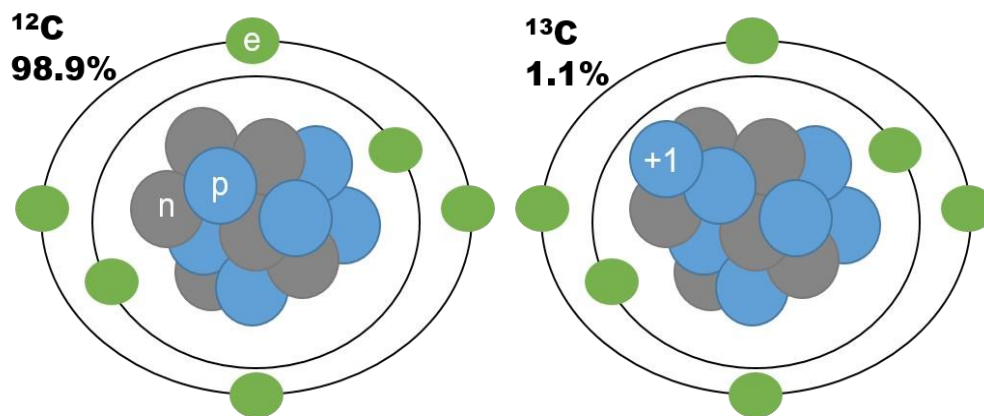


Figura 2 | Todos los elementos son átomos con una estructura atómica común. El núcleo atómico está formado por protones "p" y neutrones "n", y el número de cada uno de ellos (en este caso 6 para el carbono C) se corresponde con el de electrones "e" en la capa orbital. Los distintos elementos tienen distintas configuraciones de "p", "n" y "e". El 98,9 % de los átomos de C tienen 6 "p" y 6 "n", lo que da al C una masa atómica de 12, es decir, ^{12}C . Una pequeña fracción (1,1%) tiene 1 neutrón adicional que aumenta la masa a 13, lo que da lugar al isótopo estable ^{13}C . Como los neutrones no tienen carga, es decir, son neutros, el 1 "n" adicional no tiene un efecto significativo en las reacciones biológicas. Existen isótopos estables de N, S, O y H, pero no de P. Nótese que la teoría cuántica nos dice que en realidad no podemos estar seguros de dónde están "p", "n" o "e" en el espacio o el tiempo y los diagramas son meramente ilustrativos (†Las reacciones biológicas en realidad discriminan a los isótopos pesados por un pequeño factor de fraccionamiento, pero no es importante aquí).

Un marco educativo en microbiología centrado en la niñez

Los distintos elementos “se diferencian” entre sí simplemente por la cantidad de protones, neutrones y electrones que tienen. Por ejemplo, el helio (He) tiene 2 protones y 2 neutrones en su núcleo, con 2 electrones en su capa orbital; es muy simple y muy ligero, es decir, tiene una masa atómica baja (o peso) de solo 4 (la unidad es Dalton, Da). Tenga en cuenta que solo sumamos los protones y neutrones para obtener la masa atómica. El carbono (C) es más pesado que el He, con 6 protones, 6 neutrones y 6 electrones, lo que le da al C una masa atómica de 12 (bueno, 12,0096, ¡pero bueno!).

Casi en los isótopos...El punto importante a apreciar es que son los electrones los que dan a los diferentes elementos su química individual y controlan cómo interactúan entre sí para formar moléculas.

Ahora – isótopos. Por ejemplo, la mayor parte (98,9 %) del carbono de la Tierra, ya sea en los compuestos orgánicos de la vida (carbohidratos, proteínas, ADN) o como el CO₂ inorgánico de nuestra atmósfera, tiene una masa atómica de 12, lo que llamamos ¹²C (Figura 2). Sin embargo, una fracción muy pequeña (1,1 % aproximadamente) tiene 1 neutrón adicional (7 en total), pero aun así los 6 protones y 6 electrones típicos que le dan una masa atómica de 13, lo que llamamos ¹³C. Recuerde que son los electrones los que determinan la química de un elemento, pero como el ¹³C todavía tiene 6 electrones, al igual que el ¹²C, la química del isótopo ¹³C es la misma (aproximadamente) que la química del ¹²C, solo que es un poco más pesado (~8 %).

4. ¿Cómo es esto útil para estudiar los microbios? El carbono es la columna vertebral de toda vida orgánica y la vida es impulsada por una multitud de reacciones bioquímicas: respiración, fotosíntesis, síntesis de proteínas, etc. Si imaginamos esas reacciones bioquímicas que sustentan la vida utilizando ¹²C (y la química del ¹³C es la misma que la del ¹²C), entonces no es demasiado difícil imaginar también la bioquímica de la vida trabajando felizmente con ¹³C.

$12\text{CH}_2\text{O} + \text{O}_2 \rightarrow 12\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{OA}$ una velocidad de 10 (por ejemplo, fmol 10-15) unidades de 12CO_2 por microbio por hora (1)

$13\text{CH}_2\text{O} + \text{O}_2 \rightarrow 13\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{OA}$ una velocidad de 10 (por ejemplo, fmol 10-15) unidades de 13CO_2 por microbio por hora (2)

Aquí, un carbohidrato simple (CH₂O) hecho con ¹²C liviano o ¹³C pesado está siendo respirado a CO₂ a la misma velocidad por hora por un microbio aeróbico, que no es consciente de la presencia de ninguno de los dos.

5. Isótopos como trazadores que podemos seguir. Quizás hayas escuchado la expresión de “buscar una aguja en un pajar”; bueno, si pudiéramos pintar la aguja de un color muy brillante, sería más fácil localizarla. Podemos pensar en todo el heno del pajar como el ¹²C y el isótopo pesado ¹³C como la aguja de color brillante: los isótopos añaden “color” que nos permite rastrear las actividades microbiológicas más fácilmente. Cuando añadimos isótopos a los experimentos, decimos que estamos añadiendo un trazador y la forma en que los microbios modifican un trazador se puede medir utilizando un espectrómetro de masas (Figura 5).

Volviendo a los macroelementos de la vida “HiC NOPS”: hay isótopos pesados fácilmente disponibles para rastrear las actividades microbianas del carbono (¹³C frente a ¹²C), nitrógeno (¹⁵N frente a ¹⁴N) y oxígeno (¹⁸O frente a ¹⁶O, aunque el ¹⁸O es ~20 veces más caro que el ¹³C o el ¹⁵N). También hay un isótopo pesado estable del hidrógeno (²H frente a ¹H) y múltiples isótopos pesados estables del azufre ³³S, ³⁴S y ³⁶S frente al ³²S (e incluso el ¹⁷O), pero rara vez se utilizan (si es que se utilizan) en los entornos descritos aquí. Cabe señalar que no hay isótopos pesados estables del fósforo (el 100 % del P es el ³¹P normal). Por eso sabemos mucho más sobre el ciclo del C y el N por parte de los microbios en comparación con los otros macroelementos porque, sencillamente, tenemos las “herramientas” isotópicas para estudiarlos. Se podría sustituir ¹⁴N o ¹⁵N-amoniaco en ecuaciones similares a 1 y 2 o incluso ¹⁶O o ¹⁸O, ya que se aplica exactamente el mismo principio.

6. Aplicación de isótopos - ejemplos de ^{13}C . Si recoges una muestra de tierra de tu jardín, sellarlo en una botella (científicamente un frasco hermético, ver “Ejercicios”) e incubarlo durante unos días. Encontrarás que la cantidad (concentración) de CO_2 en la botella aumenta con el tiempo (Figura 3, fila superior). Si bien esto podría ser bueno para demostrar en clase, como científicos jóvenes, tal vez deseen preguntar: ¿por qué aumenta el CO_2 y de dónde proviene?

Todo el carbono y microbios

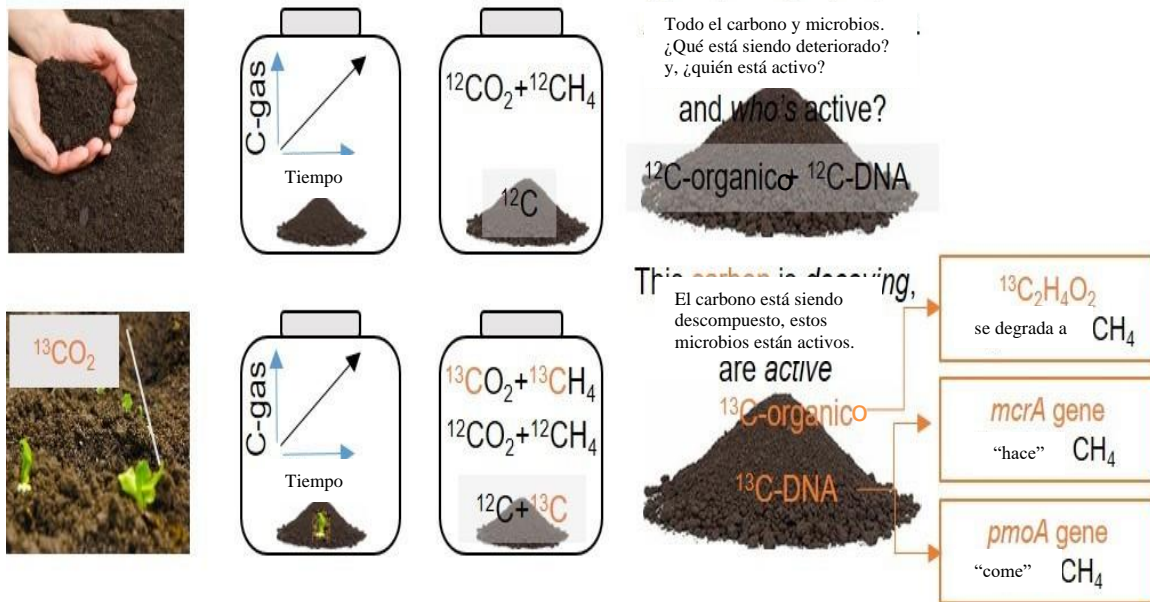


Figura 3 | El suelo recolectado de un jardín o del suelo de un bosque está compuesto por una mezcla compleja de compuestos de carbono orgánico y miles de millones de microbios que, combinados, respiran y fermentan el carbono para formar CO_2 y CH_4 . Si bien eso nos indicaría que el suelo está vivo, no sabríamos qué tipos de carbono se están descomponiendo ni qué microbios están activos (fila superior). Al agregar un ^{13}C trazador como carbono orgánico (aquí hojas de plantas cultivadas con $^{13}\text{CO}_2$) podemos seguir su descomposición a través de azúcares y ácidos grasos más simples (por ejemplo, $^{13}\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$, acetato) hasta $^{13}\text{CO}_2$ y $^{13}\text{CH}_4$ e identificar qué microbios son activos por el ^{13}C en su ADN. Aquí, específicamente, para dos genes funcionales involucrados tanto en la producción (*mcrA*) como en la oxidación (*pmoA*) de CH_4 (fila inferior).

Supongo que estás sentado en un aula con otros 30 estudiantes y, por lo tanto, la concentración de estudiantes es de 30 estudiantes por aula. Lo primero que hay que tener en cuenta sobre la muestra de suelo es que hay mucha más actividad que el aula: ¡la concentración de microbios en un gramo de suelo podría ser fácilmente de mil millones! Es decir, unos 109 microbios por gramo de suelo. Mientras que tú puedes reciclar tus botellas de plástico y latas en casa, los microbios del suelo son en gran medida responsables de descomponer y reciclar el carbono orgánico muerto (p. ej., hojas muertas, hierba, gusanos e insectos) para convertirlo en CO_2 atmosférico y completar el ciclo del carbono.

Por reciclaje, en realidad queremos decir que el carbono orgánico se respira (normalmente por microbios aerobios que usan oxígeno) o fermentados por microbios anaerobios en ausencia de oxígeno (el suelo húmedo a menudo contiene poco oxígeno, por ejemplo) de nuevo a CO_2 . El punto a apreciar es que poco del C orgánico en realidad va directamente al CO_2 y el reciclaje completo involucra un consorcio complejo de microbios que realizan "trabajos" ligeramente diferentes, es

decir, tienen diferentes nichos ecológicos. Por ejemplo, los hongos usan enzimas extracelulares para solubilizar el polisacárido estructural largo celulosa ($[\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5]_n$ donde n indica unidades repetidas de un tipo de glucosa) en las plantas en polisacáridos más simples y las proteínas en péptidos y aminoácidos más simples. Una vez solubilizados, otros microbios pueden ponerse a trabajar creando azúcares aún más simples (por ejemplo, moléculas individuales de glucosa $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$), ácidos grasos (por ejemplo, propionato $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_2$) y alcoholes (por ejemplo, etanol $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$) que luego pueden ser respirados completamente y fermentados a CO_2 , nuevamente por diferentes microbios.

7. ¿Podemos “ver” eso? Como hemos dicho, el 98,9% del carbono orgánico del suelo será ^{12}C y, a su vez, el 98,9% del CO_2 reciclado también será ^{12}C (Figura 3). Este gran fondo de ^{12}C hace que sea difícil distinguir de dónde proviene el CO_2 . Sin embargo, si cultiváramos plantas en presencia de $^{13}\text{CO}_2$ marcado con ^{13}C , al fijar ese $^{13}\text{CO}_2$ producirían C orgánico ^{13}C , p. ej., $[\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5]_n$ celulosa. Las plantas marcadas con ^{13}C (o incluso simples algas) se pueden mezclar con tierra para permitirnos rastrear el reciclaje del ^{13}C orgánico a través de las diferentes fracciones orgánicas (^{13}C -azúcares, ^{13}C -ácidos grasos) hasta $^{13}\text{CO}_2$.

Si bien necesitamos oxígeno para sobrevivir, muchos microbios prosperan en su ausencia fermentando ácidos grasos simples, como el propionato. Parte del propionato de ^{13}C ($^{13}\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_2$) presente en nuestro suelo se puede descomponer aún más en acetato de ^{13}C ($^{13}\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$), observe cómo ahora nos quedan solo dos átomos de C de los seis originales en cada segmento de celulosa $[\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5]_n$. El acetato puede ser metabolizado aún más por microbios anaeróbicos muy especializados (los **metanógenos**) que utilizan uno de esos dos últimos átomos de ^{13}C para formar una molécula de $^{13}\text{CO}_2$ y la otra molécula de metano, un gas de efecto invernadero mucho más poderoso, $^{13}\text{CH}_4$.

Afortunadamente para nuestro planeta, otro grupo de microbios especializados (los **metanótrofos**) pueden vivir solo con CH_4 , a diferencia de los microbios “codiciosos” que necesitan los dos átomos de C del acetato ($\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$), los metanótrofos se las arreglan con solo un átomo de C en CH_4 .

Los metanótrofos convierten (oxidán) la mayor parte (normalmente $>90\%$) del CH_4 en CO_2 antes de que abandone el suelo: se los denomina filtros de metano y reducen la cantidad de metano que llega a la atmósfera. Podemos añadir CH_4 marcado con ^{13}C directamente al suelo y rastrear la producción de CO_2 marcado con ^{13}C para determinar qué fracción del CO_2 total del suelo se debe a la actividad de los metanótrofos. Estas técnicas de trazado del isótopo ^{13}C se están utilizando para estudiar cómo el cambio climático está afectando el equilibrio de los metanógenos y los metanótrofos en el ciclo del metano.

8. ¿Podemos ver quién hace eso? Cuando creces, “simplemente” agregas nuevas células a las existentes. células, es decir, se desarrollan los músculos añadiendo más células musculares a las células musculares existentes. Los microbios son organismos unicelulares y cuando crecen, lo hacen duplicando la célula entera, es decir, 1 se convierte en 2, luego en 4, luego en 8, etc. Como cada célula microbiana contiene ADN vital, cada célula nueva necesita una nueva copia de ADN.

Imaginemos una población de microbios que crece metabolizando una parte del acetato de ^{13}C ($^{13}\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$), que es más simple. Una parte del ^{13}C se utiliza para generar energía, pero otra parte también se utiliza para sintetizar nuevo ADN marcado con ^{13}C . ¿Recuerdas que el ^{13}C es un poco más pesado que el ^{12}C ? Ahora bien, el ADN de los microbios que crecen con el acetato de ^{13}C será un poco más pesado que el ADN- ^{12}C de los microbios que no crecen (Figura 3, fila inferior). A continuación, podemos extraer ADN del suelo, separar el ADN- ^{12}C ligero del ADN- ^{13}C pesado (utilizando una ultracentrífuga). Al analizar las firmas genéticas microbianas en el ADN pesado, podemos identificar qué microbios están activos en nuestra muestra de suelo.

Un marco educativo en microbiología centrado en la niñez

De manera similar, cuando los metanótrofos oxidan $^{13}\text{CH}_4$, parte del ^{13}C pesado se incorpora a su ADN y lo usamos para identificar qué metanótrofos están oxidando activamente el metano.

9. Aplicaciones más avanzadas utilizando isótopos ^{15}N . El nitrógeno (N) existe en gran medida como gas (di-nitrógeno, N_2) en nuestra atmósfera, y solo una pequeña fracción se encuentra en el nitrógeno orgánico de la vida (animales, plantas, microbios). Después de la muerte y la descomposición, el nitrógeno orgánico (proteínas, aminoácidos) se descompone en amoníaco (NH_3 / NH_4^+) que luego se recicla nuevamente en N_2 atmosférico mediante acoplamientos entre distintos gases aeróbicos (gris) y microbios anaeróbicos (azul, rojo— Figura 4).

La complejidad del ciclo del nitrógeno refleja los múltiples estados redox en los que puede existir el nitrógeno (desde totalmente reducido como amoníaco (NH_3) hasta totalmente oxidado como gas N_2) y los diferentes microbios explotan los potenciales energéticos entre estos diferentes estados redox para crecer. En hábitats ricos en oxígeno, como los suelos de pastizales secos, los microbios aeróbicos utilizan el oxígeno para oxidar el amoníaco a nitrito y nitrato (NO_2^- + NO_3^-) para obtener energía. Por otra parte, donde el oxígeno es escaso, como en suelos anegados (y ver más abajo), los microbios anaeróbicos respiran ese nitrito y nitrato para convertirlo en gas N_2 para también obtener energía.

La mayor parte del N en la Tierra tiene una masa atómica de ^{14}N (99,6%) y una fracción más pequeña está presente de forma natural como ^{15}N (0,4% o, más precisamente, 0,366%). Las complejas actividades microbianas que impulsan el ciclo del N se pueden estudiar fácilmente utilizando trazadores de isótopos ^{15}N , ya que los científicos han sintetizado una variante ^{15}N de las principales formas de N en la Figura 4, por ejemplo, $^{15}\text{NH}_4^+$, $^{15}\text{NO}_2^-$, $^{15}\text{NO}_3^-$, $^{15}\text{N}_2\text{O}$ y $^{15}\text{N}_2$.

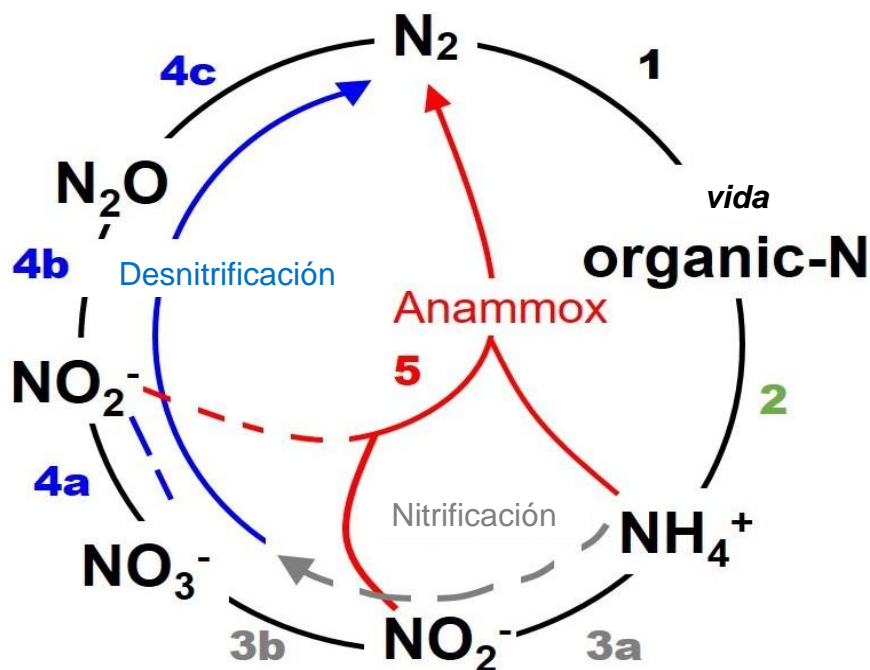


Figura 4 | 1, Los microbios especializados utilizan mucha energía para hacer que el N_2 esté disponible (fijarlo) de modo que la vida puede construir nitrógeno orgánico. **2,** la vida excreta el exceso de N como urea y ácido úrico y, después de la muerte y la descomposición, todo el N orgánico se descompone a través de la urea en amonio (NH_4^+ o NH_3). En ambientes con oxígeno (es decir, que son óxidos), el amonio es el primero (**3a**) oxidado por microbios a nitrito (NO_2^-) y luego (**3b**), típicamente por otro grupo, al nitrato

Un marco educativo en microbiología centrado en la niñez

(NO_3^-). Cuando el oxígeno está ausente (es decir, donde hay una situación verdaderamente anóxica o muy limitada), algunos microbios (incluido el *E. coli* en el intestino) comienzan a respirar reduciendo el NO_3^- a NO_2^- (4a) y muchos otros (4b) pueden realmente “desnitrificarse” para producir óxido nitroso (N_2O) y gas N_2 que completa el ciclo. A diferencia de la multitud de microbios desnitrificantes, un grupo especializado adicional conocido como bacterias anammox combina partes de 3 y 4 oxidar amoníaco anaeróbicamente a N_2 gas (5). En realidad, podrías agregar primero en la parte superior y trazarlo hasta el final a través de las diferentes vías microbianas hasta que reapareció nuevamente como ¡Gas N- N_2 !

Si bien probablemente ya hayas aprendido sobre el ciclo del nitrógeno, tal vez te preguntes en qué lugar de la Tierra se produce el ciclo del nitrógeno. Si miras un atlas, puedes identificar fácilmente la vasta extensión del océano Pacífico. Si miras más de cerca, puedes encontrar Hawái y si vas hacia el este, llegarás a California y más abajo, México, Guatemala y, finalmente, Panamá. Un triángulo con sus vértices en California, Panamá y cerca de Hawái (consulta los ejercicios para obtener más detalles) marca aproximadamente la zona de mínimo de oxígeno en el Pacífico norte tropical (también hay una más al sur frente a Perú y Chile).

Las zonas de mínimo oxígeno son un poco difíciles de entender al principio, ya que, aunque el Pacífico tiene una profundidad de unos 4.500 m, basta con descender entre 50 y 100 m para que se haya perdido el 90 % del oxígeno disuelto en el agua, si se desciende un poco más, prácticamente no hay oxígeno, es decir, el agua es anóxica. Aquí, los microbios obviamente no pueden depender del oxígeno y los microbios anaeróbicos están adaptados a respirar nitrito (NO_2^-) o nitrato (NO_3^-) para formar gas N_2 , y esta actividad microbiana anaeróbica ha atraído mucha atención científica. Los científicos utilizan equipos especializados para recolectar y trabajar con agua anóxica a la que añaden trazadores de ^{15}N por ejemplo, $^{15}\text{NO}_2^-$ (Figura 5). El agua anóxica también contiene $^{14}\text{NO}_2^-$ natural y los microbios anaeróbicos respirarán tanto el $^{14}\text{NO}_2^-$ como el $^{15}\text{NO}_2^-$ para producir 3 "colores" isotópicos de gas N_2 , a saber, $^{28}\text{N}_2$, $^{29}\text{N}_2$ y $^{30}\text{N}_2$. Este principio se puede ampliar aún más para distinguir entre diferentes tipos de microbios que producen gas N_2 de diferentes maneras, es decir, las vías azules y rojas de la Figura 4. Las Zonas Mínimas de Oxígeno son actores importantes en el ciclo global del N, produciendo alrededor de 200 Tg de gas N_2 por año (1 Tg = 1.000.000 de toneladas) – y todo ello mediante microbios!

Un marco educativo en microbiología centrado en la niñez

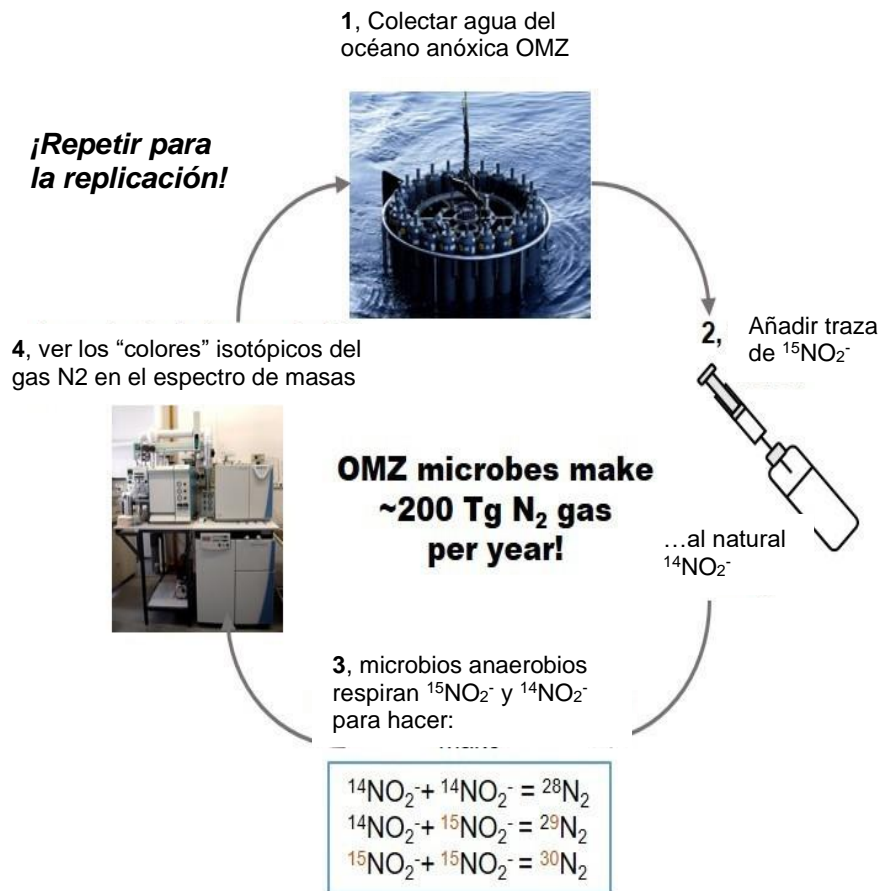


Figura 5 | 1, Se utiliza una roseta CTD (conductividad-temperatura-profundidad) para recolectar muestras discretas de agua de cualquier profundidad del océano y devolverlas al barco. 2. Se toman medidas cuidadosas para establecer incubaciones anóxicas donde, por ejemplo, una ¹⁵NO₂⁻ se añade un trazador a una muestra de agua que contiene sustancias naturales ¹⁴NO₂⁻. 3. Luego, las muestras preparadas se incuban mientras los microbios anaeróbicos respiran ambos ¹⁵NO₂⁻ y ¹⁴NO₂⁻ para hacer diferentes “colores” de N₂- gas que se puede medir 4, utilizando un espectrómetro de masas. Las incubaciones se repiten para replicar los hallazgos, junto con diferentes combinaciones de 15 Los trazadores N se utilizan para identificar diferentes tipos de actividades microbianas (por ejemplo, azul y vías microbianas rojas en la Figura 4).

Participación de los alumnos

1. *Discusión en clase.*

a. Piensa en lo que le sucede a tu cabello cuando crece y luego te lo corta la barbería. Cada vez que te cortas el cabello, el barbero te corta cabello nuevo: tu cabello ha sido reemplazado y lo mismo sucede (aunque a un ritmo diferente) con todas tus células y con todas las células de todas las formas de vida. Tus elementos están en ciclo y tú eres parte de ciclos biogeoquímicos globales que renuevan tus macroelementos (HiC-NOPS), los microbios impulsan ese ciclo.

2. *Sensibilización/Concienciación de los alumnos.*

a. Los microbios tienen mala fama porque a menudo solo se los asocia con causar enfermedades y muertes, pero son clave para mantener la biosfera de la Tierra donde todos vivimos. Las actividades humanas tienden a causar problemas ambientales al “sobrecargar” estas actividades microbianas: si tiras de la cadena del inodoro, los microbios terminarán convirtiendo parte de tu nitrógeno en el gas de efecto invernadero N_2O , envías tus desechos orgánicos al vertedero y los microbios los usarán para producir CH_4 , y la agricultura intensiva para tu alimentación arrastra los suelos a los ríos junto con fertilizantes que alteran el ciclo microbiano de C y N. Podemos estudiar estos problemas usando isótopos, pero solo podemos restablecer el equilibrio si todos hacemos nuestra parte para ser más sostenibles. El punto que hay que entender es que no estás separado de los ciclos microbianos, eres parte de ellos.

La base de evidencia, lecturas complementarias y materiales didácticos

Elementos fundamentales – elementos, átomos y vida.

[¿Qué son los átomos? Las partes más pequeñas de los elementos y ¡TÚ! - YouTube](#)

[Moléculas biológicas: Eres lo que comes: Curso intensivo de biología n.º 3 - YouTube](#)

Espectrometría de masas e isótopos.

<https://www.youtube.com/watch?v=lxAfw1rftIA>

Microbios y carbono en el suelo.

Schimel J. 2013. Microbios y carbono global. *Nature Climate Change*. 3. 8670868. Doi: 10.1038/nclimate2015.

Microbios en zonas de mínimo oxígeno oceánico.

Wright J. *et al.* 2012. Ecología microbiana de zonas de mínimo oxígeno en expansión. *Nature Reviews Microbiology*. 10. 381-394. Doi: 10.1038/nrmicro2778.

Microbios: humanos y cambio climático.

Cavicchiol R. *et al.* 2019. Advertencia de los científicos a la humanidad: microorganismos y cambio climático. *Nature Reviews Microbiology*. 17. 569-586. Doi: 10.1038/s41579-019-0222-5.

Glosario

ATP: el trifosfato de adenosina está compuesto por una molécula de adenosina unida a tres

Un marco educativo en microbiología centrado en la niñez

grupos fosfato. La energía de la respiración celular se encuentra ligada al triple enlace fosfato y posteriormente se libera para impulsar la vida cuando el trifosfato de adenosina se convierte en difosfato de adenosina, ADP.

Bioquímica: el estudio de las reacciones y estructuras químicas en relación con la biología. Por ejemplo, muchas reacciones químicas inorgánicas se producen más rápidamente en presencia de un catalizador inorgánico. En un entorno biológico, las enzimas (proteínas) sirven como catalizadores para facilitar las reacciones bioquímicas, por ejemplo, el alcohol se descompone en acetil-CoA en el hígado por acción de la enzima alcohol deshidrogenasa.

Elemento: sustancia pura fundamental compuesta de átomos con un número único de protones, neutrones y electrones. Toda la materia del universo comprende al menos un elemento, por ejemplo, hidrógeno (H), con compuestos (orgánicos e inorgánicos) que comprenden al menos dos elementos, por ejemplo, hidrógeno y oxígeno en el agua, H₂O.

Genes funcionales: genes atribuidos a funciones microbianas particulares que pueden utilizarse para observar las relaciones entre microbios que realizan las mismas funciones. Por ejemplo, el gas metano es producido por microbios especializados conocidos como metanógenos y, aunque la bioquímica general de la metanogénesis es compleja y los diferentes tipos de metanógenos utilizan diferentes sustratos para producir metano, existe un paso final común a todos ellos, codificado por el gen de la metil coenzima-M reductasa (*mcrA*). Se puede contar el número de genes *mcrA* para inferir el número total de metanógenos en una muestra de suelo o podemos observar las relaciones entre metanógenos comparando la variación genética en el gen *mcrA*.

Macroelementos: los 6 elementos, por ejemplo, C, H, O, N, P y S que dominan las moléculas orgánicas en la vida. Nótese que no hay nada fundamentalmente diferente entre los macroelementos - son simplemente elementos - el prefijo "macro" simplemente sirve para distinguirlos de los oligoelementos que también son simplemente elementos, pero se encuentran en cantidades mucho menores en la vida en comparación con los macroelementos. Dicho esto, las químicas de C, N y P los hacen particularmente adecuados para sus funciones orgánicas en la vida. Los macroelementos también tienen relevancia ecológica ya que los organismos compiten por los macroelementos (a menudo también denominados macronutrientes), es decir, puede pensar en el alimento o la presa como carbono, C.

Espectrómetro de masas: un equipo analítico científico que separa una mezcla de moléculas en función de su masa y cuantifica la abundancia (cantidad) de cada una. Por ejemplo, el espectrómetro de masas que se muestra en la figura 5 utiliza un gran imán para separar tres especies isotópicas diferentes de gas N₂, a saber: ²⁸N₂, que tiene una masa menor que ²⁹N₂, que, a su vez, es más ligero que ³⁰N₂. Las moléculas de N₂ se cargan primero al desprender un electrón y luego acelerarlas en un campo magnético. El imán desvía la trayectoria del ²⁸N₂ más ligero que la del ²⁹N₂, que se desvía más que la del ³⁰N₂ para crear un espectro de N₂ que depende de la masa. A continuación, se pueden cuantificar las masas de los tres isótopos separados.

Molécula: un compuesto químico que comprende más de un átomo de un solo elemento, por ejemplo, oxígeno, O, en el aire existe como O₂ di-molecular o elementos múltiples, por ejemplo, sodio, Na, cloruro, Cl, como la molécula NaCl.

Orgánico e inorgánico: en un sentido simple, podríamos considerar que todos los organismos vivos son orgánicos y que todo lo que no se deriva de la vida orgánica es inorgánico, es decir, los animales y las plantas muertos siguen siendo orgánicos. Podemos hacer que la definición

Un marco educativo en microbiología centrado en la niñez

sea más científica diciendo que la vida orgánica se basa en el carbono, como estoy seguro de que habrás escuchado en la escuela o en las películas de ciencia ficción. Entonces, ¿seguramente eso significa que el CO_2 es orgánico ya que claramente contiene carbono? La comunidad científica suele decir que el C solo es orgánico si se combina con hidrógeno, lo que haría que el CO_2 sea inorgánico. Luego tenemos el desconcertante ejemplo del gas metano (CH_4) del hidrocarburo más simple, que a menudo se considera orgánico. Adopto una perspectiva biogeoquímica y digo que el C como gas (por ejemplo, CO_2 y CH_4) es inorgánico porque no está disponible para la mayoría de las formas de vida en la Tierra, es decir, no es una fuente de alimento o energía. El C en el CO_2 y el CH_4 sólo se vuelve orgánico cuando se fija o se convierte mediante la fotosíntesis o la quimiosíntesis (por ejemplo, la oxidación del amoníaco o la oxidación del metano) en azúcares que están disponibles como energía para otros organismos en el ecosistema.

Tabla periódica: lista sistemática de todos los elementos naturales y no naturales, es decir, creados por el hombre (por ejemplo, en reactores nucleares o el Colisionador de Hadrones) de acuerdo con sus características compartidas, por ejemplo, metales, no metales, gases nobles, etc., como lo propuso por primera vez el químico ruso Dmitri Ivanovich Mendeleev en 1869. El número total de elementos naturales y no naturales aún se debate, pero considerar 94 como naturales y 24 como no naturales para dar 118 elementos en total es aceptable.

Oligoelementos: elementos que también se encuentran en las moléculas orgánicas de la vida, pero en cantidades mucho menores que los macroelementos. Por ejemplo, la clorofila (a) es un compuesto fundamental para la fotosíntesis y la vida en la Tierra que comprende 55 átomos de C, 72 átomos de H, 5 átomos de O y 4 átomos de N, es decir, muchos de los macroelementos, pero aún necesita UN átomo del oligoelemento manganeso (Mg) para funcionar. El punto ecológico es que una planta (y la vida que se alimenta de plantas) se quedará sin N antes de que se quede sin Mg.