

Buscando un mismo lenguaje para enseñar mejor la Biología y la Química

Searching for the Same Language to Better Teach Biology and Chemistry

Mercè Izquierdo Aymerich

Departament de Didàctica de les Ciències i de les Matemàtiques

Universitat Autònoma de Barcelona

Merce.Izquierdo@uab.cat

Para citar este artículo:

Izquierdo Aymerich, M. (2022). Buscando un mismo lenguaje para enseñar mejor la Biología y la Química. *Revista de Educación en Biología*, 25 (1), 79-91.

Resumen

Se presentan los conceptos nodales expuestos en la Conferencia central "Cesar Milstein" de la XIV Jornadas y IX Congreso Internacional en enseñanza de la Biología "La interdisciplina en la enseñanza de la Biología. Propuestas y tendencias curriculares actuales". Se reflexiona sobre la importancia del lenguaje de la Química y de la Biología en la escuela secundaria obligatoria, para que muestre al estudiantado cómo es el mundo y cómo intervenir en él. Se recupera la historia de ambas disciplinas, para luego, desde la didáctica, analizar los programas de estudio; se finaliza con el ejemplo del metabolismo y la energía como contenido escolar que se puede enseñar desde la Química y la Biología, en un diálogo imprescindible entre ambas disciplinas para generar el lenguaje adecuado para la ciencia escolar.

Palabras clave: Enseñanza obligatoria; Lenguaje; Química; Biología

Abstract

We present the key concepts exposed in the central Conference "Cesar Milstein" of the XIV Conference and IX International Congress on Biology Teaching " "Interdisciplinarity in Biology Teaching. Current curricular proposals and trends". We reflect on the importance of the language of Chemistry and Biology in compulsory secondary school, so that it shows students what the world is like and how to intervene in it. The history of both disciplines is recovered, in order to, then, analyze the study programs from the didactic point of view. The work/paper ends with the example of metabolism and energy as school content that can be taught from Chemistry and Biology, in an essential dialogue between both disciplines to generate the appropriate language for school science.

Keywords: Compulsory Education; Language; Chemistry; Biology

1. ¿Por qué buscamos este lenguaje?

En esta charla vamos a reflexionar brevemente sobre el lenguaje de la Química y de la Biología, cuando se enseñan en la etapa obligatoria. El lenguaje que buscamos es para enseñar mejor; no nos ocupamos de “decir mejor” los temas que interesan a estas dos ciencias o disciplinas, ellas ya lo hacen muy bien. Lo que comentaremos tiene que ver con el deseo de que las ciencias básicas que se enseñan, se ocupen de los fenómenos biológicos y de los fenómenos químicos que se producen en el mundo material y puedan ‘decirlos’ con los lenguajes apropiados, que comunican y que construyen.

Sabemos, desde Wittgenstein, que las palabras surgen del “juego del lenguaje”, de lo que se quiere hacer con ellas, que el receptor es activo al dar significado a las palabras que recibe (Wittgenstein, 1977, 1958). El ‘juego’ de la Química no es el ‘juego’ de la Biología. Tanto la Química como la Biología disponen de un lenguaje adecuado para expresar lo que les interesa a todos aquellos que las han escogido para su formación universitaria. Como que ambas disciplinas intentan conocer un mismo ‘mundo’ con un método y una manera de hacer semejante, se han desarrollado instrumentos y conocimientos que han beneficiado a ambas ciencias, como el microscopio, las técnicas analíticas, la química orgánica...Por ello, sus lenguajes se han enriquecido mutuamente. Pero esto no significa que se pueda reducir la una a la otra. Podemos usar el lenguaje de la química para ‘hablar’ de algunos aspectos de la Biología y a la inversa (de esto va esta charla) pero no por ello la Biología es Química ni la Química es Biología.

En la escuela se enseña Biología y Química, así lo muestran los currículos oficiales. Pero ¿cómo hacerlo, si el ‘juego’ de la ciencia escolar (la ciencia que se puede hacer en la escuela) no es el de estas dos disciplinas? Los profesores debemos recordar que el objetivo de la ciencia escolar es conocer cómo funciona el mundo con la ayuda de todas las disciplinas y de su ‘juego’ (la actividad científica escolar) ha de surgir el lenguaje que buscamos. El reto es diseñar las actividades adecuadas para llegar a percibir en el mundo las ideas básicas que estas dos ciencias han aportado a la cultura científica.

La enseñanza ‘para todos’ a nivel secundario debe plantear las preguntas primarias que favorezcan la iniciación a las ciencias, puesto que las respuestas han de ser adecuada a los modelos teóricos actuales. Una mirada en conjunto a los programas de Biología y de Química en los currículos, muestra desajustes que son también ocasiones perdidas de tender puentes entre ambas disciplinas y, de esta manera, optimizar los recursos de que disponemos para iniciar a los alumnos en el conocimiento científico de algunos de los fenómenos del mundo.

El lenguaje que buscamos es el que mejor muestre a nuestros alumnos cómo es el mundo y cómo intervenir en él. No aquel que maravilla por su claridad y belleza (las fórmulas de todo tipo) pero que muestra un comportamiento de la naturaleza tan idealizado que desconecta de fenómenos reales que plantean preguntas interesantes.

2. Algo de historia

La historia de la ciencia ayuda a concretar lo que vamos diciendo. Al enseñar Química y Biología 'para todos', estamos enseñando a hablar del mundo natural, material, que presenta enigmas a quiénes quieren pensar sobre él de manera racional. Los griegos inauguraron esta 'manía' de pensar, y aún nos mantenemos en ella. Si no vemos enigmas en el mundo, no hay ciencias, no tiene interés estudiarlas, es un esfuerzo inútil intentar imaginar una naturaleza reconstruida a partir de las fórmulas y las tecnologías informáticas actuales. En clase debemos huir de un 'espejismo del lenguaje' -en palabras de Wittgenstein- que substituye la complejidad de los fenómenos por un lenguaje simbólico que los alumnos no han podido construir adecuadamente. Por ello es relevante empezar por reflexionar sobre el origen de las disciplinas, por las ideas primigenias que da sentido sus preguntas de investigación.

En el libro de texto: Bioma que tomo como referencia en esta charla, se citan estas palabras de J.B.Monet, caballero de Lamark (1815, Historia natural de los invertebrados)

Es a estos seres verdaderamente admirables a los que se ha dado el nombre de 'seres vivos'; la vida que les es propia, así como todas las facultades que se derivan de ello los distingue esencialmente de todos los demás seres de la naturaleza. En efecto, constituyen por ellos mismos, y en la diversidad de fenómenos que representan, el objeto único y exclusivo de una ciencia particular, que aún no ha sido fundada y que no tiene ni nombre, a la que yo llamaría Biología.

Como vemos, el conocimiento biológico del que parte Lamark es mucho más antiguo que la disciplina. La Biología es una ciencia cuyo punto de partida es la historia natural de lo que está (es) vivo. El interés por la salud, los animales, las plantas se desarrolló de manera diversa en todas las grandes civilizaciones, a partir de la ciencia griega. Lo mismo ocurre con respecto a la Química. También Lavosier, a final del siglo XVIII, anuncia una 'ciencia teórica' que, con su nuevo lenguaje, pondría orden en la química práctica de aquellos que manipulaban materiales y gestionaban sus cambios, en la farmacia, las minas, los tintes... los venenos. La 'historia natural' de los materiales manipulables y cambiantes, la rica tradición de este 'saber hacer', fue previa a las fórmulas; sin todo ello como referente, las fórmulas no tienen sentido.

Los Modelos Teóricos de la Química y de la Biología han surgido de su historia natural. La Biología 'va' de seres vivos que *no se generan espontáneamente y que están formados por células*. La química va de sustancias que *aparecen y desaparecen, por más que la materia (la masa) se conserva*. Las dos reglas aplicadas a los fenómenos del mundo permiten entender que las preguntas que suscitan estos fenómenos son diferentes y que se explican de manera diferente. Que una célula está viva, aunque se la represente estática en los libros, y que el ADN o la hemoglobina, que forman parte de aquella, no lo están.

Los conocimientos científicos evolucionan. Desde principios del siglo XX, se habla de una nueva área de conocimiento: 'bioquímica', que estudia *los aspectos químicos de la fisiología*. Y a mediados del siglo se habla ya de: 'biología molecular', *la rama de la biología que tiene como objetivo: el estudio de los procesos que se desarrollan en los seres vivos*

desde un punto de vista molecular. La biología molecular pretende explicar los fenómenos de la vida a partir de sus propiedades macromoleculares.

En la actualidad, la bioquímica forma parte de la formación de los profesores de Biología, pero no de los profesores de química. Existe el peligro de que alguien se confunda y se crea que la química explica la biología, como si conocer las grandes biomoléculas proporcionara la clave para comprender la vida. O que se imagine una célula como si fuera una molécula grandota y, en lugar de buscar en la Química ayuda para comprender mejor un proceso biológico, inventara procesos imaginados a partir de las propiedades de las sustancias en el laboratorio. Las fórmulas químicas de las biomoléculas forman parte de la enseñanza de los biólogos; pero si lo que se pretende es “estudiar la vida” estamos en Biología y no en Química.

Por esto, debemos tener claro que en la escuela no enseñamos la Bioquímica de los científicos, ni ninguna otra disciplina científica pero sí a diferenciar un ser vivo de un material que no lo es. Sí a percibir en el mundo estos seres vivos que maravillaban a Lamarck, que interaccionan con el medio, que evolucionan a lo largo de un tiempo que no es el del laboratorio y sorprenderse por la aparición y desaparición de las sustancias en el cambio químico. El objetivo de la escuela en la enseñanza básica es enseñar a pensar en estos cambios según las reglas de juego de los dos modelos teóricos, que nos ofrecen explicaciones que hemos de administrar adecuadamente.

El interés, por evitar reduccionismos, no significa olvidar que las células vivas y los organismos están formadas por materiales que se pueden estudiar en los laboratorios según la Química. Y que las explicaciones de la Biología y de la Química han de encontrarse a la manera propia de la ciencia escolar, que requiere que los conceptos básicos de las dos ciencias reciban la atención necesaria para que el alumnado las entiendan y sepan aplicarlas cuando corresponde.

3. Algo de didáctica. ¿Qué Química? ¿Qué Biología debemos enseñar, para confluir?

Si buscamos un lenguaje común, debemos seleccionar fenómenos que permitan una doble mirada: química y biológica, según un currículo adecuado que promueva la actividad científica escolar generadora de conocimiento. Las y los alumnos han de poder experimentar, en las situaciones adecuadas, para poder formular las preguntas básicas de los Modelos Teóricos que se están introduciendo. En nuestro caso, por lo que hemos ido viendo, son dos: el Ser Vivo y el Cambio Químico. Irreducibles uno al otro pero que se refuerzan mutuamente cuando convergen en situaciones que, precisamente por ello, deben ser centrales en la enseñanza básica. Las y los profesores deben alentar el interés, la sorpresa, tanto por la vida como por la misteriosa aparición y desaparición de las sustancias en el cambio químico. El estudio de los materiales debe incluir el interés por los que forman las células, que se transforman en los procesos de la vida; el estudio de la vida debe incluir las reglas del cambio químico que se representan en las fórmulas.

En los programas de Química, una primera etapa puede ser estudiar el fuego, tanto la llama de una vela y la carbonización de la madera (que nos acerca a los materiales orgánicos) como la combustión del hierro (que permite el estudio cuantitativo del proceso). El fuego 'carboniza' a la mayor parte de alimentos (la lechuga, el pan...) y nos muestra algo de su composición: en ellos hay carbono... Con ello podemos introducir los conceptos 'sustancia elemental y compuesta' y 'elemento-átomo' (el carbón y el carbono, el oxígeno, el agua) y otros más abstractos derivados de las masas y volúmenes de interacción química: el átomo y la molécula. ¡Y ha sido capturado del aire, gracias a las plantas verdes!

El fuego, la llama, nos conduce a reflexionar sobre la energía. Podemos quemar un cacahuete, y preguntarnos sobre el calor que desprende y relacionar la llama con la vela que arde y cuestionarnos si ocurre lo mismo cuándo lo comemos.

Una segunda etapa en la introducción a la Química es preguntarse: ¿por qué el agua (una disolución acuosa) es conductora de la electricidad? Nos interesamos así por las sales, los ácidos y las 'bases'. Descubrimos que también el cuerpo humano, los organismos en general, son conductores, que contienen agua y sales solubles. Y que los huesos están formados por sales insolubles, pero están vivos, por lo tanto, contienen células. Si transformamos estas sales insolubles, a base de un tratamiento con ácidos, obtenemos la materia orgánica que contienen.

Un tercer momento es estudiar los alimentos, observar la textura especial de muchos de ellos, que no se parecen ni a los metales, ni a las sales cristalinas, ni al cuarzo. Considerar que provienen de seres vivos abre la puerta a la reflexión sobre las moléculas que los forman, que son las mismas que intervienen en los procesos de la vida.

Finalmente, en un programa de Química es imprescindible la mirada en conjunto que nos ofrece al Sistema Periódico de los elementos, en la que resaltamos la importancia de dos elementos, C y Si, que tienen la característica de concatenarse formando largas cadenas de las que depende la estructura de los suelos y de los seres vivos. Esta mirada al 'Sistema Químico' nos introduce a 'la capacidad de reaccionar' que se relaciona con la capacidad de vivir.

Consideramos también los ciclos de los elementos, que se conservan a pesar de los cambios de las sustancias que forman; los elementos no se multiplican, los seres vivos sí lo hacen.

El programa de Biología ha de identificar también situaciones relevantes pensando en la Química. Por ejemplo, la 'multiplicación' del yogur o de la 'masa madre' del pan introduce la reflexión sobre seres vivos que no vemos, responsables de la transformación de los materiales que los químicos representan mediante una ecuación (la oxidación de la glucosa, la fermentación, la fotosíntesis) sin que estos agentes vivos aparezcan en ella ni se tengan en cuenta. Reflexionar sobre la circulación de gases por el organismo (las plantas, las personas) proporciona otra ocasión de dar significado a las ecuaciones químicas de la fotosíntesis y de la combustión del azúcar, que incluyen los gases dióxido de carbono, agua y oxígeno sin que quede claro qué se hace con ellos.

Muchas otras 'situaciones' permiten que la química y la biología se encuentren. Por ejemplo, la sorprendente estabilidad del pH en los seres vivos, los mecanismos de entrar y salir de los fluidos a través de las membranas de las células (que no son una tela o una película, son mucho más vivas, más interactivas) o la función del agua, siempre presente.

El episodio más importante que permite esta doble mirada es, sin duda, la maravillosa formación de azúcares gracias al 'empujoncito' del Sol que permite que las plantas verdes atrapen el CO_2 y H_2O para formar azúcar y oxígeno. Y la genial transformación de estos azúcares y oxígeno en CO_2 y H_2O de nuevo, en la que suelten bajo control este poco de Sol, para vivir.

Me parece que ocuparse en serio de este fenómeno (y de la nutrición, de los alimentos) obligaría a la Biología y a la Química a encontrar este lenguaje del que hablamos, No se van a encontrar por casualidad, porque ambas disciplinas ya tienen los lenguajes que más les conviene para su 'juego' de investigación, que no es el de la ciencia escolar. La fotosíntesis, el metabolismo no 'se hablan' de la misma manera en las dos ciencias, pero es indudable que, si se tienden puentes entre estas diferentes maneras de hablar se enriquece el lenguaje, se comprende mejor este proceso tan importante y estamos más cerca del lenguaje que más conviene a la ciencia escolar.

4. La combustión, el metabolismo...el mundo en fórmulas

Vamos a concretar algunas de las ideas que se han ido expuesto para reflexionar sobre el significado de las fórmulas con la que se representa el proceso de formar y quemar azúcar aprovechando la energía del Sol. Como hemos dicho, este doble proceso debería ser central en un currículo de 'ciencias básicas'.

Puede parecer que el encuentro entre la Biología y la Química ya se ha producido, puesto que se nos dice que:

El propósito de la Biología moderna es poder interpretar las propiedades del organismo a partir de la estructura de las moléculas que lo constituyen (F-Jacob, La lógica del viviente, citado en Bioma)

Esta afirmación puede dar lugar a mal entendidos, porque puede parecer que en realidad los procesos son químicos y no biológicos cuando no es así, sino que son las propiedades del organismo las que dan significado a las fórmulas.

El objetivo de la ciencia escolar es la vida, un conocimiento que es previo a las moléculas.

La vida se define como el conjunto de características que presentan los organismos mediante las cuales pueden actuar por ellos mismos sin perder su estructura. Tienen unas características específicas (funciones)... se reproducen, experimentan mutaciones lo largo de las generaciones...

Lo interesante es que los organismos 'funcionan, pero mantienen su estructura' hasta que mueren, gracias a que cada día se nutren ingresan energía. Esta capacidad de la vida,

en conjunto, de gestionar la energía del Sol, este empujón que se recibe de la radiación solar con el que los organismos conservan su organización, es la característica que la diferencia de los materiales que 'no actúan por ellos mismos'. Esta estructura es compleja y tiene diversos niveles de organización: celular, organismo, población, ecosistema.

Algunos libros de texto consideran que un primer nivel de organización es el molecular y dedican los primeros capítulos a estudiar las fórmulas de las biomoléculas. Empezar así me parece perturbador porque, de nuevo, parece sugerir que estas moléculas generan la vida; y, por otra parte, los profesores de química no hablan de las biomoléculas porque les parecen demasiado complejas para enseñarlas en la escuela e instituto y, en los libros de texto de química, quedan relegadas al final del libro...o no se habla de ellas. Si, en cambio, se empieza por la definición de Vida (el modelo teórico 'ser vivo') y con la célula viva como primer nivel de organización, surgen las preguntas que irán desarrollando y robusteciendo el modelo: ¿Cómo se nutren las células? ¿Cómo entran y salen de ellas los nutrientes? ¿Cómo 'se queman' los nutrientes? ¿Cómo llega el oxígeno a las células, cómo circula el CO₂? Aquí la Química puede ayudar, si se entiende bien.

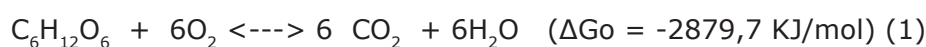
Un alumno de ciencia básica ha de empezar por: 1) reconocer la vida y los cambios materiales que comporta y 2) el significado de las fórmulas químicas. Con ello, estas últimas ayudarán a comprender los procesos biológicos y tomarán significado más allá del laboratorio.

Es necesario tener en cuenta a las biomoléculas y sus fórmulas, pero en la medida que sea necesario para entender mejor lo que pasa, y también para comprender el significado de las reacciones químicas y sus ecuaciones.

Veamos algunos ejemplos sobre los que podríamos reflexionar largamente.

La energía

Como hemos dicho, es fundamental comprender bien la gestión de la energía del Sol gracias a los seres vivos, representada por la ecuación química:



Esta ecuación química seguramente se ha mostrado muchas veces, a lo largo de los cursos. Pero quizás no se ha enseñado a leerla, por la dificultad que entraña: quemar azúcar no es fácil, imaginar el proceso a 25°C es casi imposible, la función del Sol no se refleja en la ecuación. También es difícil entender la 'doble flecha': nada que ver con la doble flecha en otras ecuaciones químicas, porque proporcionando energía a agua con gas (CO₂) no se forma azúcar. Para entender bien el significado de esta ecuación, la Química y la Biología deben aliarse aportando cada una de ellas los conocimientos que les son propios.

Ambas ciencias no hablan igual de la energía, como tampoco lo hace la Física, porque se interesan por fenómenos diferentes. Aunque no haya contradicción, porque estas tres ciencias hablan del mismo 'mundo real'. En Biología, se habla sobre todo de la 'Energía libre, G', en Química, de entalpía (H) o de energía interna (E). Es muy interesante

esta diferencia, que indica cuál es el destino de la energía en los seres vivos (hace vivir) y también, la excelencia de estos en la gestión de la energía. ¡Recordamos la combustión del cacahuete! El Calor que pasa al ambiente cuando lo quemamos al aire corresponde en gran parte a Trabajo cuando este material se quema en la célula paso a paso y sin llama gracias a un conjunto maravilloso de reacciones bien acopladas que distribuyen la energía en pequeñas dosis controlables, muy alejado todo ello de la burda gestión del proceso cuando se realiza en el laboratorio de la escuela, al aire libre.

Los enlaces

La transformación reversible del ATP en ADP forma parte de esta gestión excelente de la energía y la química ilumina este proceso que se representa mediante esta ecuación.



De nuevo, no es fácil entender bien lo que nos dice. En esta ecuación, no es necesario saber exactamente cómo son las moléculas ATP y ADP. La fórmula nos informa de que una molécula que llamamos ATP, con tres grupos P, interacciona con agua y como consecuencia, un grupo P se separa de la ATP, por lo que se forma una molécula de ADP con solo dos P y el P que se ha separado se enlaza con moléculas de agua mediante 'enlaces de hidrógeno'. La rotura de un enlace siempre requiere energía, pero la formación de los enlaces entre P y el H₂O con agua, la desprenden y, en conjunto la transformación de ATP en ADP desprende energía. Por esto no puede faltar el (ac) para indicar que la energía que se obtiene es debida a estos enlaces de hidrógeno, no a la rotura del enlace del P que se ha separado.

Es un excelente ejemplo de gestión de la energía gracias a la reversibilidad de la reacción. Para la Química tener esto claro y escribir correctamente la ecuación es fundamental y tiene la obligación de explicarlo bien. La Biología debe insistir en la reversibilidad de la ecuación, permitiéndonos ver qué tanto sirve para dar energía como para guardarla; y que la energía no es 'un objeto' sino una determinada estructura de las moléculas que las hace capaces de transformarse generando una cantidad fija de energía, que se obtiene como calor y trabajo, según como se gestione el proceso. Y los seres vivos lo hacen muy bien.

El metabolismo de los azúcares: el ciclo de Krebs

En el bachillerato, el metabolismo de los azúcares se explica en Biología, pero no en Química. Se pierde con ello una ocasión de mostrar cómo pueden colaborar las dos disciplinas para explicar este fenómeno, a la vez que cada cual enriquece su propio lenguaje.

Los libros de texto dedican una atención especial al ciclo de Krebs, mediante un esquema casi artístico para representar un conjunto reacciones catabólicas; pero solo he encontrado un libro de texto de química del bachillerato en el que se hable de este ciclo y lo represente (el CHEMStudy) (Figuras 1 y 2) Las diferencias entre los dos esquemas son reveladores de la diferencia de enfoques y, a la vez, indican cómo podemos tender puentes para aprovechar el conocimiento que aporta cada uno de ellos.

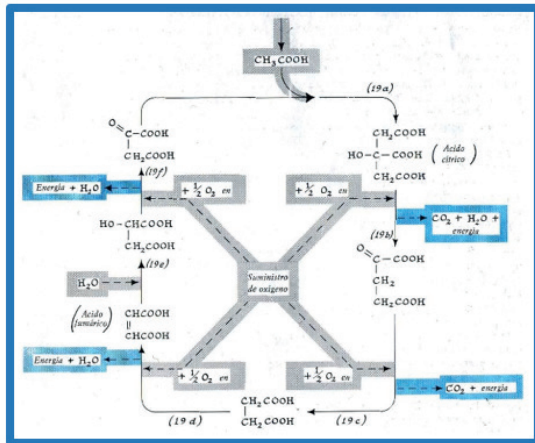


Figura 1. El ciclo en ChemsStudy, pág. 453

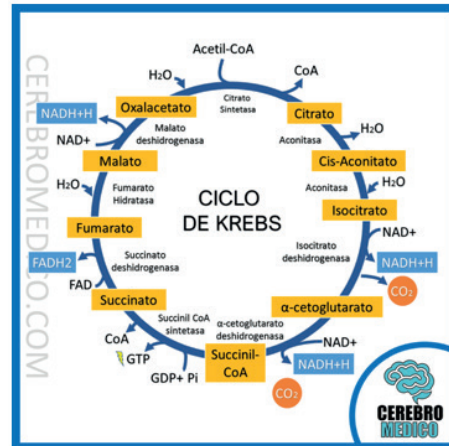
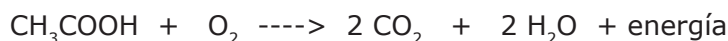


Figura 2. El ciclo de Krebs ¹

En primer lugar, debemos situarnos: el ciclo representa una parte de la reacción global (1) que hemos considerado fundamental para la formación científica para todos. Pero es tan complejo, son tantas las reacciones que intervienen, que cuesta darse cuenta de que estamos hablando de la nutrición.

La primera observación es que, si bien (1) es una reacción redox, en Química nunca se la propone como ejemplo de este tipo de reacción. Tampoco he visto que la reacción se represente mediante dos semiecuaciones, la del oxidante y la del reductor como es habitual en este tipo de reacción. Por ello, no se pone de manifiesto que se produce un intercambio de electrones, aunque se debe dar por supuesto. En Biología, en cambio, este intercambio de electrones tiene una gran importancia y también las semireacciones redox; se utiliza la bonita metáfora de ‘cascada de electrones’ para dar razón de la reducción final del oxígeno en las reacciones aerobias.

Si comparamos las Figuras 1 y 2 podemos ver que el esquema ‘químico’ del CHEMs (fig. 1) es más sencillo. Empieza por ácido acético, más familiar para los químicos que la AcetilCoA con la que se inicia el ciclo de Krebs. En efecto, el grupo acetilo (que proviene de las primeras reacciones de oxidación de la glucosa) es el que interviene en las reacciones y, de hecho, el ácido acético también lo proporciona. Sin embargo, con ello nos olvidamos, en Química, de la coenzima y de su transformación. Las reacciones que acompañan a la figura en el CHEMs son 7, consecutivas, todas sencillas y fáciles de igualar, algunas de los cuales proceden con desprendimiento de energía. El resultado global del ciclo es que el ácido acético se oxida y forma CO₂ y H₂O, y se obtiene de nuevo el ácido acético (el grupo acetilo)



¹ Figura tomada de <https://cerebromedico.com/ciclo-krebs/>

Globalmente, 2 moles de ácido acético con dos moles de oxígeno forman dos moles de CO₂ y dos moles de H₂O.

No aparecen ni electrones ni enzimas; no se habla de NAD⁺, FAD, NADH y FADH₂, solo se hace una vaga referencia, en el texto que acompaña al esquema, a que el proceso está catalizado por enzimas. Tampoco se destaca la gestión de la energía mediante la transformación reversible, paso a paso, del ATP- ADP, interesantísima, como ya se ha dicho si se entiende bien la función del agua que recibe el grupo P y el significado de la doble flecha. Viendo la Figura 1 se puede olvidar que todo ello tiene que ver con las células, porque no se habla de ellas.

La Figura 2 muestra la complejidad del proceso biológico, que se produce en las células vivas y no en el laboratorio. Pero no es fácil interpretarlo, desde un punto de vista de la clase de química. El ciclo empieza por acetilCoA: el grupo acetilo se incorpora al ciclo, la CoA se transforma a HSCoA. En este esquema sí que se muestra el intercambio de electrones y aparecen moléculas nuevas, muy complejas que los transportan junto con los H⁺ (NAD⁺-NADH, FAD-FADH₂).

El acetilCoA ingresa en el ciclo de Krebs, "se combina... se producen intercambios con agua y enzimas y formación de 2 CO₂ y NADH hasta formar de nuevo el ácido oxalacético, que se combina con acetilCoA y empieza un nuevo ciclo. Se puede considerar que, globalmente, el acetil de acetilCoA se ha oxidado a 2 CO₂."

El ciclo está explicado con detalle, pero la reacción global no es la misma que en el ciclo de la Figura 1; no se habla del O₂, tampoco del agua y resulta más difícil relacionar el proceso con la ecuación (1). Las ecuaciones igualadas propias del lenguaje químico no pueden representar esta complejidad y se adaptan al proceso biológico global.

¿Qué pasa realmente? Resulta que la reducción del oxígeno no se produce en el ciclo de Krebs, sino que tiene que ver con NADH i moléculas similares. Todo ello es bien conocido por los profesores de Biología, que pueden situar estos procesos en diferentes lugares de la célula. Pero en la clase de Química se ignora, porque no corresponde a su tradición, no se ocupa de la vida, solo de las ecuaciones químicas bien igualadas. Pero este descuido tiene consecuencias negativas para que pueden crear errores conceptuales tanto en la clase de Biología como en la de Química.

Por ejemplo, sería muy interesante estudiar en la clase de química las semireacciones reversibles en las que intervienen NAD⁺ i NADH



Es un buen ejemplo reacciones en las que un H de la molécula orgánica se separa de ella como H⁺ y deja su electrón en la molécula reducida

Las sustancias NAD⁺, FAD, NADH y FADH₂ resultan misteriosas para los químicos, especialmente la primera, que es un catión. ¿Cuál es el anión que la acompaña? A pesar de

la complejidad de la fórmula del catión NAD^+ en la clase de Química se podría explicar lo esencial: que se trata del catión de una sal de amonio cuaternario, y ha de haber un anión que compense la carga. Que el catión se reduce porque hay un dador de electrones que se oxida... aunque cuesta identificarlo, en el ciclo.

La formación de H_2O , que forma parte de la reacción global según la Figura 1 pero que no se identifica claramente en la fig.2, requiere la reducción del oxígeno según un proceso complejo.

El NADH y FADH_2 que se han formado vuelven a ceder los H^+ y los electrones a un conjunto de proteínas semejante a la hemoglobina, con átomos de metales de transición de oxidación variable, que se van pasando los electrones en reacciones redox consecutivas hasta que finalmente reducen al oxígeno.

La reducción del O_2 se representa en la semireacción:



De nuevo, la Química se pregunta: ¿Quién da los electrones? ¿Es reversible esta reacción?

Muchos estudiantes van a confundir esta semireacción con la formación de agua a partir de H_2 y O_2 , que es un fenómeno completamente diferente, ya que es una reacción completa. El comportamiento reductor del NADH y de otros reductores bioquímicos es muy interesante. En la clase de Química se podría disfrutar con ello y, a la vez, maravillarse por la gestión admirable de los procesos metabólicos en las células. Pero las y los alumnos podrían confundirse porque en Química se asocia el H^+ a las reacciones de ácido – base.

Contemplar esta panorámica compleja, metafórica, del 'flujo de electrones portador de energía', debería acercarnos al 'cacahuete que se come', que parece alejado de las complicadas fórmulas pero que es lo que importa a la ciencia escolar. Porque debemos recordar que el ciclo del que hablamos no es un auténtico ciclo

El acetilCoA desaparece, se oxida a dos CO_2 y se reduce NAD^+ , en cada ciclo ingresa un nuevo acetilCoA.

Este nuevo acetil procede del alimento (simplificando, de la glucosa). Puede parecer que esta aclaración es innecesaria, pero la palabra 'ciclo' y la representación gráfica que lo acompaña puede 'tomar vida propia' y desconectar del fenómeno que se está representando que es, ni más ni menos, la necesidad de comer cada día para que las células hagan su trabajo, del que las reacciones del ciclo de Krebs es una parte.

¿Sería posible un esquema del ciclo de Krebs que atendiera tanto a la complejidad de los procesos celulares como a las ideas clave relacionadas con las fórmulas químicas?

Reflexión final

Para poder hablar un mismo lenguaje con significado en las clases de Química y de Biología, la actividad científica escolar ha de ser, a la vez, química y biológica, según sean las situaciones a tratar y los objetivos de aprendizaje. El diálogo entre ambas disciplinas para generar el lenguaje adecuado para la ciencia escolar no solo es posible, sino que es imprescindible.

La ciencia escolar debe buscar la idea más simple para un mundo complejo. Necesita, para ello, situaciones que sirvan de ejemplo, gracias a las cuales las ideas se puedan comunicar de la manera más inteligible posible. Se puede hablar del yogur, del carbón en la lechuga y en la madera, del cacahuete... desde la Química y desde la Biología. Quizás las palabras y símbolos no serán las mismas cuando se quiera introducir la masa atómica (por ejemplo) que cuando se hable del carbono en la madera. Pero en todos los casos, el lenguaje ha de ser adecuado a lo que se quiere decir, y las palabras y símbolos introducidos enriquecen la comprensión de lo que se está viviendo, reconociéndose, quizás, incompletos pero adecuados para narrar lo que pasa.

Empezar por el Modelo 'Ser vivo', diferenciado del Modelo Cambio químico permite comprender la importancia de la organización a base de células que viven, mueren, se reproducen, interaccionan, se alimentan, se comunican unas con otras. ¿Cómo lo hacen, las células, para vivir? A partir de este problema, podemos hablar de metabolismo (que requiere transformaciones de los materiales, aquí la Q aporta ideas), de membranas celulares (que no son como una pared, sino que interaccionan...viven) y de difusión a través de ellas, de los materiales que permiten que determinados caracteres se puedan heredar..

La alimentación debería ser un tema clave en el currículo, con todo lo que comporta: los alimentos, la función de nutrición del ser vivo, la energía que involucra, la fotosíntesis. Con el estudio de los alimentos y si recordamos que proceden de seres vivos se puede acceder al conocimiento de las principales biomoléculas -que no viven- claro está: los azúcares (la sacarosa, el almidón, la celulosa), las grasas (la mantequilla, la manteca), las proteínas (el requesón, la clara de huevo) ... y también del agua, imprescindible para la vida.

La confluencia que buscamos requiere que la Química un poco más Biológica (la manzana no se transforma porque se oxide, la leche no se transforma en yogur debido a las propiedades de la lactosa, en el aire no hay sólo oxígeno y nitrógeno, también hay microorganismos). La Química, ha de ayudar a que las y los alumnos imaginen una célula acuosa, espesa, conductora de la electricidad debido a los iones que están disueltos, encerrada por una membrana que no es membrana, por la que entran y salen materiales, que responde a los estímulos de la vida. Desde la Biología se ha de simplificar el abordaje bioquímico para destacar lo esencial, para que las fórmulas no oscurezcan los fenómenos, sean adecuadas a lo que se quiere explicar.

En resumen, la búsqueda del lenguaje para enseñar mejor la Química y la Biología es también una invitación a evitar el embrujo del lenguaje de nuestras disciplinas, que nos

parece sublime y portador de ciencia y experiencia. Pero que no corresponde a la ciencia y a la experiencia escolar y debe ser reinventado adecuadamente.

Referencia

CHEM. (1972). *Química, una ciencia experimental*. Barcelona: Reverté.

Cuello, J. y Domínguez, A. (1990). *Bioma, libro de texto bachillerato*. Barcelona: Barcanova.

Wittgenstein, L. (1958). *Investigaciones filosóficas*. Barcelona: Edicions 62