



COLECCIÓN CONOCIMIENTO CONTEMPORÁNEO

# Innovación docente y prácticas educativas para una educación de calidad

Coordinadora  
Carmen Romero García

*Dykinson, S.L.*

INNOVACIÓN DOCENTE Y PRÁCTICAS EDUCATIVAS  
PARA UNA EDUCACIÓN DE CALIDAD

INNOVACIÓN DOCENTE  
Y PRÁCTICAS EDUCATIVAS PARA UNA  
EDUCACIÓN DE CALIDAD

**Coordinadora**

Carmen Romero García

*Dykinson, S.L.*

2022

INNOVACIÓN DOCENTE Y PRÁCTICAS EDUCATIVAS  
PARA UNA EDUCACIÓN DE CALIDAD

Diseño de cubierta y maquetación: Francisco Anaya Benítez

© de los textos: los autores

© de la presente edición: Dykinson S.L.

Madrid - 2022

N.º 47 de la colección Conocimiento Contemporáneo

1ª edición, 2022

ISBN 978-84-1377-920-1

NOTA EDITORIAL: Las opiniones y contenidos publicados en esta obra son de responsabilidad exclusiva de sus autores y no reflejan necesariamente la opinión de Dykinson S.L ni de los editores o coordinadores de la publicación; asimismo, los autores se responsabilizarán de obtener el permiso correspondiente para incluir material publicado en otro lugar.

## BIOTECNOLOGÍA POR COLORES: IMPACTO EN EL RENDIMIENTO ACADÉMICO DEL ALUMNADO DE EDUCACIÓN SECUNDARIA

---

AINHOA ARANA-CUENCA

*Universidad Internacional de la Rioja*

ELISABET RANSANZ REYES

*Universidad Internacional de la Rioja*

MARTA CURTO PRIETO

*Universidad Internacional de la Rioja*

CARMEN ROMERO-GARCÍA

*Universidad Internacional de la Rioja*

### 1. INTRODUCCIÓN

La Biotecnología es un área de conocimiento multidisciplinar que proporciona un ejemplo claro para los estudiantes de la aplicación de muchos de los conceptos vistos en ciencias naturales, especialmente en Biología.

Desde el siglo XX, la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias se ha convertido en materia esencial de investigación educativa. La didáctica de las ciencias presenta un carácter interdisciplinar, al aunar competencias del área de las ciencias, de la historia de la ciencia, de la psicología y de la pedagogía. Esto supone que, en muchas ocasiones, los contenidos científicos se enfoquen desde cada una de las áreas que constituyen las ciencias de manera independiente, dando lugar a un aprendizaje descontextualizado, alejado de los problemas actuales de la sociedad (Perales, 2018). Son diversas las investigaciones que concluyen que en la etapa de Educación Secundaria se genera una insatisfacción del alumnado hacia las ciencias, ya que, entre otras cosas, no encuentran conexión entre los aprendizajes y los problemas del mundo real, lo que

implica una disminución a la hora de elegir carreras científicas (Tai *et al.*, 2006; Martin *et al.*, 2007; Monks, 2010; Lorenzo *et al.*, 2018). Diferentes estudios internacionales como el Programa para la Evaluación Internacional de los Alumnos (PISA) y el Estudio Internacional de Tendencias en Matemáticas y Ciencias (TIMMS) muestran cómo, en España, los resultados obtenidos en ciencias están por debajo de las puntuaciones medias del resto de países de la Unión Europea (UE) y de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) (PISA, 2018; TIMMS, 2019). Además, a todo esto, se suma la imagen estereotipada del científico como un hombre con aspecto desaliñado, gafas, de mediana o avanzada edad, fomentado en parte por los medios de comunicación, las películas, las series o los dibujos animados (Álvarez y Valls, 2019), que trae consigo un bajo número de alumnas matriculadas en carreras STEAM (acrónimo en inglés de Science, Technology, Engineering, Art y Mathematics) (Mateos-Sillero y Gómez-Hernández, 2019; Sáinz *et al.*, 2017).

En una primera aproximación, las investigaciones sobre el proceso de enseñanza-aprendizaje de las ciencias se centraron en el estudiante, en su aprendizaje y la influencia que el contexto tiene sobre él. Después, se empieza a tener en cuenta al profesor, especialmente la influencia de su proceso formativo en cómo planea la enseñanza, desarrolla las clases y evalúa a sus alumnos. En la didáctica de las ciencias, muchos autores señalan que la manera que tienen los profesores de enseñarlas es consecuencia de su propio aprendizaje previo y es esencial en el área de la Biología y especialmente en la Biotecnología, al ser una disciplina relativamente joven, con aplicaciones y alcances en lo económico, político, cultural, social y ambiental (Roa *et al.*, 2008). Por ello, una parte del profesorado actualmente activo no ha recibido instrucción sobre Biotecnología, por lo que es lógico pensar que el peso que el contexto social, en general, y la educación informal, en particular, tiene influencia en ellos.

La Biotecnología se recoge en el Real Decreto 1105/2014, de 26 de diciembre, por el que se establece el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato de la ley Orgánica 8/2013, de 9 de diciembre, para la Mejora de la Calidad Educativa. y su presencia

se está consolidando, ya que, actualmente, está presente en el currículum de los alumnos de cuarto curso de ESO, específicamente en el Tema 14 del “Bloque 1. La evolución de la vida” de la asignatura de Biología y Geología.

En los propios libros de texto, se hace una diferenciación entre la Biotecnología tradicional, donde se habla, únicamente, sobre tecnologías en el área alimentaria, sanitaria y medioambiental, y la Biotecnología moderna, que está basada en la ingeniería genética, con aplicaciones agrícolas, ganaderas y sanitarias (Oxford, 2016), restringiendo su amplia aplicación en la industria, incluso en nuestra vida cotidiana.

Al incluir la Biotecnología en el currículo, se puede mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje de las ciencias, ya que su naturaleza es interdisciplinar, existe una intensa relación entre ciencia, tecnología, sociedad y medioambiente, y hay mucha difusión de información sobre temas relacionados con renovación de tratados de comercio, clonación, Proyecto Genoma Humano, terapia génica, consumo de organismos modificados genéticamente, patentes de genes, productos recombinantes, etc., que incluyen debates de corte ambiental, social, ético, político, religioso y económico (Roa *et al.*, 2008). No obstante, hay que tener especial cuidado, ya que, como subraya Quintanilla (2005), hay evidencia de que los profesores de ciencias, científicos y divulgadores transmiten una imagen normativa y restrictiva del concepto interdisciplinario y complejo de la Biotecnología. Además, Acevedo *et al.* (2003) encuentran deficiencias en la formación del profesorado de Educación Primaria, Educación Secundaria y Universidad, considerando que una de las causas puede deberse a la educación informal transmitida por los medios de comunicación.

En un estudio realizado por Enrique *et al.* (2007), con profesores no universitarios, se pone de manifiesto que un alto porcentaje no parece tener clara la definición de Biotecnología, ya que el 37,7% de los encuestados la definen como “Bio + Tecnología”, seguido de un 19,1%, que indican que “se encarga del estudio de los genes”, siendo únicamente un 10,5%, los que contestan más correctamente como “producción de bienes y servicios con seres vivos como mediadores”. Asimismo, realizaron un estudio sobre el contenido de noticias de prensa y

artículos de revistas, y encontraron que más de la mitad tienen que ver con noticias sobre aplicaciones relacionadas con ingeniería genética. Por ello, concluyen que los profesores utilizan una deducción etimológica del significado del término o lo asocian con la Ingeniería Genética por la influencia de los medios de comunicación, llegando a definiciones erróneas que pueden ser transmitidas a sus estudiantes. Esta concepción restrictiva de la Biotecnología, asociada únicamente a la Ingeniería Genética, va más allá de nuestras fronteras. Por ejemplo, en Puerto Rico, Arroyo (2011) publica un artículo donde propone la enseñanza y capacitación en Biotecnología utilizando sesiones teórico-prácticas centradas únicamente en microorganismos transgénicos.

De este modo, se hace necesaria la elaboración de nuevos materiales didácticos sobre Biotecnología que aborden el tema desde un espectro más amplio. Esto se puede conseguir, utilizando la clasificación en colores propuesta por DaSilva (2004).

### 1.1. BIOTECNOLOGÍA EN EDUCACIÓN

El Convenio de la Diversidad Biológica (Naciones Unidas, 1992) define la Biotecnología como toda aplicación tecnológica que emplee sistemas biológicos y organismos vivos o sus derivados para la elaboración o transformación de productos o procesos para usos concretos.

La Biotecnología tiene un largo recorrido histórico, ya se aplicaba en épocas antiguas en la elaboración del vino, la cerveza, el yogur o el pan (Enrique *et al.*, 2007), o en la época Mesoamericana con la “nixtamalización” (proceso para la elaboración de tortilla en México). La elaboración de pigmentos y polímeros, el uso de la papaína como ablandador de carne, el proceso de curtido de pieles o el secado del tabaco (Larqué, 2016) son ejemplos muy claros de que su desarrollo hasta nuestros días ha sido notable. Tal y como afirma Mayr (2006), es extraordinario cómo ha evolucionado el conocimiento y sus aplicaciones Biotecnológicas desde la afirmación de la Biología como ciencia válida entre 1828 y 1866 y, después, de la genética; finalmente, la revolución de la Biología molecular ha abierto unas perspectivas inimaginables. Diferentes autores consideran que la Biotecnología es una de las últimas y más grandes innovaciones del s. XX (Aycardi, 1986), el cual ha sido



calificado como el “el siglo de la Biotecnología” o como la “la revolución biotecnológica” (Sasson, 1989). En esta misma línea, se puede comprobar como las empresas que se centran en la ciencia y la tecnología son industrias punteras, con proveedores más capacitados que elaboran productos y aplican tecnologías sofisticadas. De modo que son factores clave en la modernización y desarrollo económico en el país, abren nuevos nichos de negocio, además, tienen un impacto social, ya que mejoran la calidad y esperanza de vida de la población (Martín *et al.*, 2016). Bergua *et al.*, (2016) reportan datos sobre el índice tecnológico basado en tres medidas: el gasto en I+D+i como porcentaje del Producto Bruto Internacional (PIB), el número de patentes por millón de habitantes y el número de patentes en alta tecnología en campos como la Biotecnología, tecnología de la información, farmacia e industria aeroespacial, donde España aparece en 13º lugar.

Desde el punto de vista educativo, McInerney (1990) declaraba desde la Unesco la necesidad de que fuera incluida en los centros educativos. Las dos publicaciones más antiguas que se conocen en las que se establece una clara relación entre Biotecnología y educación pertenecen a los años 1981 y 1982, y se elaboraron en el seno de la Royal Society (Wymer, 1990; Lui y Chan, 1999). La investigación realizada por Roa (2016) muestra el porcentaje de artículos publicados sobre educación en Biotecnología desde la década de los 80 hasta el año 2013, en ella se puede observar un aumento considerable en la primera década del siglo XXI (60.8%). Hecho que puede relacionarse, tal y como señala Malajovich (2012), con los resultados obtenidos en terapia génica, la obtención experimental de la primera vaca y oveja transgénicas, descifrado del primer genoma de una bacteria, secuenciación del primer genoma de un eucarionte y el del primer cromosoma humano, y el auge de 1.500 empresas de Biotecnología en Estados Unidos y de más de 3.000 en el mundo hacia 1998, entre otros.

Sin embargo, diferentes investigaciones reflejan el desconocimiento general que presentan los estudiantes en relación con aspectos relacionados con esta disciplina, como el desconocimiento de las diferencias existentes entre los cultivos de plantas genéticamente modificados y los convencionales (Ekborg, 2008), sobre los principios básicos de la

ingeniería genética (Lewis y Wood–Robinson, 2000), sobre el significado de organismo transgénico (Pedrancini, 2007), sobre el propio concepto de Biotecnología (Ramón *et al.*, 2008), sobre sus aplicaciones, asociándolas únicamente a técnicas novedosas y mostrando mayor interés por aquellas relacionadas con la medicina, o interpretando de manera incorrecta dichas aplicaciones (Abril *et al.*, 2004; Fonseca *et al.*, 2012; Ruíz González *et al.*, 2020). Asimismo, de la Vega *et al.*, 2018 muestran en sus resultados cómo existe una clara influencia en el alumnado con respecto a su actitud hacia distintos procesos biotecnológicos proveniente de las concepciones de la sociedad y de los medios de comunicación, mostrando un mayor rechazo en relación con el aumento en la complejidad de los organismos empleados, sobre todo cuando se trata de plantas y animales, siendo mayor este rechazo cuando se utilizan a los seres humanos, sin embargo, están más a favor cuando el uso de seres humanos implica mejoras en la salud.

Por otro lado, se hace necesario que los estudiantes no solo conozcan los principios biológicos de esta disciplina de manera correcta, sino que, además, sean conscientes de los beneficios y riesgos políticos, sociales, legales y éticos asociados a su desarrollo (Hammann, 2018).

## 1.2. BIOTECNOLOGÍA POR COLORES

Desde hace años se ha utilizado una clasificación de la Biotecnología por colores que, aunque es independiente de aspectos científicos-tecnológicos, permite promover la percepción pública para favorecer la comprensión de sus aplicaciones en la ciencia y el desarrollo de la humanidad y, por lo tanto, puede ser una buena herramienta para que los alumnos de ESO comprendan mejor el alcance esta tecnología.

Desde el año 2004, DaSilva (2004) propone una clasificación más amplia utilizando colores (Figura 1) donde se incluye: Biotecnología blanca o industrial relacionada con procesos enzimáticos y fermentativos en sectores como producción de materiales, química o energía (Sánchez, 2007); Biotecnología verde o agrícola utilizada para mejorar la calidad y producción vegetal (Karalija, 2017); Biotecnología gris o medio ambiente donde se aplican organismos o sus productos para proveer a la sociedad de productos y servicios ambientales como el tratamiento

biológico (Blanch, 2010); Biotecnología amarilla o de alimentos utilizada para aumentar la productividad, rendimiento y el abastecimiento de alimentos (Villate y Castellanos, 1998); Biotecnología Roja o sanitaria y Biotecnología Marrón o veterinaria enfocada en la prevención, diagnóstico y tratamiento de enfermedades humanas (Pliego, 2011) y animales (Borroto, 2008), respectivamente; Biotecnología dorada o bioinformática y bionantecológica ligada a las tecnología de la información (Briones y *et al.*, 2009), Biotecnología violeta/morada o bioseguridad y patentes orientado a aspectos jurídicos y de seguridad (Plan estratégico para el desarrollo de la Biotecnología en Canarias, 2013); Biotecnología azul o marina, estudiando los organismos marinos para obtener nuevos productos (Deming, 1998) y la recientemente incorporada, la Biotecnología naranja o Divulgación referida a toda la labor de difusión y enseñanza a la sociedad en general (García, 2017).

Esta perspectiva de la Biotecnología puede ayudar tanto a alumnos como a docentes a comprender el amplio espectro de aplicaciones que incluye y puede ser una buena herramienta didáctica. Por ello, se hace interesante proponer actividades que ayuden al estudiante a entender la Biotecnología utilizando la clasificación por colores. Por un lado, una sesión teórica que incluya la definición de esta tecnología y una explicación de los diferentes colores con aplicaciones prácticas. Por otro lado, una sesión de laboratorio para hacer experimentación ya que, como indica Pérez *et al.* (2008), es una herramienta que permite al estudiante comprobar los conceptos aprendidos durante la clase teórica.

**FIGURA 1.** *La biotecnología por colores*

Blanca	Biotecnología Industrial Utilización de sistemas biológicos para la fabricación, transformación o degradación de moléculas en aplicaciones industriales como el de materiales, química o energía. Sería el caso de los bioplásticos o la bioenergía.
Verde	Biotecnología verde Aplicación de cualquier técnica biológica en la manipulación y/o crecimiento vegetal para mejorar la calidad nutricional o su producción económica como el control biológico, la producción de transgénicos o los biofertilizantes
Gris	Biotecnología del medio ambiente Conjunto de actividades tecnológicas que permiten comprender y gestionar los sistemas biológicos en el medio ambiente para proveer de productos y servicios a la sociedad como el tratamiento biológico de agua, suelo y aire.
Amarilla	Biotecnología de alimentos Su objetivo es aumentar la productividad, el rendimiento y la resolución de abastecimiento de los alimentos a la población en general. Un ejemplo sería la producción biológica de pigmentos o suplementos alimenticios
Roja	Biotecnología sanitaria Se refiere a las aplicaciones biotecnológicas en el área de salud humana con énfasis en la prevención, diagnóstico y tratamiento de enfermedades como el desarrollo de antibióticos, antitumorales, vacunas o terapia génica
Marrón	Biotecnología veterinaria Aplicaciones de organismos vivos o sus derivados en el ganado y los productos zoonosarios con productos similares a la Biotecnología roja
Dorada	Bioinformática y bionanotecnología La bioinformática está ligada a las tecnologías de la información y la bionanotecnología con la utilización de organismos vivos o sus productos a la escala del nanómetro
Violeta	Bioseguridad y patentes Se refiere a aquellos desarrollos que están orientados a aspectos jurídicos y de seguridad cubriendo aspectos como el uso de plantas y OGM, manejo de residuos patógenos o explotación de la biodiversidad
Azul	Biotecnología Marina Estudia los productos naturales de organismos marinos, normalmente microorganismos, con potencia aplicación en la salud humana o biorremediación
Naranja	Divulgación de la Biotecnología Aunque no se refiere a una aplicación tecnológica la divulgación, difusión y la enseñanza de la Biotecnología también es un aspecto a tener en cuenta

\*Por ética profesional, las autoras han decidido excluir la Biotecnología negra

Fuente: elaboración propia

## 2. OBJETIVOS

El objetivo de este estudio ha sido analizar si una intervención basada en la biotecnología por colores es efectiva en cuanto a la adquisición de conocimientos por parte del alumnado de 4º curso de Educación Secundaria estableciendo posibles diferencias en el rendimiento académico en función de las características de la muestra objeto del estudio.

## 3. METODOLOGÍA

En este estudio se utilizó una metodología cuantitativa con un diseño preexperimental con grupo pretest y postest.

### 3.1. MUESTRA

En la investigación participaron 36 estudiantes que cursaban la asignatura de Biología y Geología de 4º de Educación Secundaria Obligatoria durante el curso académico 2016/2017. Un 58,3% son chicas y un 41,7% chicos con una edad media 15,3 años.

Las variables objeto de estudio tras la intervención realizada fueron el rendimiento académico, medido a través de una prueba de conocimientos, y las posibles diferencias en función del género y del gusto por la Biología. Así mismo, se analizó la satisfacción del alumnado respecto a la intervención educativa de Biotecnología por colores.

### 3.2. INSTRUMENTOS

Se diseñó una prueba de conocimientos que se aplicó antes y después de la intervención para determinar la repercusión de esta en el rendimiento académico del alumnado. La prueba de conocimientos consta de trece preguntas. Las cinco primeras referidas a las características sociodemográficas de la muestra, ocho preguntas referidas a conceptos teóricos trabajados mediante las actividades realizadas, una de respuesta abierta y siete de tipo test con cuatro opciones de respuesta de las que solo una es correcta.

El análisis de fiabilidad del instrumento a través de la prueba *Alpha de Cronbach* arroja una puntuación de 0,456.

Para determinar la satisfacción del alumnado con la experiencia realizada respecto a la práctica de la biotecnología por colores se recogieron las opiniones de los alumnos en una pregunta abierta respecto a sus apreciaciones durante el proceso.

### 3.3. PROCEDIMIENTO

La propuesta didáctica constó de dos actividades: una primera actividad teórica y una actividad práctica para poner en práctica los conocimientos adquiridos.

En la sesión teórica se impartió una clase magistral con apoyo de una presentación de PowerPoint con el equipo audiovisual necesario para tal fin. Dicha presentación comenzó con la definición de la Biotecnología propuesta en el Convenio de la Diversidad Biológica (Naciones Unidas, 1992) seguida de la presentación de la clasificación de la Biotecnología por colores, propuesta por DaSilva (2004) con la excepción de la Biotecnología negra que se eliminó por razones bioéticas. Se mostraron algunos ejemplos de aplicación cotidiana de cada uno de los colores para finalizar con un pequeño análisis del papel de las células y las enzimas en esta aplicación tecnológica.

La sesión práctica se realizó en el laboratorio, dividiendo a los alumnos en 6 equipos de trabajo. Se desarrollaron tres experiencias como ejemplos de diferentes colores de la Biotecnología, específicamente la roja, gris y amarilla, todas ellas de corta duración que se prepararon en una única sesión de 55 min.

La Biotecnología roja se trabajó a través de un estudio de inhibición de bacterias probióticas (*Lactobacillus* sp.). Las bacterias se sembraron por toda la superficie en placas Petri con Agar Nutritivo (previamente esterilizado a 121°C durante 10 minutos) donde, posteriormente, los alumnos depositaron discos de papel filtro de 1 cm previamente sumergidos en antibiótico, povidona yodada (Betadine), lejía y agua como control. Tras 24h de crecimiento a 37°C se observó el halo de inhibición producido por el efecto inhibitorio. De esta manera se quiso mostrar la relación entre los antibióticos y la inhibición bacteriana en el tratamiento de enfermedades.

Por su parte, como ejemplo de Biotecnología gris se desarrolló un experimento donde se muestra cómo el hongo ligninolítico *Trametes versicolor* es capaz de decolorar colorantes textiles, gracias a su capacidad de secretar enzimas fenoloxidasas (Arana *et al.*, 2010). Para ello, previamente se prepararon placas Petri con Agar Papa Dextrosa (previamente esterilizado a 121°C durante 20 min) suplementadas con 5% de colorante textil de color azul adquirido en el supermercado. Los alumnos, con la ayuda de un bisturí previamente flameado en la llama, seccionaron un parte del hongo y lo depositaron en la placa con colorante. Tras 72h de incubación a 30°C observaron el halo de decoloración producido por el hongo.

Finalmente, como ejemplo de Biotecnología amarilla se realizó un experimento sencillo donde se muestra cómo la levadura *Saccharomyces cerevisiae* produce gas capaz de inflar un globo y, por ello, es ampliamente utilizada en la producción de pan. Para ello, en botellas de plásticos de 500mL se añade agua hasta llenar, aproximadamente, un 75% de su capacidad y se añade una cucharada de azúcar, un sobre de la levadura (adquirida en el supermercado) y se sustituye el tapón por un globo.

### 3.4. ANÁLISIS DE DATOS

Al inicio de la intervención se realizó una medida del nivel de conocimientos del grupo (pretest). Una vez recogidos los datos se aplicó la intervención con la finalidad de mejorar el aprendizaje y se volvió a realizar la evaluación (postest).

En primer término, se aplicó la prueba de *Kolmogorov-Smirnov* y *Shapiro-Wilk* con la finalidad de comprobar si los datos recogidos respecto al rendimiento se mostraban dentro de una distribución normal. Como consecuencia de la anterior prueba se aplicó estadística no paramétrica, concretamente, la prueba de los rangos con signo de *Wilcoxon*, con la finalidad de determinar posibles diferencias de los resultados en las medidas pretest-postest. Posteriormente, se analizaron los resultados referentes al rendimiento académico mediante la prueba no paramétrica de *U de Mann-Whitney* para determinar la existencia de diferencias en los resultados respecto al nivel de conocimientos tanto en el pretest como

en el postest atribuibles al género. Para comprobar posibles diferencias en los resultados respecto al gusto por la asignatura de Biología tanto en los resultados pretest como en el postest se aplicó la prueba *Kruskal-Wallis*. Finalmente, para todas las comparaciones de grupos se han calculado los tamaños del efecto (r de Cohen), donde valores de  $r=0,10$  se consideran bajos,  $r=0,3$  medios,  $r=0,5$  grandes y  $r=0,7$  muy grande (Cohen, 1988).

Para la organización, la codificación y el análisis de los datos se utilizó el paquete estadístico SPSS 25.0

El análisis cualitativo se realizó a través del software ATLAS.ti9 generando una nube de palabras con las respuestas obtenidas en la pregunta abierta del cuestionario respecto a sus apreciaciones sobre la intervención didáctica. En dicho análisis se omitieron artículos, preposiciones, conjunciones y determinantes.

#### 4. RESULTADOS

En primer lugar, se muestra un análisis descriptivo de los datos obtenidos de la prueba de rendimiento (tabla 1) en la que se recoge como en la fase inicial de la experiencia (pretest) el grupo obtiene una media en sus puntuaciones de 4,18 puntos, mientras que la nota media de las puntuaciones tras la implementación de la intervención fue de 7,01.

**TABLA 1.** Datos estadísticos descriptivos pretest-postest

Prueba	N	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
Pretest	36	1,7	9,0	4,18	1,347
Postest	36	5,4	10,0	7,01	0,888

Fuente: elaboración propia.

En la comprobación de la normalidad de la distribución se aplica la prueba *Kolmogorov-Smirnov* con la corrección de *Lillefors* y la de *Shapiro-Wilk* (tabla 2), se obtienen en el pretest los valores de 0,924 ( $p=0,066$ ) y en el postest 0,883 ( $p=0,001$ ), resultados que muestran la



distribución no normal, puesto que  $p < 0,05$ , motivo por el cual se utilizó para la comparación de los resultados estadística no paramétrica.

**TABLA 2.** Prueba de normalidad del pretest y postest de los conocimientos de los estudiantes

Prueba	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Pretest	0,111	36	0,200	0,924	36	0,006
Postest	0,179	36	0,005	0,883	36	0,001

Fuente: elaboración propia

En función de lo expresado anteriormente se aplica la prueba de rangos con signo de *Wilcoxon* en la comparación de las notas de los estudiantes en las pruebas de pretest y postest (tabla 3) y se obtuvo una  $z = -5,233$  ( $p = 0,000$ ), existiendo rangos positivos en los 36 casos que componen la muestra, de lo que se desprende la significatividad de los resultados obtenidos tras la intervención observando un tamaño del efecto muy alto ( $r = 0,87$ ).

**TABLA 3.** Rangos con signo pretest-postest

	N	Rango promedio	Suma de rangos	Z	Sig. asintótica bilateral	Tamaño del efecto
Rangos positivos	36	18,50	666,0	5,233	0,000	0,87
Rangos negativos	0	0	0			
Empates	0					

Fuente: elaboración propia

La prueba *U de Mann-Whitney* (tabla 4) permite comprobar si existen diferencias relacionadas con el género. Se obtuvieron en el pretest  $z = -0,032$  ( $p = 0,974$ ) y para el postest  $z = -0,614$  ( $p = 0,547$ ). Los resultados mostraron que no había diferencias sustanciales en ninguna de las dos pruebas respecto al género.

**TABLA 4.** Rangos promedio entre hombre y mujeres para el pretest-postest

		N	Rango pro- medio	Suma de rangos	Z	Sig. asintótica bi- lateral
Pretest	Hombres	15	18,47	278,50	-0,032	0,974
	Mujeres	21	18,55	387,50		
Postest	Hombres	15	17,23	258,50	-0,614	0,547
	Mujeres	21	19,40	407,50		

Fuente: Elaboración propia

En el análisis de las posibles diferencias en la nota de los estudiantes respecto al gusto manifestado por la asignatura se procede a aplicar la prueba *Kruskal-Wallis* (tabla 5), prueba que confirma que no existen diferencias respecto al aumento en el rendimiento del alumnado en función al gusto mostrado por la asignatura ( $p=0,144$ ). Estos resultados reafirman la utilidad de la metodología empleada para todos los estudiantes, independientemente de sus intereses iniciales.

**TABLA 5.** Prueba de *Kruskal-Wallis* de muestras independientes entre la calificación obtenida y el gusto manifestado hacia la Biología

N total	36
Estadístico de contraste	5,417
Grados de libertad	3
Sig. asintótica (prueba bilateral)	0,144

Fuente: elaboración propia

En referencia a la pregunta abierta realizada a los estudiantes para conocer su opinión sobre la estrategia utilizada, los resultados (Figura 2) muestran que la percepción de los estudiantes fue positiva resaltando el interés que suscitó en ellos.



simplifican el término con Biotecnología tradicional, prácticamente restringida al sector alimentario, y Biotecnología moderna, prácticamente restringida a la Ingeniería Genética- (de la Vega, 2018) o poniendo ejemplos, únicamente, relacionados con la Ingeniería Genética (Arroyo, 2011).

Otro aspecto importante es el concepto de Biotecnología como tal. En el área académica existen diferentes definiciones que han sido, incluso, objeto de reflexión (Enrique *et al.*, 2007). En cambio, en investigación la definición está consensuada y siempre se utiliza la acordada por el Convenio de la Diversidad Biológica (Naciones Unidas, 1992) con ligeras modificaciones. Este hecho demuestra la desvinculación que existe entre ciencia y academia y se considera que la aplicación de intervenciones didácticas como la propuesta de utilizar la Biotecnología por colores puede ayudar a revertir esta tendencia.

La puesta en marcha de la presente propuesta didáctica, utilizando la clasificación de la Biotecnología por colores, con ejemplos contextualizados y cercanos a los estudiantes junto con las prácticas de laboratorio han mostrado un aumento significativo en el conocimiento de esta disciplina con un tamaño del efecto muy alto ( $r= 0,87$ ), sin observar diferencias atendiendo al género o al gusto manifestado por la asignatura de Biología. Esta desconexión entre el conocimiento y el género coincide con los resultados obtenidos por De la Vega *et al.* (2018) en su estudio sobre conocimientos y actitudes hacia la Biotecnología por alumnos de Educación Secundaria.

Como parte del cuestionario realizado se incluyen preguntas sobre el conocimiento de los alumnos de algunos procesos biotecnológicos demostrando grandes deficiencias en el pretest, posiblemente relacionadas con las preconcepciones de los alumnos y coincidiendo con los resultados aportados por De la Vega *et al.* (2018) y Ruiz González *et al.* (2017). En cambio, una vez implementada la propuesta didáctica los resultados obtenidos mejoraron notablemente, lo que pone de manifiesto que dichas preconcepciones se pueden modificar con una estrategia didáctica apropiada en contra de lo manifestado por De la Vega *et al.* (2018) quienes indican que dichas preconcepciones adquiridas en la infancia son muy difíciles de cambiar durante el periodo de aprendizaje.

Aun así, coincidimos con dichos autores en la importancia de producir materiales docentes que permitan a los estudiantes la comprensión de la Biotecnología y su vinculación con la vida diaria utilizando esta área como un contenido transversal durante toda la etapa de educación secundaria de manera que la utilización de la clasificación por colores puede ser una buena base de partida cuando, además, los estudiantes mostraron interés en ella, de manera que su utilización podría aumentar su interés hacia las ciencias.

## 6. CONCLUSIONES

La intervención didáctica basada en la Biotecnología por colores mostró ser efectiva en cuanto a la adquisición de conocimiento por parte de los alumnos de Educación Secundaria que expresaron, además, un manifiesto interés, independientemente de su género o intereses iniciales.

## 8. REFERENCIAS

- Abril A.M.; Mayoral M. V. y Muela, F. J. (2004) “Los medios de comunicación social y la didáctica de la Genética y la Biología Molecular en E.S.O.” En “La nueva alfabetización: un reto para la educación del siglo XXI” Ed. Centro de Enseñanza Superior en Humanidades y Ciencias de la Educación “Don Bosco”.367-368.
- Acevedo JA, Vázquez A. y Manassero MA. (2003) Evaluación de actitudes y creencias CTS: diferencias entre alumnos y profesores. *Revista de Educación* 328: 355-382.
- Álvarez Herrero, JF y Valls Bautista, C. (2019). Didáctica de las ciencias, ¿de dónde venimos y hacia dónde vamos? *Universitas Tarraconensis. Revista de Ciències de l'Educació*. 2, 5-19.  
<https://raco.cat/index.php/UTE/article/view/369759>.
- Arana, A., Téllez, A., Yagüe, S., Fermiñán, E., Carbajo, J.M., Domínguez, A., González, T., Villar, J.C. y González, A.E. (2010). Deslignificación de pasta kraft de *Pinus radiata* con una levadura genéticamente modificada para producir lacasa. *Forest System*, 19(2), 234-240.
- Arroyo Cruzado, G. (2011). La enseñanza y capacitación en Biotecnología desde la perspectiva de la Educación General. *Revista Umbral*, 4, 66-78.
- Aycardi, E. (1986). Alcance, desarrollo y perspectivas de la Biotecnología en el país. *Colombia. Ciencia y Tecnología*, 4, 28-29.

- Bergua Amores, J.A., Pac Salas, D., Báez Melián, J.M. y Serrano Martínez, C. (2016). La clase creativa. Una aproximación a la realidad española. *Revista Internacional de Sociología*, 74(2),1-19. <https://doi.org/10.3989/ris.2016.74.2.032>.
- Blanch, A.R. (2010). Biotecnología ambiental. Aplicaciones biotecnológicas en la mejora del medio ambiente. *Nota d'economia*, 97-98, 183-198.
- Borroto, C.G. (2008) La Biotecnología y sus aplicaciones en las ciencias veterinarias. *Conf. OIE*, 241-250.
- Briones Llorente, C., Casero Junquera, E., Martín Gago, J.A. y Serena Domingo, P.A. (2008). Nanotecnología... ¿Qué significa esta palabra? Martín Gago, J.A. (Ed). En: *Nanociencia y Nanotecnología. Entre la ciencia ficción del presente y la tecnología del futuro* (pp. 20-24). España: Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología.
- Cohen, J. (1988). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*, 2nd Edition; Lawrence Erlbaum: Hillsdale, United States of America.
- DaSilva E.J. (2004). The Colours of Biotechnology: Science, Development and Humankind. *Electron. J. Biotechnol*, 7, 3. <https://doi.org/10.4067/S071734582004000300001>.
- De la Vega-Naranjo M., Lorca-Marín A.A. y De las Heras-Pérez M.A.(2018) Conocimientos y actitudes hacia la biotecnología en alumnos de último curso de Educación Secundaria Obligatoria. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 15(3), 3301. [https://doi.org/10.25267/Rev\\_Eureka\\_ensen\\_divulg\\_cienc.2018.v15.i3.3301](https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2018.v15.i3.3301).
- Deming, J.W. (1998). Deep ocean environmental biotechnology. *Current Opinion in Biotechnology*, 9(3), 283-287. [https://doi.org/10.1016/S0958-1669\(98\)80060-8](https://doi.org/10.1016/S0958-1669(98)80060-8).
- Ekborg M. (2008) Opinion building on a socio-scientific issue: the case of genetically modified plants. *Journal of Biological Education* 42(2):60-65.
- Enrique Mirón, C., Cabo Hernández, J.M. y Cortiñas Jurado, J.R. (2007). La presencia de la Biotecnología dentro y fuera de la escuela. Primeros resultados de un estudio diagnóstico. *Publicaciones*, 37, 89-108.
- Fonseca, M.J., Costa, P., Lencastre, L. y Tavares, F. (2012) Multidimensional analysis of high-school students' perceptions about biotechnology. *Journal of Biological Education*, 46(3), 129-139.
- García Finat, F. (2017). Biotecnología naranja del conocimiento. [http://www.academia.edu/18540860/Biotecnolog%C3%ADa\\_naranja\\_de\\_l\\_conocimiento](http://www.academia.edu/18540860/Biotecnolog%C3%ADa_naranja_de_l_conocimiento).

- Hammann M. (2018) Biotechnology. En K. Kampourakis y M. J. Reiss (Eds.), *Teaching Biology in Schools Global Research, Issues, and Trends* (First edit, pp. 192–201). New York: Routledge.
- Karalija, E. (2017). Career development in Green Biotechnology in B&H: roadblocks and prospects. *CMBEBIH,IFMBE Proceedings* 62, 384-387. [https://doi.org/10.1007/978-981-10-4166-2\\_59](https://doi.org/10.1007/978-981-10-4166-2_59).
- Larqué-Saacetra, A. (2016). Biotecnología prehispánica en Mesoamérica. *Rev. Fitotec. Mex.*, 39, 107-115.
- Lewis J. y Wood-Robinson, C. (2000) Genes, chromosomes, cell division and inheritance – do students see any relationship? *International Journal of Science Education* 22(2):177-195.
- Lorenzo, M. G., Farré, A. S. y Rossi, A. M. (2018). La formación del profesorado universitario de ciencias. El conocimiento didáctico y la investigación científica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 15(3), 360301-360316.
- Lui, K. y Chan, S. (1999). Biotechnology education for teacher trainees. *New Horizons in Education. The Journal of Education Hong Kong Teachers' Association*, 40, 109-116.
- Malajovich, M. (2012). *Biotecnología*. Buenos Aires, Argentina: Editorial Universidad Nacional de Quilmes.
- Martin M.O., Mullis I.V.S. y Foy P., in collaboration with Olson J.F., Erberber E., Preuschoff C. & Galia J. (2007). *TIMSS 2007 International Science Report: Findings from IEA's Trends in International Mathematics and Science Study at the Fourth and Eighth Grades TIMSS & PIRLS International Study Center*. Boston: Lynch School of Education.
- Martín Barbero, I., Alvar Villegas, J. y Viñas Tormo, R. (2016). El potencial de la industria española en los mercados internacionales. *La Industria de la ciencia. Oportunidades para España ICE*, 888, 133-141.
- Mateos-Sillero, S. y Gómez-Hernández, C. (2019). *Libro blanco de las mujeres en el ámbito tecnológico*. Madrid: Ministerio de economía y empresa.
- Mayr, E. (2006). *Por qué es única la Biología. Consideraciones sobre la autonomía de una disciplina científica*. Buenos Aires, Argentina, Katz Ediciones.
- McInerney, J. (1990). *Teaching biotechnology in schools. Science and Technology Education Document Series*, 39. Unesco.
- Monks, A. (2010). Adapted PBL practical exercises: benefits for apprentices. *Journal of Vocational Education & Training*, 62(4), 455-466. <https://doi.org/10.1080/13636820.2010.533789>

- Naciones Unidas. (1992). Convenio de la Diversidad Biológica. Art. 2. Montréal. Canada. 30 p. <https://w.ww.cbd.int/doc/legal/cbd-es.pdf>.
- Oxford University Press España, S.A. (2016). Biología y Geología Dual, 4º ESO.
- Pedrancini V., Corazza-Nunes M.J., Galluch M.T., Moreira A.L. y Nunes W.M. (2007) Saber científico e conhecimento espontâneo: opiniões de alunos do ensinomédio sobre transgênicos. *Ciência e Educação* 14(1): 135-146.
- Perales, F. J. (2018). El área de Didáctica de las Ciencias Experimentales en España: entre la tribulación y la esperanza. *Ápice. Revista de Educación Científica*, 21(2), 1-14.
- Pérez Morales, C., Luengas, R. y Amador Ramíres, R.Y. (2008). Importancia de las prácticas de laboratorio en la enseñanza de la Biotecnología. *Revista Teckne*, 4, 26-29.
- PISA. Programa para la Evaluación Internacional de los Estudiantes (2018). <https://www.educacionyfp.gob.es/inee/evaluaciones-internacionales/pisa/pisa-2018/pisa-2018-informes-es.html>.
- Plan Estratégico para el Desarrollo de la Biotecnología en Canarias (2013). Situación y potencial desarrollo de la Biotecnología en Canarias 2014-2020. [http://oic.itccanarias.org/files/PLAN\\_ESTRATEGICO\\_BIOTECNOLOGIA.pdf](http://oic.itccanarias.org/files/PLAN_ESTRATEGICO_BIOTECNOLOGIA.pdf).
- Pliego, F. (2011). Biotecnología y sus efectos en los procesos de producción. *Uciencia*, 6, 42-43.
- Quintanilla, M. (2005). Historia de la ciencia y formación del profesorado: una necesidad irreductible. *Revista Tecne, Episteme y Didaxis*, número extra, 23-32.
- Ramón, D., Diamante, A. y Calvo, M.D. (2008) Food biotechnology and education. *Electronic Journal of Biotechnology*, 11(5).
- Real Decreto 1105/2014, de 26 de diciembre, por el que se establece el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato (2014). *Boletín Oficial del Estado*, de Sábado 3 de enero de 2015. <https://www.boe.es/boe/dias/2015/01/03/pdfs/BOE-A-2015-37.pdf>.
- Roa Acosta, R., Chavarro Amaya, C.Y. y García Sandoval, Y. (2008). Formación de profesores de Biología a través de la Biotecnología. *Educación y Educadores*, 11(2), 69-88.



- Ruiz González, C; Banet Hernández, E. y López Banet, L. (2017). Conocimientos de estudiantes que inician el Bachillerato sobre nociones básicas de genética y aplicaciones de la biotecnología. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 1421-8. <https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/335301>.
- Sáinz M., Castaño, C., Meneses, J., Fàbregues, S., Müller, J., Rodó, M., Martínez, J.L., Romano, M.J., Arroyo, L. y Garrido, N. (2017). ¿Por qué no hay más mujeres STEM? Se buscan ingenieras, físicas y tecnólogas. Madrid: Ariel.
- Sánchez Montero, J.M. (2007). Biotecnología blanca e industria farmacéutica. *An. R. Acad. Nac. Farm.*, 73(2), 501-535.
- Sasson, A. (1989). Biotecnología y los países en desarrollo: promesas y desafíos. Colombia. *Ciencia y Tecnología*, 7(1), 4-8.
- TIMMS. Estudio Internacional de Tendencias en Matemáticas y Ciencias. (2019). <https://www.educacionyfp.gob.es/inee/evaluaciones-internacionales/timss/timss-2019.html>
- Tai R., Lui C.Q., Maltese, A.V. y Fan, X. (2006). Career choice: planning early for careers in science. *Science* 312, 1143–1144.
- Villate, S. y Castellanos, O. (1998). Perspectivas de la Biotecnología de alimentos en Colombia. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 1,2, 69-72.
- Wymer, P. (1990). Considerations for implementation. En: J. McInerney (Ed.). *Teaching Biotechnology in School*. Paris: Unesco.