

Después de la revisión ofrecida por los evaluadores, a quién gustosamente damos las gracias, se ha procedido a eliminar y cambiar todo aquello que ha estimado oportuno con el objetivo de hacer más rigurosa la comunicación presentada. No obstante, especificaremos algunos aspectos que no creemos necesario proceder a cambios:

- La figura 1 queremos que permanezca en el artículo como modo de visualización del problema de las emisiones de la automoción. Se ha especificado su introducción en el texto (que se había perdido, sin saber por qué).
- Las preguntas que se llevaban a cabo al alumnado para comprobar sus ideas previas sobre el tema se esbozaban en clase y se establecían conclusiones parciales sobre las mismas, sin atender a un porcentaje concreto. Se llegaba a generalidades de: totalidad de la clase o parcialidad.
- El pie de foto en la figura 3 muestra varias referencias. No creemos ortodoxia cuando se desconoce el nombre de la autoría de la página. Si creemos, y así se ha hecho, que en enlace directo visualiza muy bien la veracidad del mismo.
- Informes elaborados por la ONU en 2000 tienen igual validez que en 2017. De este informe se destaca la imagen 3; ilustrativa de todo el proceso y mostrada en multitud de manuales y libros de textos sobre cambio climático y ciencias de la tierra. Creemos necesario introducir esta fecha para dar a conocer el tiempo que ha pasado hasta el presente y lo poco que se ha trabajado al respecto por parte de organismos para mejorarlo.
- El trabajo fue realizado por alumnos de primer cursos de bachillerato de un pueblo rural del Levante Español. Después de trabajar con ellos aspectos generales sobre metodología de laboratorio de microbiología, conceptos básicos como demanda química y biológica de oxígeno, se optó por este material. No se debería trabajar con levaduras porque la emisión de gas es muy rápida (tras metabolizar la glucosa anaeróbicamente) no dando tiempo a llevar a cabo la reacción en el sumidero con sosa.
- El experimento fue realizado, íntegramente por alumnos. Se llevó a cabo el control de la experiencia, comprobándose el no desplazamiento de la columna del manómetro (indiscutiblemente que sí). Problema: no se dispone de imagen porque no se tomó en su día por parte de los discentes. La experiencia se repitió en dos ocasiones. Volver a realizarla sería imposible con el mismo grupo, necesitándose de otro curso lectivo para mostrar la imagen de control negativo.
- También quiero recodar a los evaluadores que el artículo va destinado a alumnado y profesorado de enseñanza media, donde no se dispone de instrumental complejo para medición. Creemos que es un trabajo de ciencia recreativa porque con material rudimentario y condiciones muy básicas se llegan a comprobar hipótesis de trabajo. Sí que estimamos oportuno introducir este campo dentro del artículo que se juzga.

- El conjunto de reacciones que se llevan a cabo dentro de la botella es inmenso. Esta analogía didáctica simplifica un hecho complejísimo dentro del metabolismo microbiano. Se estima la reacción global de combustión de la glucosa: $\text{glucosa} + \text{oxígeno} \rightarrow \text{dióxido de carbono} + \text{agua}$, donde los moles de oxígeno y dióxido de carbono (tras el ajuste estequiométrico) son iguales.
- Queremos reiterar que este tipo de publicaciones van destinadas a un lector específico, con materiales de trabajo muy rudimentarios. No podemos ser puntillosos a la hora de exigir datos y evaluación de experiencias que no es posible llevar a cabo.
- No creemos tampoco necesario reducir información básica, ya que muchos alumnos requieren de este tipo de materiales para repetir y discutir sus experiencias en los laboratorios de enseñanza media.

Por todo ello, volvemos a remitir el artículo para su nueva revisión al editor, tras los apuntes que se nos han matizado, rogando con ello que se muestren más flexibles en su evaluación positiva final.

Diseño experimental de un sumidero de CO₂ y sus implicaciones en el cambio climático. Una experiencia de trabajo con alumnos en el laboratorio de Educación Secundaria

Nombre y Apellido de autor 1, Nombre y Apellido de autor 2, Nombre y Apellido de autor 3, Nombre y Apellido de autor 4 (puede usar números como superíndices para diferenciar luego los datos de filiación de cada uno)

Filiación de autores y correo electrónico (uno en cada renglón, caso de ser varios)

[Recibido en mayo de 2017, aceptado en XXXX]

El desarrollo teórico del cambio climático en el aula de Educación Secundaria requiere de experiencias recreativas que demuestren -in situ- diferentes aspectos del proceso global. La presente comunicación muestra una actividad de laboratorio, y el consiguiente trabajo del alumnado, para comprobar la reducción de gases de efecto invernadero mediante la aplicación de una tecnología básica. La analogía didáctica llevada a cabo entre el CO₂ producido por el metabolismo microbiano dentro de una botella cerrada y su reacción con una base fuerte generadora de una presión negativa del gas, visible con un sencillo manómetro en U, será objeto de debate entre profesor-alumno, analizándose y especulando su captura con la repercusión a nivel mundial de mejora en el calentamiento global.

Palabras clave: Cambio Climático; Geología; Laboratorio de Educación Secundaria Obligatoria; Microbiología; Captura y Sumidero de Dióxido de Carbono.

Experimental design of a CO₂ reservoir and its implications in climate change. A work experience with students in the Compulsory Secondary Education laboratory

The theoretical development of climate change in the Secondary Education classroom requires recreational experiences that demonstrate -in situ- different aspects of the global process. This research shows a laboratory activity, and the subsequent work of the student, to verify the reduction of greenhouse gases through the application of a basic technology. The didactic analogy carried out between the CO₂ produced by the microbial metabolism inside a closed bottle and its reaction with a strong base generating a negative gas pressure, visible with a simple U-gauge, will be the subject of debate between teacher-student, analyzing and speculating its capture with the worldwide impact of improvement in global warming.

Keywords: Climatic Change; Geology; Compulsory Secondary Education Laboratory; Microbiology; Capture and Reservoir of Carbon Dioxide.

Para citar este artículo: Apellidos e iniciales del nombre de los autores (20XX) Diseño experimental de un sumidero de CO₂ y sus implicaciones en el cambio climático. Una experiencia de trabajo con alumnos en el laboratorio de Educación Secundaria. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* xx (x), xxxx. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10498/XXXXX>

Introducción y justificación del problema

El cambio climático es una realidad, y no solo a raíz de lo que cualquiera de nosotros pueda sentir en el medio que nos rodea, o cuando se oye hablar de los pormenores atmosféricos a las personas mayores que habitan en una zona. Numerosas son las noticias que diariamente nos inducen a pensar en los aspectos negativos de las emisiones de gases a la atmósfera, responsables directos de las variaciones drásticas en la temperatura y sus efectos sobre la globalidad del mundo (http://elpais.com/tag/cambio_climatico/a/).

Los integrantes que llevaron a cabo la Conferencia del Clima celebrada en París en diciembre de 2015 afirmaban, con rotundidad, el peligroso cambio que se estaba llevando a cabo en el planeta en materia medioambiental (MAPAMA 2015), alertando sobre la necesidad de reducir

emisiones de gases nocivos a la atmósfera (figura 1), obligando a los gobiernos de los países industrializados a proporcionar una mayor información sobre el estado de los avances en materia de gestión climática, afrontando las consecuencias derivadas de los cambios en el mundo y, exigiendo a los estados ricos la ayuda a todos los que se encuentran en vías de desarrollo, más vulnerables a las nuevas situaciones medioambientales que se están generando en estos últimos años.

El desarrollo teórico del cambio climático en el aula de Educación Secundaria y Bachillerato pasa por la enumeración de los fenómenos naturales y la actividad antrópica que da origen a los gases responsables del daño atmosférico: el vapor de agua, el metano (CH₄) o el dióxido de carbono (CO₂) (los llamados gases de efecto invernadero de larga vida o recalcitrantes), junto a los óxidos de nitrógeno (NO_x), el dióxido de azufre (SO₂) o el monóxido de carbono (CO) (los conocidos como gases de efecto invernadero de corta vida), así como los clorofluorocarbonos (CFC) (implicados en la destrucción de la capa de ozono) (Fernández et al. 2011a, Calvo et al. 2007). Pero la enseñanza del cambio climático debe ir mucho más allá de la simple descripción de todos estos ítems de trabajo con el alumnado. Las preguntas deben afianzar la realidad del proceso y qué es lo que implica para el futuro del planeta. Cuando en el aula solemos preguntar qué es lo que podemos remediar para reducir los gases de efecto invernadero o de aquellos que implican una destrucción masiva de la capa de ozono (O₃), las respuestas de los discentes son siempre las mismas: utilización del transporte público en detrimento del privado, utilización de fuentes energéticas renovables y alejar el consumo –cada vez más aumentado– de combustibles fósiles y energía nuclear... Pero, cuando se sigue preguntando la cantidad de electrodomésticos que disponemos en casa, la verdadera viabilidad del coche eléctrico (cuando la fuente energética para su movimiento tiene, indiscutiblemente, un origen en energías no renovables para la producción de corriente eléctrica, al menos hoy en día) o la disposición personal a perder un régimen de vida como el que estamos llevando, con unas comodidades que implican grandes tecnologías y el consiguiente consumo de energía derivado de su utilización (el llamado incremento de la “Huella Ecológica”)..., las respuestas empiezan a no ser del todo las que se esperan: muchos y repetitivos electrodomésticos, falta de conocimiento en el funcionamiento del coche eléctrico (quizás por el engaño, o medias verdades, que desde las administraciones de los estados nos están subliminalmente introduciendo, dando a entender que la energía eléctrica necesaria para cargar las baterías de esta compleja tecnología procede de fuentes energéticas distintas a las que estamos utilizando en cualquier otro dispositivo eléctrico) y, por lo general, nadie está dispuesto a perder la calidad de vida que, desde mitad del siglo XVIII (con la llamada Revolución Industrial), se ha conseguido en los países de primer rango tecnológico.



Figura 1. Concentración, expresada en ppm, de dióxido de carbono detectado con un medidor fijo en un aparcamiento subterráneo de automóviles en el centro de una ciudad española. Imagen tomada en diciembre de 2016. Denótese como el valor supera en 225 puntos la concentración media de este gas en la atmósfera.

En este momento es cuando, como docentes, nos hemos preguntado qué es lo que se podría llevar a cabo en el aula con el objetivo de demostrar la reducción de los gases de efecto invernadero que repercuten muy negativamente en el cambio climático, aprovechando la tecnología que disponemos en la actualidad, ya que nadie (sociedad ni gobiernos de países industrializados) está dispuesto a perder la calidad de vida que disfrutamos. La ciencia recreativa podría ayudarnos a solucionar este problema, potenciando la creatividad del alumnado.

Trabajo previo con el alumnado

De todos los gases de efecto invernadero que podrían trabajarse en el aula con los alumnos de Educación Secundaria y Bachillerato, nos hemos centrado en el CO_2 . Este gas, que tan preocupante es para el alumnado (en nuestro caso se ha trabajado esta experiencia con alumnos de 1º curso de Bachillerato), con ideas previas y concepciones muy alarmantes en cuanto a la posible toxicidad de este gas para los seres vivos, que cambian cuando se cita la reacción más importante de la vida sobre la Tierra, la fotosíntesis. La reducción del CO_2 por parte de plantas, algas y bacterias (consecuencia de la donación electrónica por parte del agua) es la que permite la existencia de una vida basada en el oxígeno (O_2), donde el ser humano hace acto de presencia. Así, tras la indagación de sus ideas previas, se les mostró un video que presentaba la evolución histórica de la concentración de CO_2 en la atmósfera, desde sus orígenes a la actualidad (CIRES 2014) y, de manera gráfica un extracto, en la figura 2. La pregunta que derivó tras la visualización fue: ¿qué era lo que ha ocurrido a lo largo de los últimos 300 años de humanidad y su repercusión en la concentración de CO_2 atmosférico? La respuesta de la gran mayoría de los alumnos fue directa, aludiendo a la segunda mitad del siglo XVIII como punto de inflexión, consecuencia de la quema abusiva de carbón mineral con la llegada de la Revolución Industrial. Algunos llegaron a determinar algo más: el siglo XX y el excesivo consumo de petróleo.

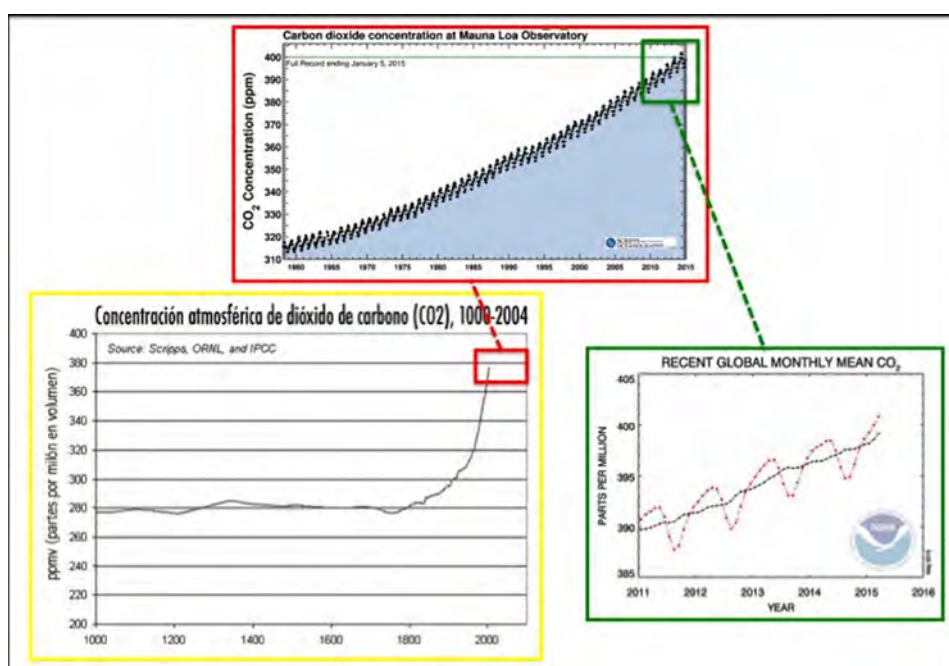


Figura 2. Evolución de la concentración de dióxido de carbono a lo largo de los últimos 1000 años de historia de la Humanidad (elaborado por los autores a partir de Madrilejos 2015, Florence 2006, Anónimo 2017).

La quema de combustibles fósiles (carbón y petróleo) es una idea muy arraigada como la responsable directa del aumento en la concentración de dióxido de carbono. Pero, el equipo docente fue mucho más allá. Se propuso a los discentes una segunda gráfica (figura 3) donde se mostró la evolución de la población humana a lo largo de la historia y una pregunta: ¿hay correlación entre ambas gráficas (figuras 2 y 3)? El alumnado afirmó indiscutiblemente que había una relación entre aumento de la población e incremento de la concentración de CO_2 en la atmósfera. A continuación se hizo especial hincapié en que infieran cuál podría haber sido la causa. En este caso las respuestas fueron muy ambiguas, sin profundizar más allá del aumento en el consumo de combustibles fósiles para el transporte y el óptimo bienestar de la población. En ese momento se les puntualizó la siguiente idea: una población que aumenta en número,

con los años demanda gran cantidad de productos alimenticios para su subsistencia. ¿Podría influir en la concentración de CO₂ el aire expirado por la respiración de los seres vivos que habitan el planeta? Si planteamos la pregunta visualizando la gráfica que recoge la figura 3, el número de habitantes esperados para 2050 rondando los 9000 millones, sumado a un crecimiento abusivo de los cultivos intensivos de ganado, la producción de CO₂ se dispara y ayuda a incrementar el porcentaje de este gas en la atmósfera¹.

Para finalizar el trabajo exploratorio, se preguntó si conocían algún método que pudiera eliminar el dióxido de carbono, teniendo en cuenta una básica tecnología que pudieran haberla estudiado durante su estancia en el instituto. Ante la respuesta negativa, los docentes se propusieron dar una pequeña idea para que se trabajase en días posteriores: la reacción ácido-base.

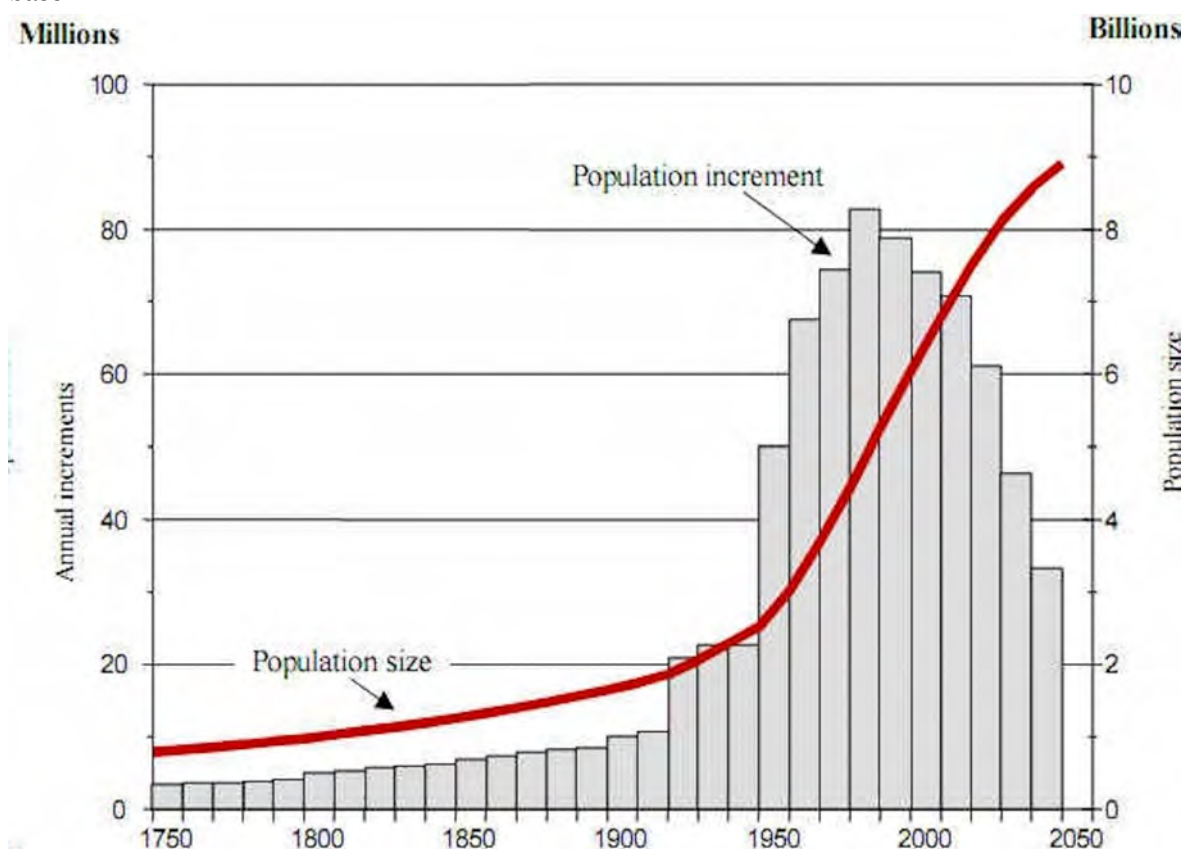


Figura 3. Evolución de la población humana desde la segunda mitad del siglo XVIII hasta la actualidad y su previsión para el año 2050 (ONU 2000).

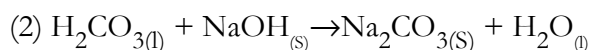
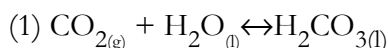
Reacción ácido-base

La neutralización ácido-base es aquella que involucra un ácido y una base, con el objetivo final de dar como productos una sal y agua. En la reacción química, y según el modelo propuesto por Brönsted y Lowry, el ácido es aquel compuesto capaz de donar protones al medio y, la base, la sustancia capaz de aceptarlos. Para Arrhenius, ácido sería aquella sustancia que, en disolución, liberaría hidrogeniones al medio, frente a una base que lo que haría sería liberar hidroxilos al medio acuoso (Atkins 2005). En nuestra experiencia vamos a llevar a cabo esta reacción, logrando con ello un *sumidero químico de CO₂*. La pregunta formulada era pertinente: ¿dónde están el ácido y la base para trabajar y diseñar una experiencia como la que se les

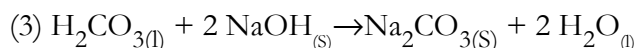
¹La cantidad de dióxido de carbono por día que libera un ser humano es de 552 gramos (27 mm de Hg, 3,6% en cada exhalación), según datos extraídos de Guyton (1985, página 588) y sustitución en la ecuación de los gases ideales.

presenta? La base fue enseñada al alumnado: un bote de hidróxido sódico (NaOH), sosa cáustica, sería el compuesto que aceptaría los hidrogeniones que portase el ácido. El problema que se generó en el grupo de alumnos fue al preguntar por el compuesto ácido. ¿Dónde estaría el ácido? Para remediar el desfase cognitivo que se generó en el alumnado y la desmotivación consiguiente, se planteó el diseño y recordatorio de una reacción química muy especial, llevada a cabo entre el CO₂ y el agua, para dar lugar al ácido carbónico (H₂CO₃); reacción ésta que se ha trabajado en primer y segundo ciclo de Educación Secundaria, con ejemplos tan significativos como las bebidas gaseosas (cerveza, vinos espumosos, gaseosas, colas y bebidas azucaradas...), el estudio del paraje cárstico y el proceso de carstificación (con el lavado y la precipitación del carbonato cálcico) (Fernández et al. 2011a) o el transporte de CO₂ en el plasma sanguíneo no asociado a la hemoglobina (en forma de ión hidrogenocarbonato HCO₃⁻) (Fernández et al. 2011b).

En este momento de la experiencia se esquematizó el proceso y la reacción química final resultante:



Ajustando la reacción (2), resulta finalmente:



De la reacción química se desprende la siguiente conclusión: con la sal carbonato de sodio (Na₂CO₃) estamos sustrayendo el CO₂ de la atmósfera de nuestro sistema de trabajo. La idea ahora sería comprobarlo en el laboratorio y extrapolar los resultados a lo que se podría llevarse a cabo a nivel mundial con la problemática del aumento de este gas y su repercusión en la climatología.

Diseño experimental. Metodología

En nuestra experiencia se va a tomar como ejemplo de CO₂ el producido de manera aeróbica por una comunidad microbiana encerrada en un sistema básico (ver Figura 4). El reservorio de compuesto base (hidróxido de sodio) se suspendería en el interior de la botella y quedaría abierto para reaccionar con el ácido carbónico (CO₂ + H₂O) que se fuera formando en sus inmediaciones. La retirada de CO₂ del sistema cerrado originaría una reducción de la presión del gas en el interior de la botella que podría ser medido con un manómetro sencillo, como el diseñado en esta experiencia y que se recoge en la figura 4.

Montaje del sistema: Para desarrollar la base teórica expuesta anteriormente, a una botella de plástico de 500 ml, provista de cierre hermético, se taladró el tapón y se le dispuso una manguera de plástico de 5 mm de diámetro por 30 cm de largo, uniendo esta al mismo con silicona. La manguera fue dispuesta a modo de U sobre un panel de madera de ocume, fijándolo al tablero con grapas. Al tapón se le adicionó un reservorio (que sustentaría la sustancia básica), constituido por una jeringa de plástico, sellada en la boca y taladrada en las paredes, con el objetivo de permitir el máximo acceso del ácido carbónico. El sistema se unió a la base del tapón de la botella mediante silicona e hilo de pescador.

Inóculo: La botella se rellenó con 250 ml de agua del grifo que portaban 25 gramos de excremento de caballo, suplementado con 1 gramo de glucosa.

Puesta en marcha:

- 1) En el tubo en U se vertieron de 1.5 a 2 ml de agua del grifo coloreada, dejándola estacionaria en el interior hasta coincidencia de los meniscos a ambos lados.
- 2) El reservorio se rellenó con escamas de hidróxido sódico, guardando la precaución de que estas últimas no pudieran verterse al inóculo.

Se finalizó el proceso cerrando herméticamente la botella e incubando el sistema a 37°C durante 48 horas. Como control negativo se realizó la experiencia sin hidróxido de sodio en el reservorio.

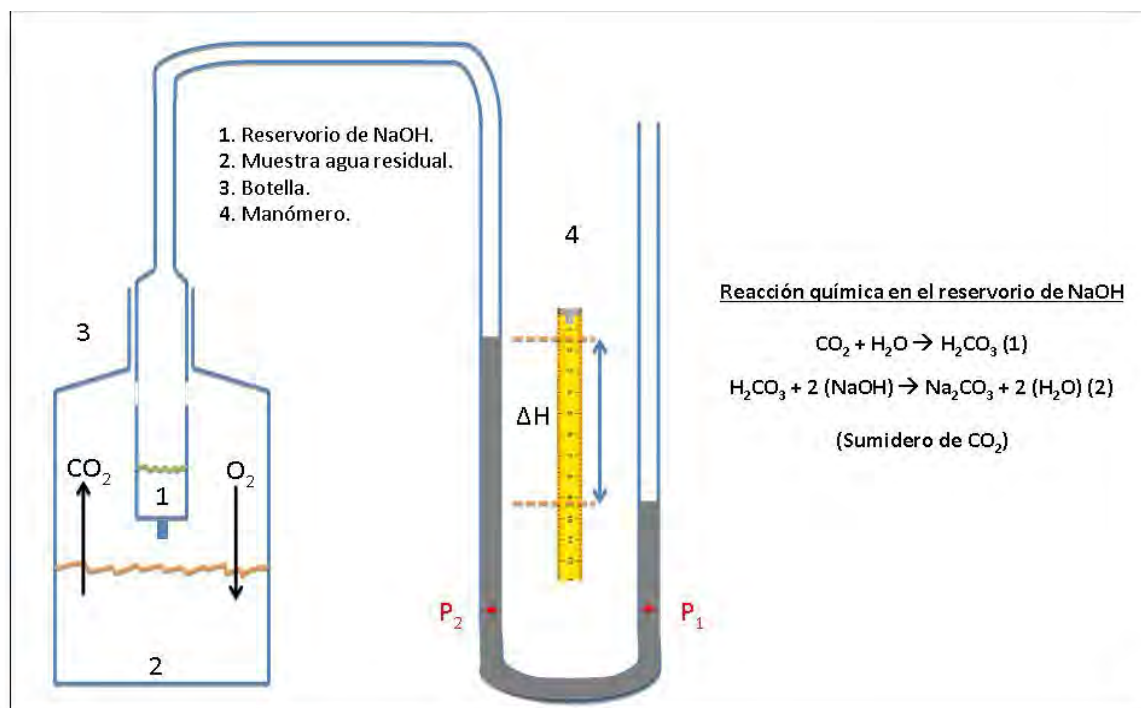


Figura 4. Dibujo esquemático del diseño experimental elaborado donde se especifica el sumidero de dióxido de carbono basado en la reacción química entre la sosa cáustica y el ácido carbónico, provocando un desequilibrio en el manómetro asociado a la botella portadora de muestra. Véase el cálculo de las presiones P₁ y P₂ en el texto general.

Resultados y discusión

Tras incubar el sistema a 37°C durante 48 horas, el resultado fue sorprendente. El agua del manómetro se había desequilibrado en el tubo en U, desplazándose hacia la botella (figura 5). El interés de la experiencia es la explicación de lo ocurrido por el equipo de alumnos colaboradores:

- a) Durante el proceso metabólico, en aerobiosis, llevado a cabo por las bacterias que configuran la comunidad que se ha introducido en la botella, éstas toman como fuente de carbono primario la glucosa, procediendo a su descomposición total. El volumen de oxígeno requerido para la obtención final de energía por parte de las bacterias debería ser equitativo al de CO₂ producido en el catabolismo, en acuerdo a la estequiometría de la reacción de combustión de la glucosa. Sin más, no podríamos hablar de desequilibrio en el manómetro (datos no mostrados del control negativo).
- b) No obstante, al observar el desequilibrio en la columna de agua en el manómetro, podemos pensar en la generación de un sumidero de CO₂, tal y como se refleja en la reacción química de la Figura 4. El carbonato de sodio generado tras la neutralización

de la sosa cáustica por el ácido carbónico sería el compuesto donde se “guarda” el gas, disminuyendo su presión en la atmósfera del interior del sistema.

De manera sencilla y aplicando cálculos de física básica (Kane y Sternheim 1992), la presión (P) ejercida por un líquido en un tubo en U podría definirse como la fuerza (F) por unidad de superficie (S):

$$(a) P = F / S$$

Si tenemos presente que la fuerza ejercida se define por la segunda ley de Newton como el producto de la masa del cuerpo (M) por la aceleración (g), sustituyendo en la ecuación (a) resulta:

$$(b) P = (M \times g) / S$$

Además, definiendo la densidad (ρ) de un cuerpo como la relación entre la masa y el volumen (V), sustituyendo en la ecuación (b) resulta:

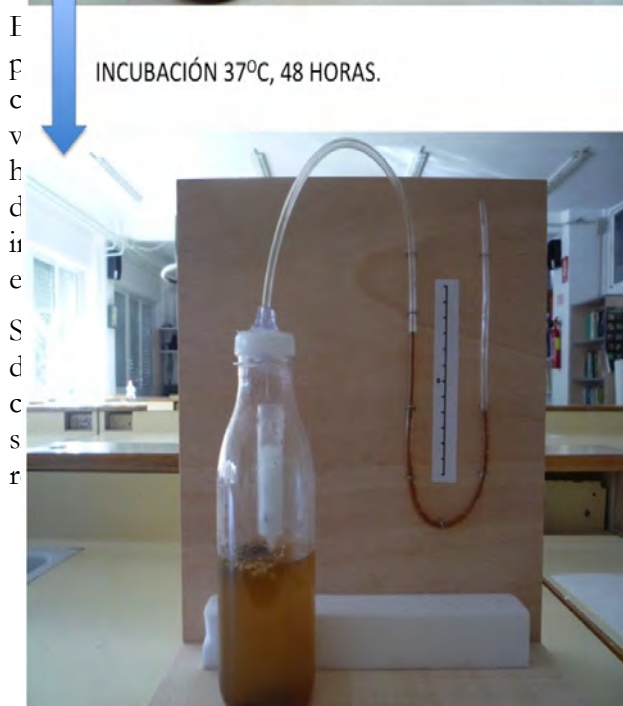
$$(c) P = (\rho \times V) \times g / S$$

Asumiendo que el volumen del cilindro que determina el tubo en U es igual al área de la base (S) por la altura (h), sustituyendo en (c) resulta finalmente:

$$(d) P = \rho \times g \times h$$



INCUBACIÓN 37°C, 48 HORAS.



de un cilindro será igual al producto de la densidad y la altura de la misma (Principio

de la gráfica en las figuras 4 y 5, la presión P_1 y P_2 experimento, siendo $P_1 > P_2$. Si definimos la presión atmosférica (P_{atm}) más la presión de la columna de agua en la suma de la presión absoluta (P) más la presión interior de esa rama 2, en el estado inicial,

$$P = P + (\rho \times g \times h_2)$$

ante:

$$\rho \times g \times \Delta h$$

La presión interior de la botella es igual a la suma de la presión atmosférica, llamado presión manométrica. En nuestro experimento, la presión manométrica negativa o presión de succión de la columna de agua del interior del manómetro en nuestro manómetro en forma de U el líquido en la columna se lleva a cabo hacia la rama cerrada, demostrando en el interior de la botella, demostramos la generación de vacío (vacío) que buscamos con la experiencia.

El objetivo de este trabajo es pensar en la generación de sumideros biológicos en la corteza terrestre, tras la aplicación de compuestos básicos (minerales o de nutrientes) para hacer factible esta idea. Metz et al. (2005) mencionan el papel fundamental de expertos sobre el cambio



Figura 5. Imagen del diseño experimental, antes y después de la incubación a 37°C, durante 48 horas, para comprobar la reducción de la presión de gases en el interior de un sistema cerrado, basado en el desplazamiento del líquido coloreado del interior del manómetro.

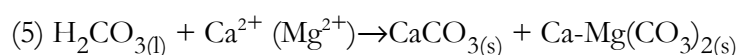
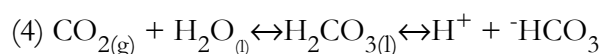
baja magnitud en la escala Richter (La Vanguardia 2017; elpais.com/tag/proyecto_castor/a). Hablamos en esta comunicación de futuro, de qué es lo que vamos a dejar a las próximas generaciones.

Reflexión final del trabajo

La práctica permite indagar más sobre dónde está el gran depósito que albergó la inmensa concentración de dióxido de carbono que existía al comienzo de la historia de la Tierra. A los alumnos se les mostró una gráfica sobre la evolución de los gases atmosféricos a lo largo de la

Si tenemos presente esta explicación, no es descabellado pensar en la generación de sumideros de gases de efecto invernadero en las profundidades de la corteza terrestre, tras la combinación del ácido carbónico (CO₂ + agua) con compuestos básicos (minerales o de síntesis artificial). La tecnología debería permitir hacer factible esta idea. Metz et al. (2005) redactaron un informe para el grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático, donde se argumenta la captación y almacenamiento de CO₂. Los autores plantearon la posibilidad real de la captación con la tecnología disponible hasta el momento, matizando algunos riesgos para la salud animal y humana, la seguridad y la posible repercusión negativa en el medio ambiente local, las posibles cuestiones jurídicas y las normativas que cabrían plantearse con la aplicación de este tipo de tecnología, así como las lagunas en el conocimiento que generan su puesta en marcha. Si bien algunos autores argumentan datos a favor de la tecnología de la fijación de CO₂ (Herzog 2009), está claro que la idea final que debe repercutir en el alumnado es que la sociedad necesita un profundo cambio en materia medioambiental y su protección, no debiendo ser una asignatura pendiente para los gobiernos. Sirva a modo de ejemplo lo que recientemente, investigadores del MIT (Instituto Tecnológico de Massachusetts) y hasta cinco organismos científicos nacionales en España, han afirmado sobre la inyección de gases en el almacén Castor y la activación de la falla de Amposta (inmediaciones de la costa de Castellón), declarándose más de 500 terremotos de

historia del planeta (Figura 6), haciendo hincapié en el CO_2 . Si atendemos a las unidades de concentración de este gas que se cree que existieron en los comienzos del planeta (entre el 10-30% en la atmósfera primitiva), ¿dónde está el reservorio que albergó toda la gran concentración de este gas? La respuesta reveló un desconocimiento del proceso. Esta actividad va más allá e introduce un valor interdisciplinario más, la geología. Los fondos marinos acumularon grandes cantidades de CO_2 necesario para la fotosíntesis de plantas, algas y bacterias marinas, y según las siguientes reacciones químicas, permitieron la generación de un sumidero geológico (Meléndez y Fuster 2003):



Las formaciones geológicas de caliza (CaCO_3) y dolomía ($\text{Ca-Mg}[\text{CO}_3]_2$) son los grandes depósitos de aquella importante concentración de CO_2 presente en los primeros años del planeta Tierra. De igual modo, la cantidad importante de actividad fotosintética generó ingentes formaciones de vida (helechos y coníferas) que llegaron a sedimentar en grandes lagunas, dando como resultado el carbón. A nivel de mares cerrados o extensos lagos, el aumento en la concentración de este gas en la columna de agua generó un crecimiento masivo de plancton, origen del petróleo. La reducción del CO_2 y su traspaso a materia orgánica llevó consigo un nuevo reservorio para este gas. Hoy en día estos sistemas sumidero (carbón y petróleo) vuelven a escapar a la atmósfera gracias a su utilización en automoción², calefacción, industria..., por el ser humano.

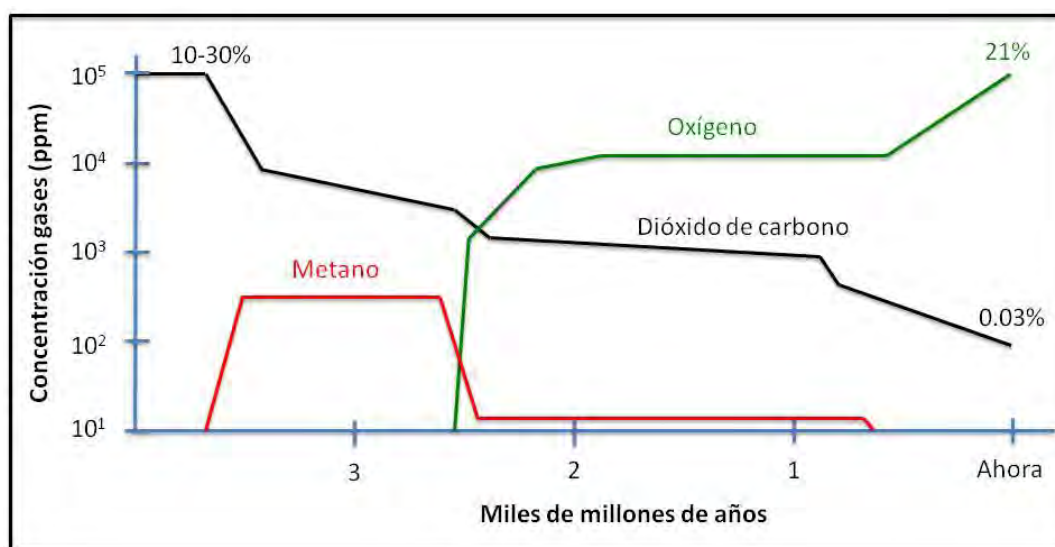


Figura 6. Evolución de la concentración de oxígeno, metano y dióxido de carbono en la atmósfera a lo largo de la historia del planeta Tierra. Destaca la caída de dióxido de carbono desde un 10-30% hasta 0,03% en la actualidad. También se muestra el dominio del metano y la evolución positiva del oxígeno (tras la aparición de los primeros organismos fotosintéticos, los estromatolitos). Modificado por los autores a partir de Lovelock (2011, página 166).

Conclusiones

La experiencia diseñada nos permite visualizar la reducción de una masa de dióxido de carbono en el interior de una botella herméticamente cerrada basada en la reacción de neutralización con una

²1 litro de gasolina-gasoil liberan entre 2.3 y 2.6 Kg de dióxido de carbono a la atmósfera (datos ofrecidos por la web economie.com/equation-combustion/).

base fuerte, tras combinarse el gas con agua gaseosa. El diseño también permite recrear lo que podría conllevar a macroescala, sin insistir mucho en los riesgos derivados de la aplicación y sus repercusiones medioambientales derivadas en la zona. La experiencia profundiza el debate entre profesor y discente en materia medioambiental, generando una visión de posturas a favor y en contra del proceso, posibles costes de la operación, los riesgos medioambientales, destino de los productos...

Agradecimientos

Referencias bibliográficas

- Anónimo. (2017). *Las concentraciones de CO₂ cerca de las 410 ppm*. [Edición digital de Tiempo.com](#).
- Atkins J. (2005). Capítulo 10: Ácidos y bases. En *Principios de química. Los caminos del descubrimiento*, (pp. 365-407). 3ª Edición. Buenos Aires: Editorial Médica Panamericana.
- Calvo D., Molina M.T, Salvachúa J. (2007). *Ciencias de la Tierra y medioambientales*. 4ª Edición. Barcelona: Editorial McGraw-Hill. pp. 227-258.
- CIRES (2014). *Time history of atmospheric carbon dioxide*. [Edición digital](#).
- Fernández M.A., Martínez M.J., Mingo B., Torres M.D. (2011a). *Ciencias de la Naturaleza. Nuevo Natura. 1º Curso Educación Secundaria*. 1ª Edición. Barcelona: Editorial Vicens-Vives. pp. 70-89 y 106-123.
- Fernández M.A., Mingo B., Rodríguez R., Torres M.D. (2011b). *Biología y Geología. Nuevo Natura. 3º Curso Educación Secundaria*. 1ª Edición. Barcelona: Editorial Vicens-Vives. pp. 42-63.
- Florence J. (2006). *2005: otro año récord en el registro de emisiones globales de carbono*. Edición digital de [Terra Ecología Práctica](#).
- Guyton, A.C. (1985). *Tratado de fisiología médica*. 6ª Edición. Mexico: Editorial Interamericana. pp. 1263.
- Herzog H. (2009). Capítulo 13: [Carbon dioxide capture and storage](#). En *The Economics and Politics of Climate Change*. (pp. 263-283). Londres: Editorial Oxford University Press.
- Kane J.W, Sternheim M.M. (1992). *Física*. 2ª Edición. Barcelona: Editorial Reverté. pp. 795.
- La Vanguardia. (2017). *El MIT concluye: la plataforma de gas Castor es un peligro y recomienda su cierre*. [Edición Digital del Diario La Vanguardia](#). 3 de mayo de 2017.
- Lovelock J. (2011). *Las edades de Gaia. Una biografía de nuestro planeta vivo*. 5ª Edición. Barcelona: Metatemas Tusquets Editores. pp. 266.
- Madrilejos A. (2015). La concentración de CO₂ en la atmósfera supera un nuevo récord. [Diario El Periódico. Ciencia-Medio ambiente](#).
- MAPAMA (2015). *Conferencia de Naciones Unidas sobre cambio climático*. París 2015. COP21-CMP11. [Edición digital](#).
- Meléndez B., Fuster J.M. (2003). *Geología*. 9ª Edición. Madrid: Editorial Paraninfo. pp. 325-368.
- Metz B., Davidson O., de Coninck H., Loos M., Meyer L. (2005). [La captación y el almacenamiento de dióxido de carbono](#). Resumen para responsables de políticas y resumen técnico. Informe especial del IPCC. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático por invitación de la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático. OMM. PNUMA. pp. 59.