



EXTRACCIÓN DE ADN CON MATERIAL COTIDIANO: DISEÑO, IMPLEMENTACIÓN Y VALIDACIÓN DE UNA INTERVENCIÓN ACTIVA INTERDISCIPLINAR

Resumen

Las prácticas tradicionales de ciencias, basadas en seguir instrucciones cerradas, no proporcionan resultados de aprendizaje satisfactorios. Esto se debe, en parte, a que no tienen una aplicación inmediata, carecen de una perspectiva interdisciplinar y el alumno no desarrolla un papel activo en su resolución. Una alternativa es su planteamiento como pequeñas investigaciones en las que los alumnos desarrollan su propio guion a través de preguntas elaboradas por el docente. Con el fin de aumentar el número de propuestas de prácticas activas, en este trabajo se describe y valida una intervención didáctica, la extracción de ADN con material cotidiano, centrada en el aprendizaje activo interdisciplinar. Esta práctica es muy atractiva para los alumnos de educación secundaria, bachiller o maestros en formación ya que, al desarrollarse bajo investigación dirigida, hace que los estudiantes participen en la búsqueda, interpretación y utilización de algunos fundamentos científicos de Química, Física y Biología. El análisis de la efectividad de la implementación de esta intervención durante 3 cursos académicos muestra que esta favorece el aprendizaje interdisciplinar.

Palabras clave: Aprendizaje activo, Investigación dirigida, Interdisciplinariedad, Ciencia-Tecnología-Sociedad y Biotecnología.

DNA EXTRACTION USING HOUSEHOLD MATERIALS: DESIGN, IMPLEMENTATION, AND VALIDATION OF AN INTERDISCIPLINARY ACTIVE INTERVENTION

Abstract

Traditional practical activities in science, based on following detailed instructions, do not provide satisfactory learning outcomes. This is due in part to the lack of effective applicability for students, the absence of an interdisciplinary perspective and the lack an active involvement of students in practice resolution. One alternative is to use an enquiry-based approach in which students research and elaborate its own protocol guided by teacher. In this contribution, we describe and validate an educational intervention focused on interdisciplinary active learning to increase the availability of practical activities for secondary and bachelor students as well as prospective teachers. An enquiry-based approach is followed to guide the process of DNA extraction using household materials. This activity gets students involved in finding, interpreting, and explaining some scientific fundamentals of Chemistry, Physics, and Biology. The effectiveness of the educational intervention was estimated during three successive academic years. Results support the hypothesis that this educational intervention favours interdisciplinary learning.

Key words: Active learning; Enquiry-based learning; Interdisciplinary; Science-Technology-Society; Biotechnology.

Autores: Rocío Esteban Gallego,¹ José María Marcos-Merino¹ 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: ochoadalda@unex.es



EXTRACCIÓN DE ADN CON MATERIAL COTIDIANO: DISEÑO, IMPLEMENTACIÓN Y VALIDACIÓN DE UNA INTERVENCIÓN ACTIVA INTERDISCIPLINAR

Introducción

Los trabajos prácticos en el área de ciencias mejoran las actitudes y el interés de los alumnos, y los motivan a aprender ciencias (Hofstein y Lunetta, 2004). Además, favorecen un conocimiento vivencial de los conceptos científicos y permiten el desarrollo de numerosas habilidades. Sin embargo, los resultados de las prácticas de laboratorio que habitualmente se realizan en institutos y facultades, basadas en seguir paso a paso instrucciones cerradas, proporcionadas por el profesor en un protocolo, no son satisfactorios (Reigosa y Jiménez, 2000). Ante esta situación, la enseñanza constructivista propone desarrollar prácticas en las que se considere a los alumnos como investigadores noveles, a través de la implementación del modelo didáctico de enseñanza mediante investigación dirigida. Numerosas investigaciones (Gormally *et al.*, 2009; Luckie *et al.*, 2004) han mostrado que las actividades experimentales concebidas como pequeñas investigaciones proporcionan mejores situaciones de aprendizaje. Así, la investigación dirigida es considerada actualmente una valiosa herramienta en todos los niveles educativos, especialmente en la formación inicial de los docentes (Chernicoff y Echevarría, 2012).

Las secuencias de enseñanza-aprendizaje bajo este modelo didáctico se basan en el planteamiento y resolución de problemas, consistentes en situaciones abiertas que exigen la búsqueda, mediante pequeñas investigaciones, de respuestas por parte de los alumnos, pero bajo la supervisión del profesor (Garritz, 2010). El profesor debe orientar la investigación de los alumnos y reforzar, matizar o cuestionar las conclusiones obtenidas por los mismos (Pozo y Gómez, 2013). Además, debe fomentar la comunicación y el diálogo entre los alumnos y entre estos y él mismo, poniendo así énfasis en el carácter social de este tipo de enseñanza. Para favorecer esta interacción se recomienda el trabajo en pequeños grupos (máximo 4 alumnos), potenciando así la dimensión colectiva y cooperativa del trabajo científico.

La extracción de ADN con materiales cotidianos es una práctica muy atractiva que se realiza habitualmente en institutos y facultades. Aunque requiere poner en práctica conceptos fundamentales de Química, Física y Biología, se ejecuta sin apenas discutir sus fundamentos, ya que normalmente es realizada siguiendo un sencillo protocolo proporcionado por los docentes. Si bien esto permite mostrar la sencillez de uno de los métodos clave de la biotecnología actual, limita su eficacia potencial en el proceso de enseñanza-aprendizaje, ya que el alumno no aprecia la aplicación interdisciplinar de conceptos científicos clave.

En un trabajo previo (Marcos-Merino *et al.*, 2019) hemos desarrollado una estrategia didáctica interdisciplinar partiendo de los fundamentos científicos implicados en dicho proceso de extracción. El objetivo general de este trabajo es diseñar, implementar y validar una intervención basada en esa estrategia, siguiendo el modelo didáctico de enseñanza mediante investigación dirigida. Para el diseño de dicha intervención se plantea el objetivo específico de seleccionar una sucesión de preguntas clave con las que abordar



progresivamente los conceptos químicos, físicos y biológicos necesarios para extraer ADN, y discutir las relaciones Ciencia, Tecnología y Sociedad (CTS). Para implementar la intervención se emplean una serie de muestras de maestros en formación (Universidad de Extremadura) durante tres cursos académicos. Finalmente, para acometer el objetivo específico de la validación, diseñamos y aplicamos un instrumento de evaluación con el que valorar el aprendizaje de Biología, Química y Física, así como el potencial efecto del pretest en ese aprendizaje.

Metodología

Diseño de la intervención didáctica

La intervención didáctica ha sido diseñada siguiendo una metodología de investigación dirigida. El profesor plantea varios problemas mediante la formulación de una serie de preguntas abiertas. Los alumnos resuelven dichos problemas a través de debates guiados por el docente y, como resultado, elaboran y ejecutan dos protocolos de extracción de ADN con muestras de origen vegetal y animal. El profesor conduce los debates planteando las preguntas necesarias (Tabla 1) para que las respuestas proporcionen a los alumnos todos los conceptos científicos esenciales para comprender el fundamento científico de la práctica, así como para resaltar la importancia social del proceso de extracción de ADN y sus implicaciones éticas. Además, los dirige con el objetivo de potenciar la activación de los conocimientos previos, el aprendizaje entre iguales y la corrección de las posibles ideas alternativas. Los alumnos, organizados en pequeños grupos de 2 a 4 alumnos, responden a las preguntas utilizando sus conocimientos previos y realizando búsquedas bibliográficas con sus dispositivos móviles. El docente reconduce las respuestas de los distintos grupos de alumnos (matizando, avalando, ampliando y/o cuestionando estas), hasta que la clase en su conjunto consensua una respuesta para cada pregunta. Utilizando estas repuestas los alumnos establecen, mediante un nuevo debate guiado por el profesor, los pasos necesarios para ambos protocolos de extracción.

Tanto las preguntas formuladas como los conceptos abordados en las mismas y la profundidad con la que se tratan pueden variar en función de la edad de los alumnos y de su nivel de conocimientos previos. Los conceptos científicos necesarios para comprender esta práctica corresponden a los adquiridos durante la enseñanza secundaria. Por ello, es viable su desarrollo en los últimos cursos de secundaria (12-16 años), bachillerato (16-18 años) o con alumnos que cursan asignaturas científicas en grados de Ciencias Sociales, como los estudiantes del Grado en Educación Primaria objeto de este estudio. En el diseño de la intervención que se presenta en este trabajo se tuvo en cuenta que la mayoría de los alumnos (69,94%) no había cursado bachillerato de ciencias.

Una vez finalizada la extracción, el profesor genera dos debates. El primero con el objetivo de que los alumnos reflexionen sobre la relación entre los compuestos y procedimientos utilizados durante la extracción y los conceptos químicos, físicos y biológicos que fundamentan su uso; favoreciendo así la integración de los contenidos tratados. Con esto se resalta la importancia que la interdisciplinariedad tiene actualmente para la ciencia. El segundo debate sirve para tratar las aplicaciones que tiene la extracción de ADN actualmente en la sociedad, resaltando así las interacciones CTS y sus implicaciones éticas. Para ello, en ambos casos, formula una serie de preguntas (Tabla 1). La actividad finaliza con la petición de un informe individual (a entregar en



15 días), en el que describir qué productos y procesos han utilizado para extraer ADN y por qué los han utilizado; con el fin de establecer una relación entre los contenidos biológicos, físicos y químicos abordados y el método de extracción.

Problema 1: ¿Puedo saber si la carne de una hamburguesa es de ternera, cerdo, pollo...?	
Objetivo	Identificar al ADN como un atributo de los seres vivos específico de cada especie e individuo
Posibles preguntas para el debate	<p>¿Quién o qué tiene ADN: las plantas, los animales, las rocas, las bacterias, los virus...?</p> <p>¿El ADN es igual en todos los seres vivos?</p> <p>¿El ADN se encuentra en todos los tipos de células?</p> <p>¿El ADN se encuentra en algún tejido en particular?</p> <p>¿De dónde se puede extraer ADN?</p>
Contenidos tratados	<p>El ADN como atributo común de todos los seres vivos y algunos agentes acelulares (virus)</p> <p>La composición química del ADN como característica diferencial de cada especie e individuo</p> <p>Diversidad de seres vivos</p> <p>Niveles de organización en seres vivos</p> <p>Célula</p> <p>Diferenciación celular</p>
Problema 2: ¿Cómo se puede extraer ADN de tomate con material cotidiano?	
Objetivo	Comprender el fundamento científico de extracción de ADN vegetal con material cotidiano
Posibles preguntas para el debate	<p>¿Dónde está el ADN en la célula?</p> <p>¿Qué tipos de células existen? ¿En qué se diferencian?</p> <p>¿Cómo se pueden romper las diferentes células?</p> <p>¿Qué estructura y composición química tienen las membranas celulares? ¿Y las paredes celulares?</p> <p>¿Cómo se pueden romper las membranas celulares? ¿Y las paredes celulares?</p> <p>¿Qué ácidos nucleicos hay en la célula? ¿Dónde se localizan? ¿Cuál es su composición química?</p> <p>¿Qué estructura tiene el ADN? ¿Cuál es su carga?</p> <p>¿Cómo se puede alterar la solubilidad del ADN? Con sal. ¿Por qué? ¿Qué es la sal?</p> <p>¿Cómo se disuelve en agua?</p> <p>¿Cómo se puede evitar que se degrade el ADN? Con bicarbonato sódico. ¿Por qué?</p> <p>¿Qué importancia tiene poder aislar el ADN de diferentes organismos?</p> <p>¿Cuál es la fiabilidad de las pruebas realizadas con ADN?</p>
Contenidos tratados	<p>Tipos de células. Diferencias entre ellas</p> <p>Estructura celular. Órgánulos celulares: estructura y función</p> <p>Membranas biológicas: composición y estructura</p> <p>Paredes celulares: composición y características</p> <p>Localización intracelular del ADN. Estructura y composición química</p> <p>Enzima: factores que afectan a su actividad</p> <p>Tipos de moléculas según su carga eléctrica: iones, polares, apolares y anfipáticas.</p> <p>Ejemplos. Comportamiento de las mismas en disoluciones acuosas</p> <p>Disolución</p> <p>Amortiguador químico. Ejemplos</p> <p>Densidad</p> <p>Procesos endotérmicos y exotérmicos</p>

Tabla 1. Secuencia de problemas, actividades y debates planteados en relación con la práctica de extracción de ADN. Cada problema se relaciona con un objetivo, con preguntas para conducir el debate y con algunos contenidos teóricos a tratar.



Actividad práctica 1	
Aislar ADN de una muestra de origen vegetal	
Objetivos	Elaborar un protocolo de extracción de ADN con material cotidiano para una muestra de origen vegetal Aislar, por parejas, ADN de tomate
Desarrollo	Partiendo de las respuestas consensuadas para las preguntas del problema 2, los alumnos reflexionan y proponen los pasos necesarios para extraer ADN de un tomate. El profesor cuestiona, matiza o corrige las propuestas hasta consensuar un protocolo viable, que ejecutan por parejas
Problema 3: ¿Cómo extraer ADN de saliva humana?	
Objetivos	Comprender cómo modificar el protocolo de extracción de ADN vegetal con material cotidiano para extraer ADN de saliva humana
Posibles preguntas para el debate	¿Qué aspectos habría que cambiar del protocolo diseñado para la extracción de ADN de tomate? ¿La saliva es un tejido y por eso tiene células? ¿Por qué se utiliza un método mecánico para la ruptura de las células vegetales?
Contenidos tratados	Relación entre la estructura de las membranas celulares y el procedimiento adecuado para lisarlas Relación entre la estructura de las paredes celulares y el procedimiento adecuado para lisarlas
Actividad práctica 2	
Aislar ADN de una muestra de origen animal	
Objetivos	Modificar el protocolo de extracción de ADN vegetal con material cotidiano para una muestra de origen animal Aislar, cada alumno, el ADN de su saliva y llevárselo en un frasco
Desarrollo	Partiendo de las respuestas consensuadas para las preguntas del problema 3, los alumnos proponen cómo modificar el protocolo diseñado de forma que sea adecuado para una muestra de origen animal. El profesor cuestiona, matiza o corrige las propuestas hasta consensuar un protocolo viable, ejecutado de forma individual
Debate 1	
Objetivos	Verbalizar la relación entre los compuestos y procedimientos utilizados en la extracción y los conceptos científicos que fundamentan su utilización Resaltar la importancia de la interdisciplinariedad
Posibles preguntas para el debate	¿Se puede aislar ADN de cualquier tejido? ¿Por qué se utiliza sal, bicarbonato, detergente, alcohol, batidora, baja temperatura... en la extracción de ADN? ¿Esta práctica corresponde a la asignatura de Química, de Física o de Biología?
Debate 2	
Objetivos	Verbalizar las aplicaciones que tiene la extracción de ADN en la sociedad Resaltar las interacciones CTS y sus implicaciones éticas
Posibles preguntas para el debate	¿Qué utilidad tiene actualmente aislar ADN de una especie o individuo? ¿Con qué fines puede modificarse el ADN de una especie? ¿Tienen límites estos procedimientos?
Actividad posterior: elaboración del informe	



Desarrollo de la intervención

La práctica descrita se ha implementado durante 3 cursos académicos consecutivos con una muestra no probabilística de futuros maestros (Tabla 2), estudiantes del Grado en Educación Primaria de la Universidad de Extremadura (Facultades de Formación del Profesorado, Cáceres, y de Educación, Badajoz). Las intervenciones han sido impartidas por 3 docentes dentro de los seminarios de la asignatura de Didáctica del Medio Físico y Seres Vivos. El número de alumnos por seminario oscila entre 15 y 20, y su duración es de unas 3 horas. Los estudiantes fueron informados del objetivo de la investigación y del carácter voluntario y anónimo de su participación. Los instrumentos solo fueron empleados para validar la intervención y no para la evaluar al alumno a efectos de la calificación de la asignatura.

Campus	Docentes	Intervención 1	Intervención 2	Intervención 3
		Estudio transversal	Estudio longitudinal	Estudio longitudinal
Campus 1 (Badajoz)	Profesor A	47	55 (27)	53
	Profesor B	58	58 (29)	58
Campus 2 (Cáceres)	Profesor C	55	41 (19)	38
Total de alumnos		160 (64% ♀)	154 (60% ♀)	149 (59% ♀)

Tabla 2. Distribución del alumnado participante en las 3 intervenciones por campus y profesor. El grupo control utilizado en la segunda intervención se muestra entre paréntesis. Cada grupo de alumnos se dividió en tres subgrupos de prácticas (15-20 alumnos).

Instrumentos y validación de la intervención

Para valorar el nivel de conocimientos generales de Bioquímica y Biología Celular se empleó un cuestionario de preguntas cerradas de tipo test (anexo 1) que fue aplicado antes de la intervención (pretest) y 15 días después (posttest). Este cuestionario se validó según lo indicado por Smith *et al.* (2008). Así, se realizó una revisión sobre ideas alternativas comunes sobre conceptos biológicos relacionados con la práctica (Banet y Ayuso, 1995; Caballero, 2008; Díaz de Bustamante y Jiménez, 1996; Flores *et al.*, 2003), y se elaboraron preguntas de tipo verdadero o falso. Tras esto, se seleccionaron objetivos de aprendizaje relacionados con la práctica y propios del segundo curso (alumnos de 14 años) de la Enseñanza Secundaria Obligatoria (nivel en ciencias más alto alcanzado por la mayoría de la muestra) y se prepararon algunas preguntas, mientras que otras se extrajeron del TIMSS (*Trends in International Mathematics and Science Study*) (Foy *et al.*, 2013). En el cuestionario empleado durante la tercera intervención, se introdujeron además preguntas relativas a conceptos de Química y Física, con el objetivo de evaluar si se producía un aprendizaje interdisciplinar. Para ello, se suprimieron algunas preguntas de conceptos biológicos, en concreto aquellas que fueron contestadas correctamente en el pretest en un porcentaje superior al 80%, así como las que no mostraban una variación superior al 10% entre pretest y posttest. Todas las preguntas fueron revisadas por expertos en las respectivas áreas.

El procedimiento de aplicación y el contenido de los cuestionarios se adaptaron al objetivo de investigación de cada intervención:



- La primera intervención tuvo carácter prospectivo (total de alumnos: 160). Consistió en un estudio transversal dirigido a determinar la efectividad de la intervención en relación al aprendizaje de conceptos de Bioquímica y Biología Celular. Para ello se comparó el nivel de conocimientos de la muestra de alumnos antes (nota del pretest) y después (nota del postest) de la intervención mediante el test no paramétrico de Wilcoxon (datos no apareados)
- La segunda intervención tuvo carácter discriminatorio (total de alumnos: 154). Se realizó con el objetivo de diferenciar si la efectividad de la primera intervención era debida, al menos en parte, a la realización del pretest o solo se debía al desarrollo de la práctica. En esta intervención se realizó un estudio longitudinal, en el que la autoría de los cuestionarios se identificó con una clave anónima que permitía emparejar el pretest y el postest de cada alumno. Cada grupo fue dividido al azar en un subgrupo control (solo realizaba el postest) y un subgrupo experimental (realizaba tanto el pretest como el postest) (Tabla 2). Para comparar el efecto del pretest en el aprendizaje se comparó la nota del postest del subgrupo control y del subgrupo experimental mediante el test no paramétrico de Wilcoxon (datos no apareados, ya que eran diferentes individuos). Para determinar la efectividad de la intervención se comparó, para cada integrante del subgrupo experimental, la nota del pretest y el postest con el mismo test pero para datos apareados
- El objetivo de la tercera intervención fue evaluar si se producía aprendizaje tanto respecto a los contenidos de Biología como respecto a los contenidos de Química y Física (total de alumnos: 149). En esta intervención se realizó un estudio longitudinal en el que todos los alumnos (identificados con clave anónima) respondieron al pretest y al postest. Al igual que en la segunda intervención, se utilizó el test de Wilcoxon para datos apareados

En cada una de las intervenciones, los datos de todos los grupos de alumnos se juntaron tras comprobar que no había diferencias significativas entre ellos (test de Wilcoxon, p -valor>0,05).

Análisis estadístico

Dado que los datos no se ajustaban a una distribución normal (p -valor<0,05, test de normalidad Kolmogoro-Smirnov y Shapiro-Wilk) se utilizó estadística no paramétrica (test de Wilcoxon). Las gráficas se realizaron con el programa Kaleidagraph (Synergy software). Los autores ponen todos los datos brutos del estudio a disposición de quien lo solicite.

Resultados y discusión

Viabilidad de la intervención

Al finalizar la práctica, a partir de las distintas preguntas planteadas, todos los alumnos manifestaron comprender por qué se usa cada compuesto en la extracción de ADN. Además, fueron capaces de elaborar entre todos y ejecutar individualmente un protocolo para extraer ADN tanto de un tomate como de su propia saliva, utilizando los materiales cotidianos proporcionados por los docentes. Los alumnos mostraron una gran motivación ante el tipo de actividad realizada (Marcos-Merino *et al.*, 2016).



Validación de la intervención

Los resultados de la eficacia las intervenciones se muestran en la Figura 1. Tras la primera intervención, de carácter prospectivo y en la que los datos no estaban apareados, se observó que esta era efectiva para la enseñanza de conceptos de Biología Celular y Bioquímica, ya que se produjo un aumento significativo de la nota del postest respecto al pretest (p -valor=0,006, test de Wilcoxon). Esto no se debió a un aumento de la mediana (4 en ambos casos) sino a un aumento de la varianza hacia valores superiores.

El análisis de los resultados de la segunda intervención indica que el hecho de conocer las preguntas del pretest no influye significativamente en el aprendizaje de los alumnos, ya que no se observan diferencias significativas (p -valor=0,38, test de Wilcoxon) entre la nota postest del grupo experimental (mediana de 5,71), que cumplió el pretest, y la nota del postest del grupo control (mediana de 5,71), que no lo cumplió. Esto concuerda con los resultados de un metaanálisis (Wilson y Putnam, 1982), que indican que el pretest no tiene efectos significativos en el postest si la cumplimentación de ambos se distancia varios días. Además, al comparar los datos apareados del grupo experimental, se observa un aumento significativo de la calificación (p -valor=0,03, test de Wilcoxon), desde una mediana de 5,00 a una mediana de 5,71 en el postest. Así, los resultados de la segunda intervención confirman que la propuesta es efectiva en relación al aprendizaje de conceptos de Biología (Bioquímica y Biología Celular).

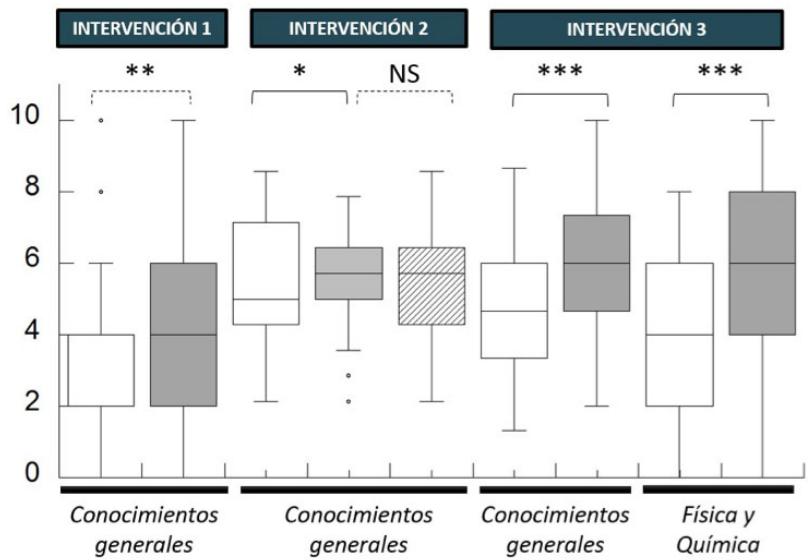


Figura 1. Resultados obtenidos por los participantes antes, pretest (cajas vacías), y después, postest (cajas rayadas y cajas grises) de tres intervenciones educativas. Los resultados califican la evaluación de conocimientos generales (en las tres intervenciones) y los de química y física (en la intervención 3). En la intervención 2, la caja gris representa los resultados del grupo experimental (realizó tanto el pretest como el postest) y la caja rayada los resultados del grupo control (solo realizó el postest). Las cajas representan la distribución de los resultados. La recta horizontal dentro de cada caja representa la mediana. Los límites inferiores y superiores de cada caja corresponden a los percentiles 25 y 75 respectivamente. La terminación inferior y superior de las líneas verticales se aproximan a los percentiles 5 y 95, respectivamente. La línea horizontal sobre las cajas (continua para datos apareados y discontinua para datos despareados) une grupos no significativos (NS) y significativamente diferentes (* p -valor<0,05, ** p -valor<0,01, *** p -valor<0,001), Test de Wilcoxon.

El análisis de los resultados de la tercera intervención confirman de nuevo la efectividad de la intervención propuesta, ya que la mediana aumenta desde 4,67 en el pretest hasta 6,00 en el postest (p -valor<0,001, test de Wilcoxon). Además, el análisis de las preguntas referentes a contenidos de Química y Física indica que este aprendizaje es de naturaleza interdisciplinar, ya que no sólo se produce un aprendizaje en los conceptos de Biología, sino que también se observa un aumento significativo en la nota de las preguntas relacionadas con conceptos de Química y Física. Dicha calificación aumenta desde una mediana de 4,00 en el pretest hasta 6,00 en el postest (p -valor<0,001, test de Wilcoxon). Abordando conceptos concretos, se observa un aumento significativo (p -valor<0,05, test de Wilcoxon) en el porcentaje de acierto de los siguientes conceptos físico-químicos:



densidad (de un 51% en el pretest a un 79% en el postest), pH (del 12% al 49%), cargas eléctricas de las moléculas (del 30% al 58%) y solvatación (del 24% al 40%).

A medida que progresan las intervenciones se observa una mayor diferencia entre las calificaciones de los pretest y de los postest. Esto sugiere que el efecto de la intervención fue mejorando curso tras curso, concordando con lo señalado por Henry *et al.* (2012), quienes afirman que durante los tres primeros años de la puesta en práctica de una acción docente, esta se optimiza y se obtiene un mejor rendimiento.

En conjunto, estos resultados muestran que la intervención implementada es efectiva en relación al aprendizaje de los alumnos, lo que puede ser debido a las características potenciales de la práctica, como apoyan resultados de investigaciones previas. Así, se ha descrito que las actividades experimentales concebidas como pequeñas investigaciones proporcionan mejores situaciones de aprendizaje (Gormally *et al.*, 2009; Luckie *et al.*, 2004). En cuanto a la utilidad del contenido, Hulleman y Harackiewicz (2009) indican que realizar actividades en las que se resalta la aplicabilidad de los contenidos teóricos, y en las que se conectan estos con problemas del entorno de los alumnos, mejora su rendimiento. Además, el proceso de aprendizaje social, llevado a cabo a través de los debates planteados, es más eficiente que el aprendizaje individual, ya que favorece la memoria a largo plazo (Edelson *et al.*, 2011) y la comprensión (Smith *et al.*, 2009). Una limitación de esta investigación está relacionada con la pertenencia de la muestra a una población (futuros maestros) y a una región muy concreta. En futuros estudios sería interesante emplear muestras pertenecientes a poblaciones diferentes con las que evaluar la efectividad de la intervención.

Conclusiones

La extracción de ADN con material cotidiano es una actividad práctica interdisciplinar, ya que para determinar cómo extraer ADN de una muestra biológica es preciso relacionar conceptos químicos, físicos y biológicos (Marcos-Merino *et al.*, 2019). En relación a los objetivos planteados, en este trabajo mostramos que es posible diseñar e implementar una intervención didáctica de aprendizaje activo bajo el modelo didáctico de enseñanza por investigación dirigida orientada a la extracción de ADN con material cotidiano. El procedimiento de validación llevado a cabo con una muestra de futuros maestros demuestra que la intervención favorece significativamente el aprendizaje interdisciplinar de conceptos de Química, Física y Biología, así como que dicho aprendizaje se debe a las características potenciales de la intervención diseñada (y no al conocimiento previo de las preguntas del postest).

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

- Banet, E. y Ayuso, G. (1995). *Introducción a la genética en la enseñanza secundaria y bachillerato: I. Contenidos de enseñanza y conocimientos de los alumnos*. *Enseñanza de las Ciencias*, 13(2), 137-153.
- Caballero, M. (2008). *Algunas ideas del alumnado de secundaria sobre conceptos básicos de genética*, *Enseñanza de las Ciencias*, 26(2), 227-244.
- Chernicoff, L. y Echeverría, E. (2012). ¿Por qué enseñar ciencia a través de la indagación? *Un caso en la Universidad Autónoma de la Ciudad de México (UACM)*. *Educación Química*, 23(4), 433-450.
- Díaz de Bustamante, J. y Jiménez, M. (1996). ¿Ves lo que dibujas? Observando células con el microscopio, *Enseñanza de las Ciencias*, 14(2), 183-194.
- Edelson, M. Sharot, T. Dolan, R. y Dudai, Y. (2011). *Following the crowd: brain substrates of long-term memory conformity*, *Science*, 333(6038), 108-111.
- Foy, P. Arora, A. y Stanco, G. (2013). *TIMSS 2011 User Guide for the International Database. Supplement 1: International Version of the TIMSS 2011 Background and Curriculum Questionnaires*. Amsterdam, Netherlands: International Association for the Evaluation of Educational Achievement.
- Flores, F. Tovar, M. y Gallegos, L. (2003). *Representation of the cell and its processes in high school students: An integrated view*, *International Journal of Science Education*, 25(2), 269-286.
- Garritz, A. (2010). *Indagación: las habilidades para desarrollarla y promover el aprendizaje*. *Educación Química*, 21(2), 106-110.
- Gormally, C. Brickman, P. Hallar, B. y Armstrong, N. (2009). *Effects of inquiry-based learning on students' science literacy skills and confidence*. *International journal for the scholarship of teaching and learning*, 3(2), 16-22.
- Henry, G. Fortner, C. y Bastian, K. (2012). *The effects of experience and attrition for novice high-school science and mathematics teachers*. *Science*, 335(6072), 1118-1121.
- Hofstein, A. y Lunetta, V. (2004). *The laboratory in science education: Foundations for the twenty-first century*. *Science education*, 88(1), 28-54.
- Hulleman, C. y Harackiewicz, J. (2009). *Promoting interest and performance in high school science classes*. *Science*, 326 (5958), 1410-1412.
- Luckie, D. Maleszewski, J. Loznak, S. y Krha, M. (2004). *Infusion of collaborative inquiry throughout a biology curriculum increases student learning: a four-year study of "Teams and Streams"*. *Advances in Physiology Education*, 28(4), 199-209.
- 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.
- Marcos-Merino, J. M. Esteban, R. y Ochoa de Alda, J. A. G. (2019). *Extracción de ADN con material cotidiano: desarrollo de una estrategia interdisciplinar a partir de sus fundamentos científicos*. *Educación Química*, 30(1), 58-68.
- Pozo, J. y Gómez, M. (2013). *Aprender y enseñar ciencia. Del conocimiento cotidiano al conocimiento científico*. Madrid, España: Ediciones Morata
- Reigosa, C. y Jiménez, M. (2000). *La cultura científica en la resolución de problemas en el laboratorio*. *Enseñanza de las Ciencias*, 18(2), 275-284.
- Smith, M. Wood, W. Adams, W. Wieman, C. Knight, J. Guild, N. y Su, T. (2009). *Why peer discussion improves student performance on in-class concept questions*, *Science*, 323(5910), 122-124.



Smith, M. Wood, W. y Knight, J. (2008). *The genetics concept assessment: a new concept inventory for gauging student understanding of genetics*. *CBE-life sciences Education*, 7(4), 422-430.

Willson, V. L. y Putnam, R. R. (1982). A meta-analysis of pretest sensitization effects in experimental design. *American Educational Research Journal*, 19(2), 249-258.



Cuestionario empleado como pretest y postest en las Intervenciones 1 y 2

Con el fondo verde las preguntas para valorar la presencia de ideas previas alternativas sobre conceptos de Biología Celular, en base a lo recogido en la bibliografía para la etapa de Educación Secundaria y universitaria (Banet y Ayuso, 1995; Caballero, 2008; Díaz de Bustamante y Jiménez, 1996; Flores *et al.*, 2003). Con el fondo rosa las preguntas sobre conceptos de Bioquímica y Biología Celular necesarios para llevar a cabo la práctica de extracción de ADN. Con el fondo azul las preguntas extraídas del TIMSS (*Trends in International Mathematics and Science Study*), estudio realizado por la Asociación Internacional para la Evaluación del Rendimiento Educativo sobre Matemáticas y Ciencias en el alumnado de 8º grado de los países participantes (2º de Educación Secundaria Obligatoria en España) (Foy *et al.*, 2013).

Esta actividad forma parte de un proyecto de investigación sobre la importancia de las emociones en el aula. En las futuras publicaciones los datos se mostrarán globalmente, preservando completamente las características individuales de los participantes, que serán siempre anónimas. **La participación en esta actividad es completamente voluntaria.**

FECHA:	Grupo:	Sexo V / H
Modalidad de Bachillerato o FP realizada:		
Identificación anónima: Escribe la inicial del nombre de tu madre, la inicial del nombre de tu padre y dos últimas cifras y letra de tu DNI (ej. MM54s):		
Responde a las siguientes preguntas (sólo una opción es correcta)		
1. Podemos extraer material genético de:		
a) Sólo los seres vivos b) Sólo los procariotas c) Sólo los eucariotas d) De todos los seres vivos y algunos no vivos (por ejemplo virus)		
2. ¿Dónde crees que se encuentra el ADN en un tomate?:		
a) Sólo en las células de la semilla b) Sólo en las células de la pulpa (del fruto) c) Sólo en las células de la piel d) En todas las células		
3. El ADN es:		
a) Un ácido nucleico b) Una grasa rodeada de fósforo c) Una proteína d) Un aminoácido		
4. En los humanos los cromosomas sexuales se encuentran exclusivamente en:		
a) Las células de los testículos y los ovarios b) Todas las células con núcleo c) Los espermatozoides y los óvulos d) Las mitocondrias de todas las células		
5. Qué tipos de células tienen mitocondrias y cloroplastos:		
a) Las células animales b) Las células vegetales c) Las bacterias d) Ninguna, o bien tiene mitocondrias o bien tienen cloroplastos		
6. La diferencia esencial entre célula procariota y célula eucariota radica en:		
a) El tamaño celular b) La pared celular c) El núcleo celular d) La composición química del citoplasma		



7. Respeto al ADN señala la respuesta CORRECTA:

- a) Se encuentra exclusivamente en el núcleo celular
- b) Es el único ácido nucleico de la célula
- c) Se encuentra en cloroplastos, mitocondrias y núcleo
- d) Está formado por aminoácidos

8. Señala la afirmación CORRECTA:

- a) Todas las células están rodeadas por una membrana plasmática rígida
- b) La membrana plasmática está formada fundamentalmente por lípidos, proteínas, carbohidratos y nucleótidos
- c) Dentro de las células algunos orgánulos están rodeados por membranas similares a la membrana plasmática
- d) Solo las células eucariotas tienen membrana plasmática

9. En los vegetales, la pared celular es:

- a) Una estructura extracelular formada por polisacáridos, fundamentalmente celulosa
- b) Una estructura rígida que las rodea
- c) La materia prima para formar el papel
- d) Todas las respuestas son correctas

10. Identifica la relación "tipo celular – características" INCORRECTA:

- a) Todas las células vegetales tienen pared celular
- b) Todas las células animales tienen mitocondrias y cloroplastos
- c) Todas las células vegetales tienen mitocondrias y cloroplastos
- d) Todas las células animales tienen mitocondrias

11. Los riñones son órganos que se encuentran en el cuerpo humano. A un hombre le sacaron uno de sus dos riñones cuando era joven porque estaba enfermo. Ahora tiene un hijo. ¿Cuántos riñones tuvo su hijo al nacer?

- a) 1, ya que solo se puede heredar lo que se tiene
- b) 2, ya que no se han alterado sus genes
- c) 2, ya que los riñones se regeneran
- d) 1 o 2 según si hereda 1 o ninguno del padre y el de la madre.

12. ¿Cuál de las siguientes es la mejor descripción del propósito de la respiración celular?

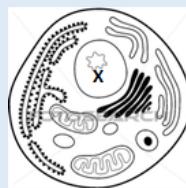
- a) Proporcionar energía para la actividad celular
- b) Producir azúcar para almacenar en las células
- c) Liberar oxígeno para la respiración
- d) Proporcionar dióxido de carbono para la fotosíntesis

13. ¿Qué tipo de células destruyen a las bacterias que invaden el cuerpo?

- a) Los glóbulos blancos
- b) Los glóbulos rojos
- c) Las células del riñón
- d) Las células del pulmón

14. La imagen muestra una célula. ¿Cuál es la función de la parte de la célula marcada con una X?

- a) Almacenar agua
- b) Producir alimento
- c) Absorber energía
- d) Controlar las actividades





Cuestionario empleado como pretest y postest en la Intervención 3

Con el fondo verde las preguntas para valorar la presencia de ideas previas alternativas sobre conceptos de Biología Celular, en base a lo recogido en la bibliografía para la etapa de Educación Secundaria y universitaria (Banet y Ayuso, 1995; Caballero, 2008; Díaz de Bustamante y Jiménez, 1996; Flores *et al.*, 2003). Con el fondo rosa las preguntas sobre conceptos de Bioquímica y Biología Celular necesarios para llevar a cabo la práctica de extracción de ADN. Con el fondo azul las preguntas extraídas del TIMSS (*Trends in International Mathematics and Science Study*), estudio realizado por la Asociación Internacional para la Evaluación del Rendimiento Educativo sobre Matemáticas y Ciencias en el alumnado de 8º grado de los países participantes (2º de Educación Secundaria Obligatoria en España) (Foy *et al.*, 2013). Con el fondo gris las preguntas relativas a conceptos de Química y Física necesarios para comprender la extracción de ADN.

Esta actividad forma parte de un proyecto de investigación sobre la importancia de las emociones en el aula. En las futuras publicaciones los datos se mostrarán globalmente, preservando completamente las características individuales de los participantes, que serán siempre anónimas. **La participación en esta actividad es completamente voluntaria.**

FECHA:	Grupo:	Sexo V / H
Modalidad de Bachillerato o FP realizada:		
Identificación anónima: Escribe la inicial del nombre de tu madre, la inicial del nombre de tu padre y dos últimas cifras y letra de tu DNI (ej. MM54s):		
Responde a las siguientes preguntas (sólo una opción es correcta)		
1. Podemos extraer material genético de:		
a) Sólo los seres vivos b) Sólo los procariotas c) Sólo los eucariotas d) De todos los seres vivos y algunos no vivos como los virus		
2. ¿Dónde crees que se encuentras el ADN en un tomate?:		
a) Sólo en las células de la semilla b) Sólo en las células de la pulpa (del fruto) c) Sólo en las células de la piel d) En todas las células		
3. En los humanos los cromosomas sexuales se encuentran exclusivamente en:		
a) Las células de los testículos y los ovarios b) Todas las células con núcleo c) Los espermatozoides y los óvulos d) Las mitocondrias de todas las células		
4. ¿Qué tipos de células tienen mitocondrias y cloroplastos?		
a) Las células animales b) Las células vegetales c) Las bacterias d) Ninguna, o bien tiene mitocondrias o bien tienen cloroplastos		
5. La diferencia esencial entre célula procariota y célula eucariota radica en:		
a) El tamaño celular b) La pared celular c) El núcleo celular d) La composición química del citoplasma		



6. Respecto al ADN señala la respuesta CORRECTA:

- a) Se encuentra exclusivamente en el núcleo celular
- b) Es el único ácido nucleico de la célula
- c) Se encuentra en cloroplastos, mitocondrias y núcleo
- d) Está formado por aminoácidos

7. Señala la afirmación CORRECTA:

- a) Todas las células están rodeadas por una membrana plasmática rígida
- b) La membrana plasmática está formada fundamentalmente por lípidos, proteínas, carbohidratos y nucleótidos
- c) Dentro de las células algunos orgánulos están rodeados por membranas similares a la membrana plasmática
- d) Solo las células eucariotas tienen membrana plasmática

8. En los vegetales, la pared celular es:

- a) Una estructura extracelular formada por polisacáridos, fundamentalmente celulosa
- b) Una estructura rígida que rodea a la célula vegetal
- c) La materia prima para formar el papel
- d) Todas las respuestas son correctas

9. Identifica la relación "tipo celular – características" INCORRECTA:

- a) Todas las células vegetales tienen pared celular
- b) Todas las células animales tienen mitocondrias y cloroplastos
- c) Todas las células vegetales tienen mitocondrias y cloroplastos
- d) Todas las células animales tienen mitocondrias

10. La imagen muestra una célula. ¿Cuál es la función de la parte de la célula marcada con una X?

- a) Almacenar agua
- b) Producir alimento
- c) Absorber energía
- d) Controlar las actividades



11. ¿Por qué al mezclar dos líquidos (por ejemplo agua y aceite) uno flota sobre otro?

- a) Depende de la masa de los cuerpos, el que tiene más masa se hunde
- b) Depende de la densidad, el que es más denso flota
- c) Depende de la densidad, el que es menos denso flota
- d) La densidad no influye, flota el cuerpo que pesa menos

12. El pH de los fluidos biológicos depende de:

- a) La concentración de electrones
- b) La presencia de tampones como el cloruro sódico
- c) La presencia de tampones como el bicarbonato
- d) El pH es un factor irrelevante

13. Señala la afirmación CORRECTA:

- a) El ADN es una molécula con carga positiva
- b) Las moléculas polares como el agua no tienen carga pero presentan una ligera carga positiva y negativa en diferentes partes de la molécula
- c) El agua es una molécula apolar en la que no se observa esta distribución de cargas
- d) Una molécula con más protones que electrones tiene carga eléctrica negativa



14. El cloruro sódico (NaCl) se disuelve en agua debido a que (señala la respuesta INCORRECTA):

- a) Se debilita la unión y los iones Na^+ y Cl^- quedan rodeados de moléculas de agua
- b) Las moléculas de agua se unen a los aniones Cl^- a través de su ligera carga positiva, mientras que se unen a los cationes Na^+ a través de su ligera carga negativa
- c) Las moléculas de agua se unen a los aniones Cl^- a través de su ligera carga negativa, mientras que se unen a los cationes Na^+ a través de su ligera carga positiva
- d) El agua se une con más facilidad a los iones Na^+ o cloro Cl^- que los iones Cl^- y Na^+ entre sí

15. Señala la afirmación CORRECTA sobre las moléculas anfipáticas:

- a) Son aquellas que tienen una región polar y una apolar
- b) Los lípidos de las membranas biológicas son un ejemplo de este tipo de moléculas
- c) El detergente está formado por moléculas de este tipo
- d) Todas las respuestas son correctas