



EXTRACCIÓN DE ADN CON MATERIAL COTIDIANO: DESARROLLO DE UNA ESTRATEGIA INTERDISCIPLINAR A PARTIR DE SUS FUNDAMENTOS CIENTÍFICOS

Resumen

Es comúnmente aceptado que la solución a los principales problemas a los que se enfrenta la humanidad requiere una visión sistémica. Sin embargo, la organización actual del sistema educativo se caracteriza por un enfoque reduccionista, en el que prima la utilización exclusiva de los conceptos propios de cada materia. La adquisición de esta visión sistémica es particularmente importante para los futuros profesores de Educación Primaria y Secundaria, ya que es en estas etapas en las que comienzan a dividirse las materias en disciplinas alejándose de una visión global de la ciencia. Con el fin de promover una perspectiva sistémica de la ciencia, en este trabajo desarrollamos una propuesta didáctica interdisciplinar a partir de los fundamentos científicos relacionados con la extracción de ADN con material cotidiano. Esta actividad, dirigida a futuros docentes, permite poner en práctica conceptos básicos de Química, Física y Biología, mostrando la naturaleza interdisciplinar de la ciencia, al mismo tiempo que ayuda a introducir, y fomentar la discusión, de los aspectos sociales y éticos relacionados con sus aplicaciones biotecnológicas.

Palabras clave: Interdisciplinariedad; Ciencia-Tecnología-Sociedad; Biotecnología.

DNA EXTRACTION USING HOUSEHOLD MATERIALS: DEVELOPMENT OF AN INTERDISCIPLINARY STRATEGY BASED ON ITS SCIENTIFIC FUNDAMENTALS

Abstract

As it is commonly accepted, a systemic view is required to solve the major problems of mankind. However, the current organization of the educational system provides a reductionist approach to specific concepts of each field. Good command of systemic view is particularly relevant for prospective teachers of Primary and Secondary Schools, since they should be able to transmit a global perspective of science in stages of education in which courses are stated to be divided in disciplines. In this contribution, we present an interdisciplinary didactic proposal based on the scientific fundamentals behind DNA extraction using household materials. This activity, addressed to prospective teachers, provides a systemic perspective of science by implementing basic concepts of Chemistry, Physics, and Biology while facilitating to introduce and encourage discussion of social and ethical aspects of biotechnology.

Key words: Interdisciplinarity; Science-Technology-Society; Biotechnology.

Autores: José María Marcos-Merino,¹ Rocío Esteban Gallego¹ y Jesús Gómez Ochoa de Alda^{2*}

¹ Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales y las Matemáticas, Facultad de Educación, Universidad de Extremadura. Badajoz (España).

² Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales y las Matemáticas, Facultad de Formación del Profesorado, Universidad de Extremadura. Cáceres (España). *Autor para correspondencia: ochoadealda@unex.es



EXTRACCIÓN DE ADN CON MATERIAL COTIDIANO: DESARROLLO DE UNA ESTRATEGIA INTERDISCIPLINAR A PARTIR DE SUS FUNDAMENTOS CIENTÍFICOS

Introducción

La ciencia trata de explicar el mundo que nos rodea y, para ello, se divide en distintas disciplinas. En el sistema educativo actual predomina esta visión reduccionista, en la que cada disciplina explica solo los contenidos que le competen, adoleciendo de ejemplos de actividades interdisciplinares en las que se integren conocimientos diversos, y con las que se desarrolle una perspectiva global o sistémica (Brewer y Smith, 2011; Milare y Alves Filho, 2008; Stone, 2014). Uno de los principales retos educativos actuales es la integración de los aspectos de Ciencia, Tecnología y Sociedad (CTS). La introducción de estas interrelaciones en las clases de las ciencias requiere de un conocimiento científico transversal, que engloba desde los fundamentos científicos experimentales hasta los recientes desarrollos tecnológicos y su impacto social (Gutlerner, 2015). Esta perspectiva sistémica es fundamental porque los principales problemas a los que se enfrenta la sociedad actual no pueden ser resueltos por disciplinas independientes (McCright *et al.*, 2013). Así, es necesario que la enseñanza de las ciencias adopte un nuevo enfoque más integrador, que ofrezca a los estudiantes experiencias en las que sea necesaria la aplicación de principios interdisciplinares y los vincule a los problemas del mundo real (Labov *et al.*, 2010). Esta enseñanza es más efectiva si se hace partícipe al alumno, de forma activa, en la búsqueda de posibles soluciones (Membiela, 2005), a través de la implementación de diferentes innovaciones educativas que se alejen de los modelos transmisivos tradicionales.

Una de las prioridades actuales de la enseñanza de las ciencias es preparar a los alumnos como ciudadanos responsables, que tienen que tomar decisiones en asuntos relacionados con la ciencia y la tecnología en la sociedad actual (Membiela, 2005; Prieto *et al.*, 2012). Los alumnos deben estar preparados para enfrentarse a distintas controversias socio-científicas presentes en su entorno, para lo cual es necesaria una sólida alfabetización científica y una perspectiva sistémica. Temas como el cambio climático, las nuevas epidemias o la Biotecnología permiten a los docentes enseñar a los estudiantes a integrar principios científicos con sus implicaciones éticas y sociales. Estas experiencias constituyen al mismo tiempo una oportunidad para integrar educación e investigación, ya que frecuentemente no se contempla una única solución a los problemas planteados (Van Hecke *et al.*, 2002). Así, la enseñanza de las ciencias debe avanzar hacia perspectivas que permitan que el alumnado perciba el beneficio y la utilidad que les proporciona la ciencia.

La extracción de ADN (ácido desoxirribonucleico) con material cotidiano es una actividad práctica que se realiza en eventos de divulgación científica, como la Noche de los Investigadores o la Semana de la Ciencia, y forma parte de las prácticas realizadas en institutos y facultades. Habitualmente esta actividad se centra en mostrar la sencillez de uno de los métodos clave de la Biotecnología y en resaltar su importancia en servicios biotecnológicos, como el diagnóstico de enfermedades o el análisis forense. Se trata de una práctica interdisciplinar, ya que su comprensión implica relacionar conceptos pertenecientes a Química, Física y Biología. Además, a través de la introducción de las



técnicas de Ingeniería Genética y las aplicaciones biotecnológicas, esta práctica sirve como punto de partida para resaltar las interacciones CTS.

Sin embargo, no se suele explicar en detalle, ni se encuentra en la literatura, información sobre el fundamento químico, físico y biológico en el que se basa el procedimiento de extracción. Esto trae como consecuencia que la actividad sea interpretada más como una muestra de pericia que de educación científica. Por ello, el objetivo del presente trabajo es desarrollar una estrategia didáctica interdisciplinar en la que se traten tanto los fundamentos químicos, físicos y biológicos de la extracción de ADN con material cotidiano como las relaciones CTS, partiendo de las interacciones de la Biotecnología con la vida cotidiana de los alumnos. Esta estrategia constituye una herramienta didáctica fundamental para el desarrollo de metodologías innovadoras orientadas hacia una visión sistémica de la ciencia. La propuesta didáctica aquí mostrada ha sido implementada y validada durante tres cursos académicos, bajo una metodología en la que se emplean los fundamentos científicos de la extracción de ADN para guiar el diálogo con los estudiantes, en una actividad de aprendizaje activo que sigue el modelo didáctico de enseñanza mediante investigación dirigida (Esteban *et al.*, 2019). Esta misma propuesta didáctica ha servido para mostrar que durante su desarrollo en el laboratorio se modifican algunas emociones descritas por los alumnos y que dichas emociones se asocian con su aprendizaje (Marcos-Merino *et al.*, 2016).

Procedimiento de extracción de ADN

Aunque existen diferentes variantes del protocolo de extracción de ADN con material cotidiano, en este trabajo se recoge uno de los más sencillos y comúnmente utilizados (Tabla 1). Un ejemplo de este protocolo de extracción puede encontrarse en el siguiente vídeo: https://www.youtube.com/watch?v=PkjFM_UVxk

Materiales	Proceso
<ul style="list-style-type: none"> - Muestra biológica (ej. un tomate) - Agua destilada o mineral - Detergente líquido lavavajillas - Sal común - Bicarbonato sódico - Alcohol al 96 % frío (a -20 °C) - Hielo - Batidora - Colador - Recipiente estrecho y transparente que permita ver su contenido 	1. Preparar la denominada “disolución de lisis” mezclando medio vaso de agua fría, una cucharadita rasa de sal, tres cucharaditas rasas de bicarbonato sódico y dos cucharaditas de detergente lavavajillas. Mantener en hielo hasta su utilización
	2. Triturar la muestra de origen vegetal, tomate, con la batidora y un poco de agua destilada fría
	3. Mezclar un volumen del vegetal batido con dos volúmenes de la disolución de lisis
	4. Agitar vigorosamente durante unos dos minutos y dejar reposar en frío hasta que desaparezca más de la mitad de la espuma
	5. Filtrar la mezcla por un colador para retener los restos tisulares y obtener el denominado “caldo molecular”, en el que se encuentran los restos celulares de pequeño tamaño y las biomoléculas como el ADN
	6. En un vaso estrecho y transparente, u otro recipiente similar a un tubo de ensayo, añadir un volumen de caldo molecular y dos volúmenes de alcohol frío (a -20 °C), dejando resbalar lentamente este por la cara interna del recipiente para evitar que se mezclen
	7. Observar cómo se forman unos filamentos blancos y salinos (en los que se encuentra el ADN) en la interfase agua-alcohol
	8. Recolectar el ADN con un palillo y depositarlo en un frasco
La extracción de ADN es óptima si todo el proceso se realiza en frío: utilizando agua fría, a 4-8 °C (temperatura de una nevera), y colocando en un recipiente con hielo tanto los recipientes como las disoluciones utilizadas.	

Tabla 1.
Protocolo de extracción de ADN con material cotidiano.



Fundamento científico de la extracción de ADN con material cotidiano

Identificación de los conceptos del área de Biología

La actividad comienza con la selección y troceado de una muestra biológica, que puede ser un vegetal (tomate), un hongo (champiñones), una muestra animal (saliva humana) o bacteriana. Este paso sirve para recordar que el material hereditario, ADN, es un atributo común a todos los seres vivos y a algunos agentes acelulares, como los virus. Esto permite abordar la diversidad de los seres vivos y sus niveles de organización (órgano –como el tomate completo–, tejidos –como los observados a partir del tomate en trozos– y células) e introducir el concepto de célula como unidad funcional y estructural de los seres vivos. Además, se puede abordar la localización del material genético: ¿Se encuentra en todos los tipos de células? ¿Se encuentra en algún tejido en particular? ¿Todas las células tienen ADN? Este diálogo permite responder a la pregunta: ¿De dónde se puede extraer ADN? Dado que el ser humano es uno de los temas centrales en todos los niveles educativos, este momento es adecuado para recordar que las células humanas más numerosas, los eritrocitos, no tienen núcleo celular (Sender *et al.*, 2016), lo que permite abordar el concepto de diferenciación celular.

Posteriormente se puede tratar la estructura celular, recordando que todas las células están rodeadas por una membrana grasa y además, en las células de plantas, hongos y bacterias, por una pared celular rígida. Conocer la composición y características de estas dos estructuras es imprescindible para comprender y poder iniciar el proceso de extracción: la composición grasa de las membranas y la rigidez de la pared celular determinan el método de ruptura celular idóneo. Si las células que forman la muestra tienen pared celular son más duras y, por tanto, es necesario utilizar un método mecánico para romperlas, como una batidora o un mortero. Mientras, que si solo tienen membrana plasmática, como las células animales, no es necesario realizar este paso y basta con utilizar detergente y agitar vigorosamente para disolverlas.

Las membranas biológicas, tanto la citoplasmática como las de los orgánulos celulares, están formadas fundamentalmente por lípidos que se organizan en forma de bicapa (Figura 1) debido a su carácter anfipático, concepto químico que se aborda en el siguiente apartado. Esta característica grasa de las membranas hace que un detergente sea una sustancia adecuada para disgregarlas. La homogeneidad en la composición química de las membranas no se mantiene en las paredes celulares, aunque sí su carácter rígido. Así, diferentes organismos presentan distinto componente principal en sus paredes celulares: quitina los hongos, peptidoglicano o mureína las bacterias y celulosa con lignina los vegetales.

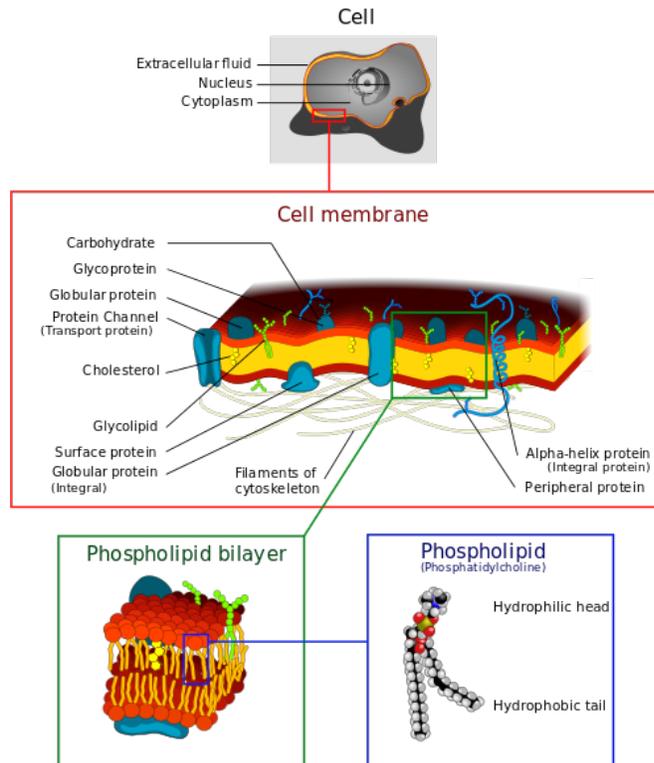


Figura 1. Estructura de la bicapa lipídica que constituye las membranas biológicas (Gu, 2015).

Otros conceptos biológicos a desarrollar durante la práctica son dos aspectos muy relevantes de la molécula de ADN: su localización intracelular y su estructura (Llach y Vila, 2017). El ADN se encuentra localizado principalmente en el núcleo celular, pero, en los organismos eucariotas, también está en las mitocondrias de animales, plantas y hongos, y en los cloroplastos de las plantas. Estos tres compartimentos celulares también están delimitados por membranas grasas, por lo que se pueden disolver utilizando detergente. Respecto a su estructura, el ADN tiene carga neta negativa debido a que los fosfatos, que forman parte de los nucleótidos que lo componen, quedan dispuestos hacia el exterior de la doble hélice (Figura 2). Conocer esta característica es esencial para comprender por qué el ADN es soluble en agua.

Finalmente, otro concepto biológico a comentar es el de enzima, o proteína que cataliza las reacciones químicas en los sistemas biológicos. La actividad enzimática es sensible a la temperatura y el pH, entre otros factores, por lo que ambos deben ser tenidos en cuenta en el proceso de extracción. Para optimizar la extracción de ADN el proceso debe realizarse a baja temperatura, lo que se consigue empleando agua fría y manteniendo los recipientes utilizados en una bandeja con hielo. La baja temperatura ralentiza la actividad enzimática, evitando que las moléculas biológicas, como el ADN, sean degradadas tras la ruptura de las membranas celulares que conlleva la liberación de los componentes subcelulares. En este punto cabe recordar que los lisosomas (en células animales) y las vacuolas digestivas (en hongos y vegetales) contienen enzimas que al ser liberadas provocan la degradación de las biomoléculas.

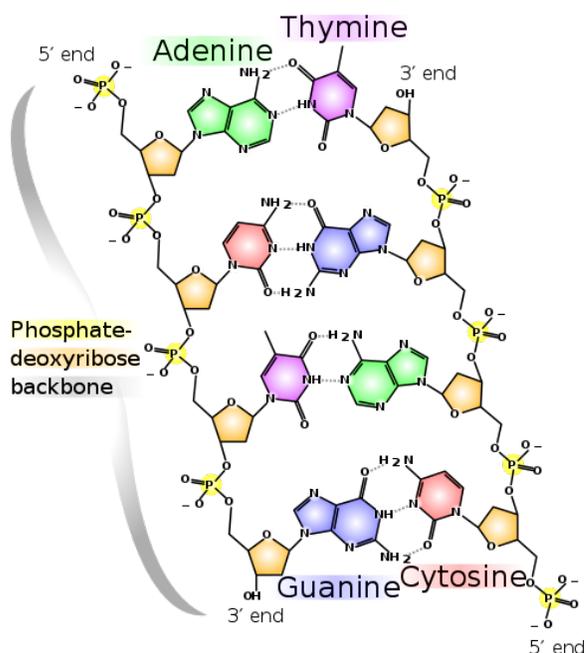


Figura 2. Estructura de la doble hélice de ADN. Los aniones fosfatos quedan dispuestos hacia el exterior de la molécula (Richards, 2016).

Identificación de los conceptos del área de Química

El primer concepto químico a tratar en la práctica es el de las cargas eléctricas de las moléculas, ya que estas son responsables de las interacciones electrostáticas. Cuando en una molécula son más numerosos los protones que los electrones su carga neta es positiva y se denomina ion positivo o catión. Sin embargo, cuando el número de electrones es superior al de protones, su carga neta es negativa y se denomina ion negativo o anión. Por otra parte, las moléculas eléctricamente neutras, con igual número de protones y electrones, según la distribución de cargas pueden ser polares (presentan una ligera separación de carga positiva y negativa en diferentes partes de la molécula), apolares (en las que no aparece esta distribución de cargas) o anfipáticas (con una región polar y otra apolar, como los lípidos de las membranas biológicas) (Gillespie, 2006). En un disolvente, la carga y polaridad de las moléculas es importante ya que le confiere propiedades de solubilización de diferentes solutos (Ortolani *et al.*, 2012).

En la disolución de lisis el agua actúa como disolvente, formando una mezcla homogénea, ya que las moléculas polares que la forman establecen interacciones electrostáticas (a través de puentes de hidrógeno) unas con otras y con todas las moléculas cargadas o polares. Para explicar el concepto de disolución polar se puede recurrir a la disolución de cloruro sódico (NaCl) o sal común en agua. La sal es una red cristalina formada por átomos de Cl⁻ y Na⁺, unidos mediante un enlace iónico (atracción electrostática entre los iones de distinto signo). El agua actúa sobre la sal estableciendo puentes de hidrógeno con el Cl⁻ y el Na⁺, venciendo las fuerzas intermoleculares que los mantienen unidos e hidratándolos (Ortolani *et al.*, 2012) (Figura 3). Lo mismo ocurre con el ADN, que forma puentes de hidrógeno con el agua a través de las cargas negativas de sus fosfatos. De esta manera, se puede comprender que el ADN y los iones Cl⁻ y Na⁺ permanecerán disueltos mientras estén interaccionado electrostáticamente con el agua, y dejarán de estar disueltos si, en lugar de interaccionar con el agua, lo hacen con los

iones opuestos (el Cl^- con el Na^+ y el ADN con el Na^+), formado de nuevo una red cristalina. Este proceso es necesario para comprender por qué el ADN es soluble en agua y cómo, posteriormente, se altera su solubilidad al añadir alcohol.

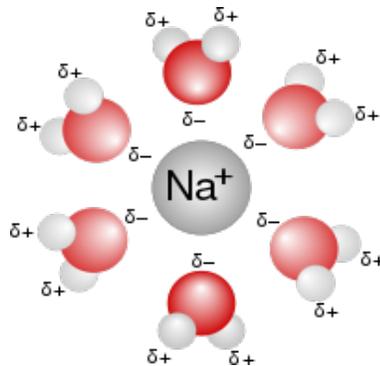


Figura 3. Disolución polar de Na^+ en agua. Cada catión Na^+ queda rodeado de moléculas de agua debido a la ligera carga negativa de estas (Keall, 2008).

En la disolución de lisis, la sal común se encuentra en una concentración saturante (en exceso respecto al disolvente), lo que aumenta la fuerza iónica: debilita las interacciones iónicas entre biomoléculas (como entre el ADN y las proteínas asociadas a él) y aumenta las interacciones hidrofóbicas entre proteínas, provocando su coagulación (Cohn, 1925). El papel de la sal común también es clave en la fase de precipitación del ADN, que se produce tras añadir lentamente el alcohol frío sobre la pared de un recipiente estrecho en el que se encuentra el caldo molecular. En la interfase etanol-agua, las moléculas de alcohol se unen a las de agua, desplazando así tanto el agua que interacciona con el ADN y como la que interacciona con los iones de Na^+ , y que hacía posible su disolución. Este desplazamiento permite que algunos iones Na^+ se unan a los iones fosfato del ADN, neutralizando su carga, perdiendo su solubilidad y facilitando la precipitación del ADN como filamentos blancos (color debido a la red cristalina que forma con el NaCl).

Continuando con el concepto de polaridad química, los fosfolípidos de las membranas celulares son el ejemplo de molécula anfipática más característico de los sistemas biológicos. Las moléculas anfipáticas en agua forman micelas o bicapas debido a la unión de sus partes apolares entre ellas y de sus partes polares con el agua (Figura 4). Estas bicapas lipídicas constituyen la estructura básica de las membranas biológicas. El detergente lavavajillas, otro de los componentes de la disolución de lisis, también está formado por moléculas anfipáticas.

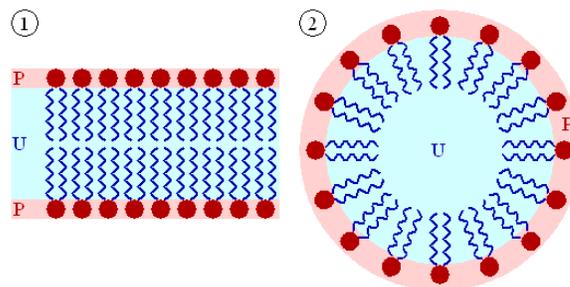


Figura 4. Estructuras formadas por moléculas anfipáticas en medio acuoso: bicapa (1) y micela (2). En ambos casos las regiones polares (P) se mantienen en contacto con el agua, mientras que las regiones apolares (U) contactan entre ellas (Gilbert, 2003).

Esta característica le permite solubilizar la grasa a través de la formación de micelas (Novelo-Torres y Gracia-Fadrique, 2005): estructuras moleculares en las que las partes apolares de las moléculas de detergente interactúan con la grasa, disolviéndola y manteniéndola en suspensión, mientras que las partes polares interactúan con el agua. Cuando el detergente disuelve las membranas biológicas, se introduce entre los

fosfolípidos de las membranas, rompiéndolas y formando micelas solubles (Figura 5). Con esta explicación, se comprende cómo se lisan las membranas grasas y se liberan las biomoléculas, entre ellas el ADN.

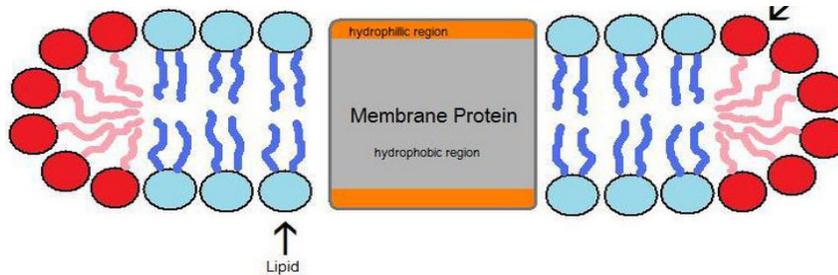


Figura 5. Micela formada por el detergente al disolver los lípidos de una membrana biológica (Krcarras, 2008).

La disolución de lisis también contiene bicarbonato sódico. Para comprender su papel en el proceso de extracción de ADN es necesario abordar dos conceptos químicos clave: el concepto de pH y el concepto de *buffer*, tampón o amortiguador químico. El pH es la medida de la concentración de protones de una disolución acuosa, que determina el grado de acidez o alcalinidad de esta: las soluciones ácidas (pH=1-7) presentan una mayor concentración de protones que las básicas o alcalinas (pH=7-14). En las células, es muy importante mantener el pH dentro de un intervalo para preservar la estabilidad y funcionalidad de sus biomoléculas. Por esta razón, los líquidos fisiológicos contienen tampones que mantienen el pH constante ante la formación o adición de ácidos o bases. Los tampones son mezclas de un ácido débil (una sustancia que disocia protones pero que no se ioniza por completo, como el ácido carbónico, H_2CO_3) y su base conjugada (esta misma sustancia ionizada, como el anión bicarbonato, HCO_3^-), que permiten estabilizar el pH en valores próximos a su pKa (una medida de la constante de disociación del ácido). El pKa del H_2CO_3 es 6.1 a temperatura fisiológica. Esta mezcla de H_2CO_3 y HCO_3^- constituye el tampón bicarbonato sódico (Figura 6), que juega un papel importante en el mantenimiento del pH de diferentes sistemas biológicos, desde los océanos a la sangre y otros fluidos fisiológicos. Así, en la práctica de extracción, el bicarbonato sódico actúa manteniendo el pH constante (pH=6.5, aproximadamente), evitando la degradación de las biomoléculas como el ADN. El intervalo de pH que regula un amortiguador depende de su cantidad (por eso se añade a la disolución de lisis bicarbonato sódico en exceso).

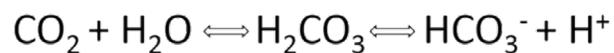


Figura 6. Disociación del ácido carbónico dando lugar al anión bicarbonato y un protón (derecha) y a dióxido de carbono y agua (izquierda).

Identificación de los conceptos del área de Física

Un concepto clave en Física es el de densidad o cantidad de masa en un determinado volumen de sustancia. Cuando se juntan compuestos inmiscibles de diferentes densidades, los compuestos menos densos quedan encima de los más densos. Si los compuestos son miscibles, es necesario que no se mezclen al juntarlos, para que queden separados por densidades. Conocer esto permite entender por qué, al añadir el alcohol en la última fase del proceso de extracción, este queda por encima del caldo molecular. El alcohol es menos denso que el agua, por lo que si se añade alcohol con delicadeza sobre el agua para evitar que se mezclen, el alcohol se mantendrá flotando sobre el agua. Es muy importante dejar resbalar lentamente el alcohol por la cara interna del



recipiente, para que quede en la superficie del agua y no se mezcle con ella, ya que ambos compuestos son miscibles. Además, en general, la densidad de una sustancia aumenta a medida que la temperatura disminuye. Así, el alcohol añadido debe estar frío (a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, temperatura de un congelador), ya que al contactar con el agua la enfriará, haciendo que ésta sea más densa y evitando, por tanto, que se mezclen el alcohol y el agua. Mencionar este fenómeno da pie a discutir una característica fundamental del agua para la biosfera: aunque su densidad aumenta a medida que desciende la temperatura hasta los $2-4\text{ }^{\circ}\text{C}$, su densidad disminuye a medida que la temperatura desciende hasta su punto de congelación ($0\text{ }^{\circ}\text{C}$). Por esta razón el hielo flota sobre el agua líquida, permitiendo el desarrollo de la vida bajo ríos, lagos y mares con superficies heladas.

Otro concepto necesario para comprender el fundamento científico de la extracción de ADN es la clasificación de los fenómenos físico-químicos en función de si liberan o absorben energía. Así, aquellos procesos, generalmente espontáneos, en los que se libera energía en forma de luz o calor se denominan exotérmicos, como la combustión o la disolución de ácido sulfúrico en agua; mientras que en los procesos endotérmicos el sistema absorbe energía, como en la fotosíntesis. Además, es preciso abordar cómo varía la solubilidad de los gases disueltos en líquidos en relación a la temperatura: conforme aumenta la temperatura disminuye la solubilidad de éstos (Ceretti y Zalts, 2000). La formación de una red cristalina de sal y ADN, y su consiguiente precipitación, es un proceso exotérmico. El calor liberado hace que aumente ligeramente la temperatura, lo que resulta en una disminución de la solubilidad del oxígeno del agua y en la formación de burbujas. Estas burbujas se observan junto a los filamentos blancos en los que precipitan la sal y el ADN (en la zona en la que se produce la reacción exotérmica), haciendo que los filamentos de ADN floten.

Ciencia, Tecnología y Sociedad en la extracción de ADN con material cotidiano

El estudio del ADN es uno de los campos de la enseñanza en los que más se pueden resaltar las interacciones CTS, ya que las múltiples aplicaciones biotecnológicas y las técnicas de Ingeniería Genética están presentes en la vida diaria de los alumnos, fundamentalmente a través de los medios de comunicación. Así, son frecuentes noticias sobre alimentos transgénicos de mayor calidad nutricional, plantas resistentes a plagas, enfermedades o a variaciones extremas en las condiciones ambientales (temperatura, salinidad o sequía); sobre diagnóstico prenatal, terapia génica, pruebas de paternidad, investigación forense, control de calidad alimentaria, generación de organismos modificados genéticamente para producir sustancias químicas (fármacos, vacunas o antibióticos) o que recuperen ambientes naturales contaminados...

Además, abordar estos temas en el aula permite tratar algunas implicaciones éticas que conlleva el uso de estas técnicas, y que también llegan al entorno de los alumnos, como los límites de la clonación, la generación de embriones modificados genéticamente, la privacidad de la información genética o el aumento del control del mercado alimentario por las grandes multinacionales biotecnológicas.



Conclusión

La extracción de ADN con material cotidiano es una propuesta práctica que permite desarrollar una estrategia didáctica interdisciplinar ya que, como se ha mostrado en el presente trabajo, comprender por qué y cómo se puede extraer ADN de un organismo implica relacionar conceptos explicados por varias disciplinas científicas. Esta actividad permite poner en práctica conceptos básicos de Química, Física y Biología mostrando la naturaleza interdisciplinar de la ciencia, al mismo tiempo que constituye una oportunidad para transmitir de manera transversal el conocimiento científico, desde sus fundamentos científicos hasta los recientes desarrollos biotecnológicos, su impacto social y sus implicaciones éticas.

Conflicto de intereses

Los autores de este artículo declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Fuente de financiación y agradecimientos

Este estudio ha sido financiado por el Proyecto de Investigación EDU2016-77007R del Ministerio de Economía y Competitividad de España y por la Ayuda a Grupos GR15009 de la Junta de Extremadura y el Fondo de Desarrollo Regional. José María es beneficiario de una beca FPU15/02737 del Ministerio de Educación, Cultura y Deportes de España.

Referencias bibliográficas

- Brewer, C. y Smith, D. (2011). *Vision and change in undergraduate biology education: a call to action*. Washington DC, USA: American Association for the Advancement of Science.
- Ceretti, H. y Zalts, A. (2000) *Experimentos en contexto. Química. Manual de Laboratorio*. Buenos Aires, Argentina: Prentice Hall.
- Cohn, E. (1925). *The physical chemistry of the proteins*. *Physiological Reviews*, 5(3), 349-437.
- Esteban, R. Marcos-Merino, J. M. y Ochoa de Alda, J. A. G. (2019). *Extracción de ADN con material cotidiano: diseño, implementación y validación de una intervención activa interdisciplinar*. *Educación Química*, 30(1), 42-57.
- Gilbert, S. (2003). Lipid bilayer and micelle [Figura]. Recuperado de https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Lipid_bilayer_and_micelle.png
- Gillespie, R. (2006). *El enlace químico y la geometría molecular*. *Educación Química*, (17), 264-273.
- Gu, T. (2015). Cell membrane detailed diagram [Figura]. Recuperado de https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cell_membrane_detailed_diagram_4.svg
- Gutlerner, J. (2015). *Beyond "publish or perish"*. *Science*, 350(6256), 49.
- Keall, D. (2008). Solvation of Na with water [Figura]. Recuperado de <https://en.wikipedia.org/wiki/Solvation>
- Krcarras (2008). Bicelleproteinmembrane [Figura]. Recuperado de <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bicelleproteinmembrane.jpg>
- Labov, J. Reid, A. y Yamamoto, K. (2010). *Integrated biology and undergraduate science education: a new biology education for the twenty-first century? CBE-Life Sciences Education*, 9, 10-16.



- Llach, M. y Vila, M. (2017). ¡Ha desaparecido un ratón! ¿Nos ayudáis a buscar al culpable? Análisis del impacto didáctico y emocional de un encargo ficticio. *Enseñanza de las ciencias*, 35(3), 151-173.
- Marcos-Merino, J. M. Esteban, R. y Gómez, J. A. (2016). Efecto de una práctica docente diseñada partiendo de las emociones de maestros en formación bajo el enfoque Ciencia, Tecnología y Sociedad. *Indagatio Didactica*, 8(1), 143-157.
- McCright, A. O’Shea, B. Sweeder, R. Urquhart, G. y Zeleke, A. (2013). Promoting interdisciplinarity through climate change education. *Nature Climate Change*, 3(8), 713-716.
- Membiela, P. (2005). Reflexión desde la experiencia sobre la puesta en práctica de la orientación ciencia-tecnología-sociedad en la enseñanza científica. *Educación Química*, 16(3), 404-409.
- Milare, T. y Alves Filho, J. (2010). Do ensino disciplinar à formação interdisciplinar da cidadania no Ensino de Ciências. *Educación Química*, 21(1), 53-59.
- Novelo-Torres, M. y Gracia-Fadrique, J. (2005). Concentración micelar crítica mediante la ecuación de absorción de Gibbs. *Educación Química*, 16(1), 63-67.
- Ortolani, A. Falicoff, C. Domínguez Castiñeiras, J. y Odetti, H. (2012). Aplicación de una propuesta de enseñanza sobre el tema «Disoluciones» en la escuela secundaria: Un estudio de caso. *Educación Química*, 23(2), 212-221.
- Prieto, T. España, E. y Martín, C. (2012). Algunas cuestiones relevantes en la enseñanza de las ciencias desde una perspectiva Ciencia-Tecnología-Sociedad. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 9(1), 71-77.
- Richards, C. (2016). DNA chemical structure [Figura]. Recuperado de https://commons.wikimedia.org/wiki/File:DNA_chemical_structure.svg
- Sender, R. Fuchs, S. y Milo, R. (2016). Revised estimates for the number of human and bacteria cells in the body. *PLoS Biol*, 14(8), 1-14.
- Stone, E. (2014). Guiding Students to Develop an Understanding of Scientific Inquiry: A Science Skills Approach to Instruction and Assessment. *CBE-Life Sciences Education*, 13(1), 90-101.
- Van Hecke, G. Karukstis, K. Haskell, R. McFadden, C. y Wettack, F. (2002). An integration of chemistry, biology, and physics: the interdisciplinary laboratory. *Journal of chemical education*, 79(7), 837-844.