



# **Enseñanza-aprendizaje de la Biología Celular mediante Investigación Dirigida en el grado de Educación Primaria. Papel de las emociones**

MÁSTER UNIVERSITARIO DE INVESTIGACIÓN EN LA  
ENSEÑANZA Y EL APRENDIZAJE DE LAS CIENCIAS  
EXPERIMENTALES, SOCIALES Y LAS MATEMÁTICAS.

ESPECIALIDAD: DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS  
EXPERIMENTALES

FACULTAD DE EDUCACIÓN

**Alumno: José María Marcos Merino**

**Directores: M<sup>a</sup> Rocío Esteban Gallego**

**Jesús A. Gómez Ochoa de Alda**

## Resumen

Los diferentes modelos didácticos de enseñanza-aprendizaje, las ideas previas alternativas y la importancia del dominio afectivo en el aprendizaje de las ciencias son temas de actualidad en investigación educativa. En el presente Trabajo Fin de Máster se abordan estos tres temas con alumnos de tercero del Grado en Educación Primaria de la Universidad de Extremadura. Para ello, se elabora un cuestionario que permite evaluar los conocimientos previos, el aprendizaje y cuantificar las emociones. Además, se diseña una práctica de extracción de DNA con material cotidiano basada en modelo didáctico por investigación dirigida y se implementa en el laboratorio.

Las ideas previas alternativas relativas a la Biología Celular más extendidas en los alumnos son la situación de los cromosomas sexuales de manera exclusiva en los gametos, la localización del DNA dentro de la célula exclusivamente en el núcleo celular y la visión simplista de las células como estructuras circulares.

Los alumnos que desarrollan la práctica basada en la investigación dirigida obtienen mejores resultados de aprendizaje, en lo relativo a los conceptos tratados en la misma, que los alumnos que desarrollan la misma práctica con una metodología tradicional.

A lo largo de su vida académica los alumnos han sentido más emociones positivas y menos emociones negativas con las clases prácticas que con las clases expositivas. Existe una correlación positiva significativa entre las emociones positivas experimentadas en las clases prácticas recibidas a lo largo de su vida académica y el nivel de conocimientos previos de los alumnos, y una correlación negativa significativa entre estos y las emociones negativas experimentadas en dichas clases prácticas. También existe una correlación positiva entre el aprendizaje adquirido durante la intervención basada en la investigación dirigida y las emociones positivas experimentadas durante la misma. Estos resultados son compatibles con el papel de las emociones en el aprendizaje duradero.

<b><u>Índice</u></b>	<b>Pág.</b>
1. Introducción.....	8
2. Marco teórico.....	10
2.1 Marco normativo.....	10
2.2 Enseñanza de la ciencia: modelos didácticos.....	13
2.2.1 La enseñanza tradicional de la ciencia.....	14
2.2.2 La enseñanza expositiva.....	17
2.2.3 La enseñanza por descubrimiento.....	19
2.2.4 La enseñanza mediante investigación dirigida.....	21
2.2.5 La enseñanza mediante el conflicto cognitivo.....	24
2.2.6 La enseñanza por explicación y contrastación de modelos.....	27
2.3 Las ideas previas: ideas previas alternativas sobre Biología Celular.....	28
2.4 Los trabajos prácticos en el área de Ciencias.....	30
2.5 La emociones en la enseñanza-aprendizaje de las Ciencias.....	34
2.6 Contenidos: Biología Celular y Genética.....	38
3. Objetivos.....	52
4. Metodología.....	53
4.1 Hipótesis de investigación.....	53
4.2 Diseño de la investigación.....	53
4.3 Población y muestra.....	54
4.4 Instrumento.....	55
4.5 Intervención.....	58
4.6 Plan de análisis de datos.....	59
5. Resultados.....	61
5.1 Análisis descriptivo de la muestra.....	61
5.2 Análisis del pretest.....	62
5.2.1 Análisis descriptivo del pretest.....	62
5.2.2 Detección de ideas previas en base a la bibliografía.....	63
5.2.3 Análisis de las emociones.....	66
5.3 Análisis de las relaciones entre emociones y conocimiento previo.....	67
5.4 Análisis descriptivo del postest.....	70
5.4 Análisis de las intervenciones.....	71
5.5 Análisis de las relaciones entre emociones y aprendizaje.....	76
6. Discusión.....	80
7. Conclusiones.....	85

8. Anexos.....	86
9. Bibliografía.....	95

<u>Índice de figuras</u>	Pág.
<b>Figura 1.</b> Los procedimientos en ciencias	<b>13</b>
<b>Figura 2.</b> Estructura básica de la célula eucariota animal en la que se observan los tres componentes básicos de las células eucariotas: membrana plasmática, citoplasma y núcleo	<b>39</b>
<b>Figura 3.</b> Esquema y fotografía de microscopía electrónica de transmisión que reflejan la estructura básica de la célula procariota: membrana plasmática, citoplasma y nucleoide	<b>40</b>
<b>Figura 4.</b> Teoría de la endosimbiosis por la que se originaron las mitocondrias y los cloroplastos	<b>41</b>
<b>Figura 5.</b> Representación esquemática de la estructura de la bicapa lipídica según el modelo del mosaico fluido	<b>42</b>
<b>Figura 6.</b> Fotografía de microscopía electrónica de transmisión en la que se observan (señaladas con flechas) dos membranas plasmáticas que rodean a dos células y el espacio que queda entre ellas (señalado con una estrella)	<b>43</b>
<b>Figura 7.</b> Representación esquemática de la estructura de una célula eucariota representativa: principales orgánulos	<b>44</b>
<b>Figura 8.</b> Reconstrucción tridimensional del retículo endoplasmático liso y rugoso	<b>45</b>
<b>Figura 9.</b> Fotografía de microscopía electrónica de transmisión del retículo endoplasmático rugoso	<b>45</b>
<b>Figura 10.</b> Esquema que reflejan la estructura del aparato de Golgi	<b>46</b>
<b>Figura 11.</b> Fotografía de microscopía electrónica de transmisión que reflejan la estructura del aparato de Golgi	<b>46</b>
<b>Figura 12.</b> Representación esquemática de una mitocondria	<b>47</b>
<b>Figura 13.</b> Fotografía de microscopía electrónica de transmisión de una mitocondria	<b>47</b>
<b>Figura 14.</b> Fotografía de microscopía óptica de una célula vegetal, donde se pueden observar como la gran vacuola central desplaza al citosol, al núcleo y a los orgánulos a la periferia celular	<b>48</b>
<b>Figura 15.</b> Estructura básica de los cloroplastos	<b>49</b>
<b>Figura 16.</b> Estructura del núcleo celular	<b>50</b>
<b>Figura 17.</b> Estructura básica de la doble hélice de DNA	<b>51</b>
<b>Figura 18.</b> Rectas de regresión de las emociones negativas en función de las emociones positivas	<b>57</b>
<b>Figura 19.</b> Distribución del alumnado (grupos B1, B2 y C1) en función de la edad	<b>61</b>
<b>Figura 20.</b> Distribución de las emociones positivas y negativas que experimenta el alumnado con las clases expositivas y con las prácticas	<b>66</b>

<b>Figura 21.</b> Rectas de regresión del recuerdo de haber sentido las emociones positivas (rojo) y negativas (azul) de las clases expositivas en función de la nota obtenida en el pretest	<b>68</b>
<b>Figura 22.</b> Rectas de regresión del recuerdo de haber sentido las emociones positivas (rojo) y negativas (azul) de las clases prácticas en función de la nota obtenida en el pretest	<b>69</b>
<b>Figura 23.</b> Rectas de regresión de la expectativa de sentir emociones positivas (rojo) y negativas (azul) ante la práctica de extracción de DNA en función de la nota obtenida en el pretest	<b>70</b>
<b>Figura 24.</b> Distribución de los resultados que obtienen los alumnos de Badajoz en pretest (rojo) y en el postest (azul)	<b>72</b>
<b>Figura 25.</b> Distribución de los resultados que obtienen los alumnos de Badajoz en las partes 1, 2 y 3 del pretest y del postest	<b>73</b>
<b>Figura 26.</b> Distribución de los resultados que obtienen los alumnos de Cáceres en pretest (rojo) y en el postest (azul)	<b>74</b>
<b>Figura 27.</b> Distribución de los resultados que obtienen los alumnos de Cáceres en las partes 1, 2 y 3 del pretest y del postest	<b>74</b>
<b>Figura 28.</b> Distribución de las emociones positivas y negativas que experimentó el alumnado de Badajoz y de Cáceres con la realización de la práctica de extracción de DNA	<b>75</b>
<b>Figura 29.</b> Rectas de regresión de las emociones positivas y negativas experimentadas durante la práctica de extracción de DNA por los alumnos de Badajoz en función de la nota obtenida en el postest	<b>77</b>
<b>Figura 30.</b> Rectas de regresión de las emociones positivas y negativas experimentadas durante la práctica de extracción de DNA por los alumnos de Badajoz en función de la nota obtenida en la parte 2 del postest	<b>78</b>
<b>Figura 31.</b> Rectas de regresión de las emociones positivas y negativas experimentadas durante la práctica de extracción de DNA por los alumnos de Cáceres en función de la nota obtenida en el postest	<b>79</b>

## Índice de tablas

Pág.

<b>Tabla 1.</b> Emociones positivas y negativas que pueden experimentar los alumnos ante un proceso de enseñanza-aprendizaje	<b>56</b>
<b>Tabla 2</b> Distribución del alumnado de los grupos B1, B2 y C1 en función del sexo, edad media y edad de acceso a los estudios universitarios	<b>61</b>
<b>Tabla 3.</b> Resultados obtenidos por los alumnos de los grupos B1, B2 y C1 en las partes 1, 2 y 3 del pretest, así como la nota media de las tres partes y de las emociones positivas y negativas experimentadas con las clases expositivas, prácticas y las previas a la intervención	<b>62</b>
<b>Tabla 4.</b> Resultados obtenidos (en porcentaje) por los alumnos de los grupos B1, B2, C1 en las preguntas de la parte 1 del pretest. Con un asterisco (*) se indica la respuesta correcta. (V, verdadero; F, falso)	<b>63</b>
<b>Tabla 5.</b> Resumen de las correlaciones entre el conocimiento previo y las emociones positivas y negativas experimentadas durante las clases expositivas, prácticas y las emociones previas a la intervención	<b>69</b>
<b>Tabla 6.</b> Resultados obtenidos por los alumnos de los grupos B1, B2 y C1 en las partes 1, 2 y 3 del postest, así como la nota media de las tres partes y de las emociones positivas y negativas experimentadas con la práctica realizada en el presente TFM	<b>70</b>

## **1. INTRODUCCIÓN**

Los trabajos prácticos tienen un papel fundamental en la enseñanza de las ciencias, ya que motivan a los alumnos, favoreciendo el aprendizaje de conceptos y la adquisición de habilidades y destrezas científicas (Albadalejo y Caamaño, 1992). Sin embargo, los resultados de las prácticas tradicionales, en las que los alumnos aplican un protocolo cerrado proporcionado por el profesor, no son satisfactorios (García *et al.*, 1995; Hodson, 1994; Reigosa y Jiménez, 2000). Por ello, la enseñanza constructivista concibe los trabajos prácticos bajo el enfoque del modelo didáctico de investigación dirigida, planteando el desarrollo de pequeñas investigaciones por parte de los alumnos bajo la supervisión del profesor (Furió *et al.*, 1994, Gil y Valdés, 1995, Gil y Valdés, 1996, Pozo y Gómez, 1998).

El alumnado que recibe las clases de Biología presenta ideas previas alternativas relativas a los conceptos impartidos en el aula, que son fruto de su experiencia personal o de una enseñanza inadecuada e influida por las concepciones alternativas de los docentes y por las concepciones presentes en los libros de texto (Flores y Ruiz, 2011). Estas ideas, fruto de la construcción personal y/o social, son muy resistentes al cambio.

Por otro lado, las emociones que sienten los alumnos y los profesores tienen un papel crucial en los procesos de enseñanza-aprendizaje de las ciencias. El cambio conceptual es tanto cognitivo como afectivo, por lo que las emociones que experimentan los alumnos con respecto a los procesos de enseñanza-aprendizaje de las ciencias son un factor determinante en el aprendizaje de las mismas (Costillo *et al.*, 2013; Garritz, 2009). Así, la información que está relacionada con algún estímulo emocional se recuerda mejor que la información neutral (Kensinger y Corkin, 2004).

Dada la importancia que tiene para el docente conocer la ideas previas que presentan los alumnos, utilizar una metodología adecuada y tener en cuenta las emociones para que el proceso de enseñanza-aprendizaje sea efectivo, en el presente Trabajo Fin de Máster (TFM) se analiza y/o contrastan algunas de las principales teorías descritas en la bibliografía en cuanto a ideas previas alternativas, modelos didácticos tradicional y por investigación dirigida y el dominio afectivo, todo ello en el

área de las Ciencias Experimentales y con una muestra de alumnos de tercero del Grado en Educación Primaria de la Universidad de Extremadura.

Concretamente, y con el fin último de profundizar en el conocimiento del proceso de enseñanza-aprendizaje, se analizan los conocimientos previos relativos a Biología Celular y Genética de los alumnos y la frecuencia con la que, a lo largo de su vida académica, han experimentado emociones positivas y negativas con las clases expositivas y prácticas de Biología; estudiándose la posible relación entre ambas variables. Se diseña e implementa una práctica de laboratorio, para extraer DNA con material cotidiano, basada en el modelo didáctico por investigación dirigida. Además, se estudia la posible relación entre las emociones experimentadas durante la práctica y los resultados de aprendizaje tras la misma, comparándose éstos con las emociones y los resultados de aprendizaje experimentados por un grupo de alumnos que realiza la misma práctica bajo el enfoque tradicional.

## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1 Marco normativo**

La Educación Primaria es una etapa educativa obligatoria, que se cursa entre los seis y los doce años, cuya principal finalidad es contribuir al desarrollo personal y social a través de procesos de enseñanza-aprendizaje de diferentes materias, entre las que se encuentran las científico-tecnológicas. Para desarrollar con eficacia los procesos educativos de las distintas áreas de esta etapa, los futuros maestros han de adquirir la formación académica y práctica acorde con los objetivos marcados por las leyes educativas (Ley Orgánica 2/2006, de 3 de mayo, de Educación y Ley Orgánica 8/2013, de 9 de diciembre, para la Mejora de la Calidad Educativa). Entre las competencias que deben alcanzar los futuros maestros, establecidas en el Plan de Estudios del Grado en Educación Primaria encontramos las siguientes competencias relacionadas con los contenidos científicos (Universidad de Extremadura, 2008):

Competencia 37: Comprender los principios básicos y las leyes fundamentales de las ciencias experimentales (Física, Química, Biología y Geología)

Competencia 38: Conocer el currículo escolar de estas ciencias

Competencia 39: Plantear y resolver problemas asociados con las ciencias a la vida cotidiana

Competencia 40: Valorar las ciencias como un hecho cultural

Competencia 41: Reconocer la mutua influencia entre ciencia, sociedad y desarrollo tecnológico, así como las conductas ciudadanas pertinentes para procurar un futuro sostenible (p. 11)

La adquisición de estas competencias se consigue a través de tres asignaturas (18 créditos ECTS) que según la estructura de dicho Plan de Estudios se encuadran dentro del módulo didáctico disciplinar: Didáctica de la Materia y la Energía, Didáctica del Medio Físico y los Seres Vivos y Conocimiento del Medio Natural en Educación Primaria.

El Libro Blanco para la titulación de maestro en Educación Primaria señala que entre las competencias específicas comunes a todos los maestros deben estar (ANECA, 2005):

- Conocimiento de los contenidos que hay que enseñar, comprendiendo su singularidad epistemológica y la especificidad de su didáctica
- Sólida formación científico-cultural y tecnológica

Los futuros maestros deben de tener pues, una formación relacionada con los contenidos científicos que deben de impartir a los alumnos de Educación Primaria. El Decreto 103/2014 de 10 de junio, por el que establece el Currículo de Educación Primaria para la Comunidad Autónoma de Extremadura, afirma, dentro de la asignatura de Ciencias Naturales, que:

A través de las ciencias de la naturaleza nos acercamos al trabajo científico y a su contribución al desarrollo, por lo que es necesario proporcionar a todos los alumnos y alumnas las bases de una formación científica que les ayude a desarrollar las competencias necesarias para desenvolverse en una realidad cambiante cada vez más científica y tecnológica. (p. 20)

También apunta que los conocimientos científicos se integran en el currículo básico de la Educación Primaria debido a que:

Es de gran importancia iniciar de forma temprana la educación científica tanto por su valor formativo como por su capacidad para potenciar la disposición de los niños a hacerse preguntas y buscar explicaciones sobre la naturaleza y el entorno. La ciencia es una forma para descubrir y aprender y una excelente escuela para adquirir competencias que preparen a los niños para desenvolverse en la sociedad actual. (p.20)

Además, defiende que los alumnos de este nivel se inician en la resolución de problemas y en la interpretación de fenómenos naturales a través de las Ciencias Naturales, mediante procedimientos típicos de la metodología científica como:

La capacidad de formular preguntas, identificar el problema, formular hipótesis, planificar y realizar actividades, observar, recoger y organizar la información relevante, sistematizar y analizar los resultados, sacar conclusiones y comunicarlas, trabajando de forma cooperativa y haciendo uso de forma adecuada de los materiales y herramientas. (p. 20)

Debido a esto, en todos los cursos de la Educación Primaria, dentro de la asignatura de Ciencias Naturales, se incluye un bloque de contenidos comunes denominado “Iniciación a la actividad científica”, que está relacionado con el resto de

los bloques, dado su carácter transversal, y que deben desarrollarse de una manera integrada a lo largo del curso. El decreto afirma que con este bloque se pretende:

Ofrecer oportunidades para que el alumnado desarrolle de forma integrada los conocimientos, las habilidades y el proceso de investigación científica. Algunas de las habilidades que deben potenciarse son manipular, observar, explorar, experimentar, registrar, medir, analizar, comparar, clasificar, formular preguntas, predecir, argumentar, planificar, extraer conclusiones, comunicar para poder avanzar en las etapas de la investigación científica: observar y preguntar, experimentar, planificar y analizar las evidencias y comunicar. (p. 21)

Con respecto a los contenidos abordados en el presente trabajo Fin de Máster, los relacionados con la Biología Celular, el decreto 103/2014 incluye para la asignatura Ciencias Naturales de sexto de Educación Primaria, dentro del bloque de contenidos “Los seres vivos”, los siguientes contenidos:

Seres vivos, seres inertes. Diferenciación

Organización interna de los seres vivos. Estructura de los seres vivos: células, tejidos: tipos; órganos; aparatos y sistemas: principales características y funciones

Los seres vivos: Características, clasificación y tipos

Los animales vertebrados e invertebrados, características y clasificación

Las plantas: La estructura y fisiología de las plantas. La fotosíntesis y su importancia para la vida en la Tierra (p. 44)

Estos contenidos están estrechamente relacionados con el criterio de evaluación 1 y los estándares de aprendizaje evaluables 1.1 y 1.2 establecidos por el mismo decreto:

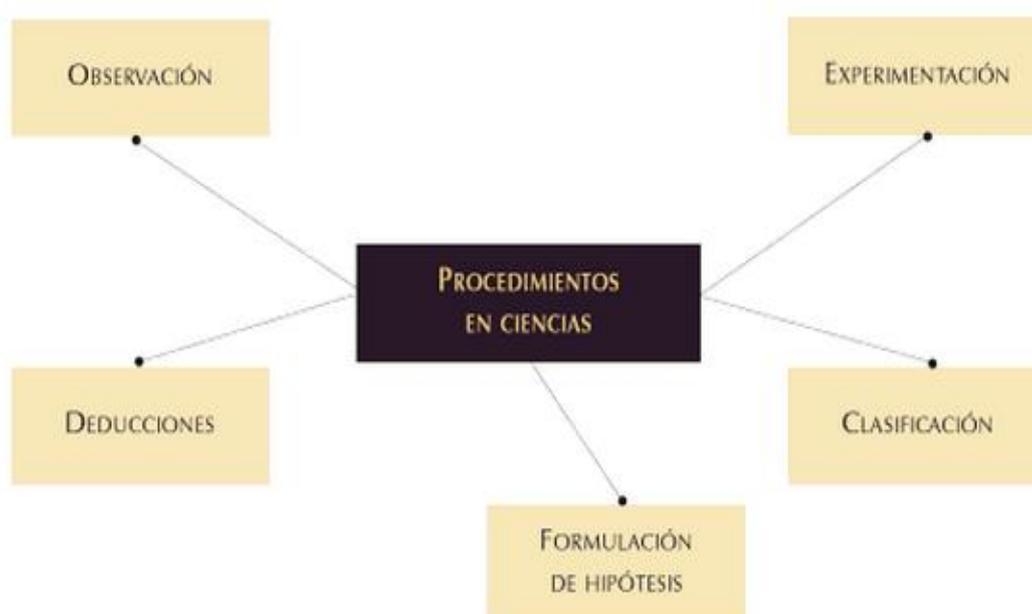
1. Conocer la estructura de los seres vivos: células, tejidos, tipos, órganos, aparatos y sistemas: identificando las principales características y funciones

1.1. Identifica y explica las diferencias entre, seres vivos y seres inertes

1.2. Identifica y describe la estructura de los seres vivos: células, tejidos, órganos, aparatos y sistemas, identificando las principales características y funciones de cada uno de ellos (p. 44)

## 2.2 Enseñanza de la ciencia: modelos didácticos

La adquisición del conocimiento científico requiere un cambio profundo de las estructuras conceptuales y las estrategias utilizadas habitualmente en la vida cotidiana. Esto debe ser producto de un largo proceso de instrucción en el que se logre que los alumnos aprendan ciencia de un modo significativo y relevante. Concretamente, debe comprender los procesos de la actividad científica: la observación, la clasificación, la formulación de hipótesis, la experimentación y la deducción (Timoneda, 2006).



**Figura 1.** Los procedimientos en ciencias. Fuente: Timoneda, S. V. (2006). *Ciencia 0-3: laboratorios de ciencias en la escuela infantil* (Vol. 15). Graó.

El objetivo de la educación científica es lograr que los alumnos construyan en las aulas actitudes, procedimientos y conceptos que por sí mismos no lograrían elaborar en contextos cotidianos, según el enfoque de la Zona de Desarrollo Próximo de Vygotsky (Pozo y Gómez, 1998).

Siguiendo a estos mismos autores, se presentan y describen algunos de los modelos didácticos que se han propuesto y desarrollado en los últimos años para la enseñanza de la ciencia:

- La enseñanza tradicional de la ciencia

- La enseñanza expositiva
- La enseñanza por descubrimiento
- La enseñanza mediante investigación dirigida
- La enseñanza mediante el conflicto cognitivo
- La enseñanza por explicación y contrastación de modelos.

El modelo de enseñanza es un plan estructurado que sirve para configurar el currículo, para diseñar materiales y para orientar la enseñanza en las aulas (Joyce y Weil, 1985). Según Porlán (1992), con la construcción de modelos didácticos no sólo se pretende describir y entender una realidad sino también “informar sobre cómo intervenir en ella para transformarla” (p. 11).

Seguidamente se muestran y contrastan diversas alternativas de educación científica, cada una de las cuales responde a una concepción distinta. La aplicación o no de cada uno de estos modelos didácticos en el aula depende de los objetivos que se plantee el docente, de lo que quiera conseguir con su aplicación. Así, y según Pozo y Gómez (1998) “nuestra idea es que no existen buenas o malas formas de enseñar, sino adecuadas o no a unas metas y a unas condiciones dadas” (p.266); por lo que, y según Vega y Garrote (2005): “no es la técnica lo que hay que cuestionar, sino el uso que se hace de ella” (p. 6).

### **2.2.1 La enseñanza tradicional de la ciencia**

Este enfoque está basado en la transmisión de conocimientos científicos de manera verbal por parte del profesor, relegando a los alumnos a un papel meramente reproductivo y considerando la ciencia como un cuerpo cerrado de conocimientos a transmitir (Jiménez, 1992). Durante las últimas décadas la ciencia ha sido envuelta por un halo de complejidad que hace creer que es inaccesible para mentes poco entrenadas. Esto se refleja en la tendencia a asumir que el mejor currículo de ciencias es el más riguroso. Así, parece más importante saber que el ADN es el ácido desoxirribonucleico más que su importancia en la herencia. Todo esto reduce el aprendizaje de la ciencia por parte de los alumnos a memorizar conceptos que después tienen que “regurgitar” en los exámenes (Alberts, 2012). En relación a esto, Allègre (1998) defiende que en la educación del siglo XXI es necesario remodelar los currículos

para reducirlos y abordar en las aulas los elementos principales de las disciplinas científicas:

Programas y contenidos son demasiado pesados y no siempre al día. Nuestros estudiantes saben mucho de los detalles, sin embargo, a menudo no logran dominar los elementos esenciales. El desafío para las escuelas secundarias es actualizar el plan de estudios sin extender la semana escolar. (p. 515)

Con la aplicación de este modelo didáctico la lógica de la disciplina científica que imparte el docente se impone a cualquier otro criterio educativo. Esto se debe a que la formación del profesorado de ciencias se basa casi exclusivamente en los contenidos disciplinares, con una escasa formación didáctica (tanto en lo referido a la formación recibida en las diferentes didácticas específicas como con respecto a las prácticas de enseñanza) previa al ejercicio de la función docente (Oliva-Martínez y Acevedo-Díaz, 2005). Anderson *et al.* (2011) defienden que los docentes no reciben la suficiente formación experimental, ya que en las prácticas docentes fueran óptimas deben tener tiempo para experimentar con nuevos métodos e identificar las estrategias que puedan aplicar eficazmente en entornos específicos.

En este modelo, el profesor es un mero proveedor de conocimientos ya elaborados listos para el consumo, y el alumno, el consumidor de esos conocimientos, que se presentan como hechos que tiene que aceptar (Pozo, 1999a). La enseñanza tradicional de la ciencia se reduce a exponer verbalmente los contenidos científicos a los alumnos, considerados como una página en blanco que asimilan los contenidos expuestos por el docente, considerado como portavoz de la ciencia (Jiménez, 1992; Ortega, 2007).

Aunque esta concepción educativa resulte poco sostenible sigue siendo un modelo muy vigente en nuestras aulas, ya que es asumido por muchos profesores de ciencias, que en su día también aprendieron la ciencia de esta manera. Este modelo tiene su fundamento en unas suposiciones inadecuadas que, según Calatayud, Gil y Gimeno (1992), son:

- Enseñar es una tarea fácil y no requiere una especial preparación.

- El proceso de enseñanza-aprendizaje se reduce a una simple transmisión y recepción de conocimientos elaborados.
- El fracaso de muchos alumnos se debe a sus propias deficiencias: falta de nivel, falta de capacidad...

La enseñanza tradicional de la ciencia selecciona y organiza los contenidos del currículo en base al conocimiento disciplinario las actividades de enseñanza se reducen a explicar dichos contenidos mediante clases magistrales, transmitiendo una visión estática y absoluta de la ciencia, utilizando como principal apoyo el libro de texto (Jiménez, 1992). Como afirman Pozo y Gómez (1998):

En este enfoque los currículos para la educación secundaria y con ellos los materiales y las actividades didácticas emulan en lo posible el formato de la enseñanza de esas mismas materias en la universidad. La propia formación disciplinar del profesorado de Educación Secundaria alienta esta concepción: se trata de enseñar aquello que se aprendió y tal como se aprendió (p.270).

Este tipo de enseñanza transmisiva y unidireccional conduce a evaluaciones de carácter más sumativo que formativo, basadas en que los alumnos devuelvan al profesor el conocimiento que éste les impartió de la forma más precisa y reproductiva posible. En ocasiones incluye la evaluación de la resolución de ejercicios repetitivos o "problemas-tipo" mediante el sistema de resolución previamente impartido por el profesor.

La aplicación de este modelo didáctico resulta poco funcional en el contexto de las nuevas demandas de aprendizaje que caracterizan a la sociedad actual, que requieren que los alumnos como futuros ciudadanos usen sus conocimientos de modo flexible ante los problemas que se les plantean. Para ello, según Pozo y Gómez (1998), se requieren "destrezas y estrategias para activar adecuadamente los conocimientos" (p. 273). Por ello, los enfoques alternativos a la enseñanza tradicional insisten en la necesidad de que los alumnos desempeñen un papel más activo en clase (Campanario y Moya, 1999). Además, esta enseñanza provoca diferencias entre las metas del profesor y de los alumnos, favoreciendo la desmotivación del alumnado y la frustración por ello del docente.

### **2.2.2 La enseñanza expositiva**

Ausubel, principal defensor de esta metodología de enseñanza, afirma que los problemas generados por la enseñanza tradicional no se deben a su enfoque expositivo, sino al inadecuado manejo de los procesos de aprendizaje de los alumnos. Así, para fomentar la comprensión, se deben mejorar la eficacia de las exposiciones. Según este autor, la enseñanza de la ciencia consiste en que los alumnos asuman como propios los significados científicos.

El objetivo final de este modelo de enseñanza de la ciencia es la transmisión de contenidos conceptuales relegando a un segundo plano los contenidos procedimentales y actitudinales (Pozo y Gómez, 1998). Esto se pone de manifiesto en algunas de las afirmaciones de Ausubel *et al.* (1978) como: "Cualquier currículo de ciencias digno de tal nombre debe ocuparse de la presentación sistemática de un cuerpo organizado de conocimientos como un fin explícito en sí mismo"(citado por Pozo y Gómez, 1998; p. 280). La enseñanza expositiva selecciona y organiza los contenidos del currículo en base a la estructura conceptual de la propia disciplina, procediendo de lo general a lo específico, en un proceso de diferenciación conceptual progresiva.

Ausubel propuso la enseñanza expositiva como modelo para alcanzar aprendizajes significativos, en los que la nueva información impartida en el proceso de enseñanza-aprendizaje se relaciona con la que poseían antes del mismo. Así, además de basarse en la lógica de la disciplina a impartir, la enseñanza expositiva pone de manifiesto la necesidad de partir de los conocimientos previos de los alumnos:

Si tuviese que reducir toda la psicología educativa solamente a un único principio, yo enunciaría éste: el factor más importante que influye en el aprendizaje del alumno es lo que el alumno ya sabe. Averígüese esto y enséñese en consecuencia (Ausubel *et al.*, 1978; citado por Pozo y Gómez, 1998; p. 281)

La enseñanza expositiva se entiende como la organización e integración de la información en la estructura cognitiva del sujeto, donde se encuentra organizado el conocimiento previo. (Quuas y Crespo, 2003). Cuando el alumno es capaz de anclar los

nuevos conocimientos en conocimientos relevantes ya existentes en su estructura cognitiva se producen aprendizajes significativos (Vega y Garrote, 2005)

Así, para que una explicación o exposición resulte eficaz, debe establecer de modo explícito relaciones entre la nueva información que se presenta y algunos conocimientos ya presentes en la estructura cognitiva del alumno. Según Ausubel, se produce una asimilación de la nueva información a ciertas ideas inclusoras presentes en la mente del alumno. Si no existen dichas ideas inclusoras es necesario recurrir a un organizador previo (un ejemplo, un contexto...) (Marín *et al.*, 1997 y Pozo y Gómez, 1998), para “tender un puente cognitivo entre lo que el alumno ya sabe y lo que necesita saber antes de aprender significativamente la tarea en cuestión” (Ausubel *et al.*, 1978; citado por Pozo y Gómez, 1998; p. 282).

En este tipo de enseñanza el profesor tiene un papel fundamental, dirigiendo y guiando la atención de los alumnos para que éstos capten la información, lo que requiere esfuerzo y tiempo por su parte (Vega y Garrote, 2005). Para ello, los profesores deben de mantener el interés de los alumnos actuando como comunicadores generadores de conocimiento más que como transmisores de información; y, deben de preparar materiales de estructura clara y explícita que traten los contenidos de lo simple y general a lo diferenciado y complejo, ofreciendo a la vez una visión global de los contenidos (Sánchez, 2011). Algunas de las estrategias de enseñanza para favorecer el aprendizaje significativo son los esquemas, los mapas conceptuales, los resúmenes, las preguntas, las analogías, la realimentación, los glosarios..., que sirven como organizadores visuales que ayudan a gestionar el conocimiento a través de la visualización (Gallegos y Huerta, 2014).

Este enfoque exige una compatibilidad o paralelismo entre las estructuras conceptuales del alumno y las estructuras de conocimiento científico, algo que solo se consigue como es reconocido por el propio Ausubel, con alumnos de un determinado nivel de desarrollo cognitivo. Así, esta propuesta solo sería eficaz a partir de la adolescencia. Con respecto a la evaluación, se basa exclusivamente en los contenidos conceptuales, mediante tareas que reflejen la estructura conceptual del alumno y su capacidad para relacionar los conceptos abordados (Pozo y Gómez, 1998).

La enseñanza expositiva de la ciencia se asemeja bastante a lo que muchos profesores expertos intentan llevar a cabo en sus aulas: transmitir un cuerpo cerrado de conocimientos teniendo en cuenta los conocimientos previos del alumno y estableciendo conexiones entre los distintos conceptos impartidos. Es un modelo adecuado para conseguir que los alumnos comprendan algunos conceptos científicos, sin embargo, ha sido criticada por su limitada capacidad para cambiar de forma radical los conocimientos previos de los alumnos. En este sentido se le considera más como una teoría de comprensión que como una teoría de aprendizaje (Pozo y Gómez, 1998).

### **2.2.3 La enseñanza por descubrimiento**

La enseñanza por descubrimiento surgió como rechazo al modelo tradicional, centrando la enseñanza de las ciencias en los procesos y en las actividades de los alumnos, para que estos fueran descubriendo por ellos mismos el conocimiento científico (Jiménez, 1992). Este modelo asume que el ser humano está dotado de potencialidad natural para descubrir conocimiento, por lo que la mejor manera de que los alumnos aprendan ciencia es haciendo ciencia, a través de la resolución significativa de problemas (Barrón, 1993). Así, la enseñanza de la ciencia debe basarse en experiencias en las que los alumnos investiguen y reconstruyan los principales descubrimientos científicos. Se trata de enfrentar a los alumnos a situaciones problemáticas abiertas para que construyan principios y leyes científicas (Campanario y Moya, 1999), tratando por tanto de replicar experimentos cruciales de la historia de la ciencia situando al alumno en el papel del científico. Este enfoque da por supuesto que “la metodología didáctica más potente es de hecho la propia metodología de la investigación científica” (Pozo y Gómez, 1998; p. 273).

Así, la mejor manera de aprender algo es descubrirlo por uno mismo, ya que como dijeron Piaget y Deval (1970): “cada vez que se le enseña prematuramente a un niño algo que hubiera podido descubrir solo, se le impide a ese niño inventarlo y en consecuencia entenderlo completamente” (p. 28). De esta manera, los valedores del aprendizaje por descubrimiento fundamentaban su propuesta en la teoría de Piaget, según la cual el niño construye su propio conocimiento en interacción con el medio en el que vive, defendiendo que este modelo didáctico permite la adquisición de

destrezas del pensamiento formal (Campanario y Moya, 1999). Con respecto al papel de los profesores, éstos no transmiten el conocimiento sino que dirigen su descubrimiento a través de la planificación y coordinación de distintas experiencias y actividades didácticas más o menos guiadas (Barrón, 1993; Jiménez, 1992; Pozo y Gómez, 1998), consiguiendo así que el descubrimiento sea un proceso pedagógicamente promovido.

Este enfoque de la enseñanza parte del supuesto de que los alumnos están dotados de unas capacidades intelectuales similares a las de los científicos, de forma que enfrentados a las mismas situaciones que los científicos desarrollan las estrategias características de este método y acceden a las mismas conclusiones que ellos. También asume el método científico como la aplicación rigurosa de unas determinadas estrategias de investigación que conducen necesariamente al descubrimiento de la realidad.

La enseñanza por descubrimiento selecciona y organiza los contenidos del currículo en base a criterios exclusivamente disciplinares, pero no entendidos como saberes estáticos (como en la enseñanza tradicional) sino como preguntas/problemas a los que hay que buscar una solución (Pozo y Gómez, 1998). Presta escasa atención a los contenidos que el alumno debe aprender frente a los métodos y así, a diferencia de la enseñanza tradicional, el currículo está orientado a desarrollar en los alumnos actitudes propias de los científicos (Campanario y Moya, 1999; Ortega, 2007). La evaluación del aprendizaje de los alumnos a partir de esta estrategia didáctica resulta más completa y compleja que en el modelo tradicional, ya que no sólo se debe tener en cuenta el conocimiento conceptual alcanzado por el alumno, sino que también los procedimientos y actitudes utilizados para ello.

Entre las principales dificultades de enseñanza y aprendizaje a través de este modelo se encuentra, en primer lugar, la suposición de la compatibilidad entre la mente de los alumnos y la de los científicos, criticado por muchos autores como Ausubel *et al.* (1978; citado por Pozo y Gómez, 1998), que afirmaban que:

Una enseñanza basada en el descubrimiento sería accesible para muy pocos alumnos y difícilmente podría cumplir con los objetivos de la educación científica secundaria, que

debe adecuarse a las capacidades y condiciones de la mayoría de los alumnos a los que va dirigida (p. 279).

Según los detractores de la enseñanza por descubrimiento, ésta es poco viable porque no todo conocimiento es descubierto por uno mismo, ya que en la mayoría de los casos es necesaria la intervención directa del profesor; y además, no conduce de manera ineludible a la organización, transformación y empleo del conocimiento como un producto ordenado e integrado (Gallegos y Huerta, 2014). Es decir, el descubrir un concepto no lleva necesariamente al aprendizaje del mismo.

Además, no diferencia entre metodología de enseñanza, procedimientos de aprendizaje y procesos propios científicos, confundiendo la distinta naturaleza y función social de los contextos de investigación científica y los contextos educativos (Pozo y Gómez, 1998). También ha sido criticado por estar basado en un fundamento epistemológico inductivista-empirista, superado hoy día, en el que prima la aplicación del método científico basado en la observación y en la formulación de hipótesis (Campanario y Moya, 1999; Gil, 1983; Jiménez, 1992). Esto se refleja en la falta de atención que presta a los contenidos, ignorando el importante papel de éstos en las investigaciones científicas (Gil, 1983), y en que se basa más en la actividad manipulativa del alumno que en la actividad psicológica, que es la que genera el aprendizaje (Campanario y Moya, 1999). Otro problema está relacionado con la figura del profesor, concebido como facilitador según este enfoque, pero pudiendo convertirse en un obstaculizador si pretende ser excesivamente directivo (Pozo y Gómez, 1998).

Sin embargo, como aspectos positivos de este modelo didáctico hay que destacar que insiste en el papel del alumnado como responsable de su propio aprendizaje y que pone énfasis en aprender a descubrir, detectando anomalías en la observación de una determinada situación (Campanario y Moya, 1999).

#### **2.2.4 La enseñanza mediante investigación dirigida**

Este enfoque defiende que para provocar cambios conceptuales, metodológicos y actitudinales profundos en la mente de los alumnos hay que considerarlos como investigadores nóveles (Gil, 1993), situándolos en contextos de

actividad similares a los que vive un científico. Esto debe realizarse siempre bajo la atenta dirección del profesor considerado como un director de investigaciones. La enseñanza mediante investigación dirigida nace como contrapuesto a la mera recepción de los contenidos científicos y al descubrimiento de estos por parte de los alumnos (Campanario y Moya, 1999). Recupera algunos supuestos del modelo didáctico de enseñanza por descubrimiento, como su aceptación del paralelismo entre el aprendizaje de la ciencia y la investigación científica. Sin embargo, presenta un planteamiento epistemológico distinto, que se aleja del inductivismo, considerando a la investigación científica como un proceso de construcción social. Aunque considera que el aprendizaje de la ciencia debe seguir, al igual que en la enseñanza por descubrimiento, los pasos de la investigación científica, no defiende la aplicación rigurosa de un método, sino que propone que los alumnos emulen una investigación consistente ante todo en un complejo proceso de construcción social de teorías y modelos (Pozo y Gómez, 1998).

Para llevar a cabo esta investigación también precisan de ciertos procedimientos metodológicos y actitudes, por lo que su meta principal es promover en la mente de los alumnos cambios, no sólo en sus sistemas de conceptos, sino también en sus procedimientos y actitudes (Campanario y Moya, 1999; Furió *et al.*, 1994; Gil y Valdés, 1995). La enseñanza mediante investigación dirigida asume la hipótesis de la incompatibilidad entre el conocimiento cotidiano y el científico y adopta una clara posición constructivista, al defender que es necesario situar al alumno en contextos sociales de construcción del conocimiento similares a los que vive un científico (Campanario y Moya, 1999; Pozo y Gómez, 1998). Este enfoque se basa en la resolución de problemas generados desde el análisis del conocimiento disciplinar. Por tanto, la selección de contenidos se apoya una vez más en los contenidos conceptuales de la ciencia, aunque puede tener en cuenta algunas características de los alumnos o del contexto social del currículo. Aún así, los defensores de este enfoque proponen descargar los programas de ciencias de contenidos puramente conceptuales y prestar más atención a aspectos metodológicos (Campanario y Moya, 1999).

Las secuencias de enseñanza/aprendizaje se basan en el planteamiento y resolución conjunta de problemas por parte del profesor y de los alumnos (Furió *et al.*,

1994; Pozo y Gómez, 1998). Para resolver los problemas se desarrollan pequeñas investigaciones por parte de los alumnos, pero sin adoptar el enfoque de “receta” típico de las prácticas escolares, es decir, sin seguir unas instrucciones previamente dadas por el profesor sin reflexionar sobre ellas (Hodson, 1994). Estos problemas consisten en situaciones abiertas que exigen la búsqueda, mediante pequeñas investigaciones, de respuestas por parte de los alumnos, pero bajo la supervisión del profesor (Furió *et al.*, 1994, Gil y Valdés, 1995, Pozo y Gómez, 1998). Así, el profesor debe orientar la investigación de los alumnos y reforzar, matizar o cuestionar las conclusiones obtenidas por los mismos en base a las aportaciones hechas previamente por los científicos para resolver esos mismos problemas (Gil, 1993). Además, debe fomentar la comunicación y el diálogo entre los alumnos y entre éstos y el mismo, poniendo así énfasis en el carácter social de este tipo de enseñanza de la ciencia. Para favorecer esta interacción, algunos autores recomiendan el trabajo por pequeños grupos de cuatro o cinco alumnos (Albadalejo y Caamaño, 1992; Furió *et al.*, 1994; Gil, 1993; Gil y Valdés, 1995), potenciando así la dimensión colectiva del trabajo científico. Todo esto constituye un alto nivel de exigencia para el profesor, que debe de cambiar su forma de concebir el currículo, la ciencia, los métodos de enseñanza, las actitudes mostradas en el aula... En suma, debe experimentar un cambio conceptual, procedimental y actitudinal paralelo al que debe intentar promover en sus alumnos. Todo esto no suele verse favorecido por la estructura organizativa de los centros y por la tradición educativa de los mismos (Pozo y Gómez, 1998).

Este modelo didáctico asume una concepción constructiva de la evaluación, en la que la evaluación debe ser un instrumento más al servicio del aprendizaje, por lo que las investigaciones realizadas por los alumnos se consideran a la vez actividades de enseñanza y de evaluación; evaluando al alumno en base a su trabajo diario en el aula.

Algunas de las críticas que recibe la enseñanza mediante investigación dirigida se deben a la asunción del isomorfismo entre la investigación y el aprendizaje de la ciencia (Pozo y Gómez, 1998). Ambos son procesos constructivos distintos, con diferencias en los contextos sociales en los que se desarrollan. Así, Pozo y Gómez (1996) proponen utilizar este enfoque para resolver problemas escolares abiertos, que sirven de nexo de unión entre los problemas científicos y los cotidianos. Éstos deben

constituir problemas abiertos para los alumnos, pero bastante más cerrados para los profesores, ya que sólo cuando el profesor domina el tema tratado en el aula puede ayudar a los alumnos a avanzar en sus conocimientos.

### **2.2.5 La enseñanza mediante el conflicto cognitivo**

Un conflicto cognitivo es un estado de desequilibrio que surge en un sujeto cuando una concepción que tiene dicho sujeto se enfrenta con otra concepción del mismo individuo o del ambiente externo (el punto de vista de otro compañero, el resultado de un experimento...) (Aguilar y Oktaç, 2004). La enseñanza mediante el conflicto cognitivo parte de las concepciones alternativas de los alumnos para, confrontándolas con situaciones conflictivas, lograr un cambio conceptual, entendiendo este como la sustitución de esas concepciones del alumno por otras teorías más próximas al conocimiento científico. Así, este modelo didáctico adopta una posición claramente constructivista ante la adquisición del conocimiento (Pozo y Gómez, 1998).

La enseñanza mediante el conflicto cognitivo asume la incompatibilidad entre el conocimiento cotidiano y el científico (Ortega, 2007), ya que las teorías implícitas de los alumnos deben ser sustituidas por el conocimiento científico. Para lograr esta meta, el alumno debe percibir los límites de sus propias concepciones alternativas y sentirse insatisfecho con ellas, estando dispuesto a adoptar otros modelos más convincentes.

El currículo basado en este enfoque tiene una organización conceptual, ya que está dirigido al cambio conceptual. Los contenidos procedimentales y actitudinales no desempeñan apenas ningún papel en la organización del currículo. Así, la organización del currículo no difiere en exceso de la planteada por la enseñanza tradicional y la enseñanza expositiva, compartiendo en los tres casos la idea de que la meta del currículo de ciencias debe ser que los alumnos dominen los sistemas conceptuales en los que se basa el conocimiento científico (Pozo y Gómez, 1998).

La enseñanza mediante el conflicto cognitivo se desarrolla en secuencias de enseñanza en las que se somete a los conocimientos del alumno a un conflicto

empírico o teórico que obligue a abandonarlos en beneficio de una teoría más explicativa. Para esto, es necesaria una acumulación de conflictos que provoquen cambios cada vez más radicales en la estructura de conocimientos de los alumnos (Pozo y Gómez, 1998). Para conseguir el cambio (Posner *et al.*, 1982, Posner 1995):

- El alumno debe sentirse insatisfecho con sus propias concepciones
- El alumno debe explicitar sus ideas
- Debe haber una nueva concepción que resulte inteligible para el alumno
- Esa concepción debe resultar además creíble para el alumno
- La nueva concepción debe parecer al alumno más potente que sus propias ideas, debe verla como fructífera, es decir, le abre nuevas áreas de conocimiento, investigación, creatividad...
- La nueva concepción debe de encajar con otros conocimientos previos del alumno

El alumno puede mostrar distintas respuestas ante el conflicto presentado, de la más simple a la más compleja en el sentido cognitivo son:

- El sujeto no se da cuenta del conflicto presentado, creyendo que los resultados se ajustan a las previsiones hechas
- El sujeto toma conciencia del conflicto y lo convierte en un contraejemplo excepcional, manteniendo intacta la teoría al respecto
- El sujeto establece, para resolver el conflicto, ciertas diferenciaciones o generalizaciones conceptuales dentro de la propia teoría
- El sujeto reestructura de manera profunda la propia teoría, dando lugar a un cambio conceptual radical que afecta a los principios que la sustentan. Esta respuesta es muy infrecuente y sólo se produce tras enfrentarse a numerosos conflictos que han sido resueltos provisionalmente mediante respuestas más simples

Aunque tiene que ser el propio alumno el que tome conciencia del conflicto y lo resuelva, los profesores tienen que utilizar todos los recursos disponibles, tanto expositivos como no expositivos, y diseñar cuidadosamente actividades de enseñanza para favorecer y resolver los conflictos (Pozo y Gómez, 1998). Entre estas estrategias

se puede utilizar la discusión entre los compañeros para favorecer un aprendizaje cooperativo (Aguilar y Oktaç, 2004). Con respecto a la evaluación, los criterios de evaluación son próximos a los de la enseñanza tradicional o expositiva, aunque utiliza instrumentos de evaluación diferentes para comprobar cómo los alumnos aplican los conocimientos científicos para resolver problemas y afrontar situaciones nuevas.

La importancia de que el docente conozca las ideas previas de los alumnos para la enseñanza de la ciencia, que postula este enfoque, ha sido aceptada e integrada en los currículos tradicionales, sin embargo, esto se reduce a incluir ciertos test iniciales para detectar las ideas previas, sin que luego los resultados de esos test incidan en la actividad en el aula, centrada en la exposición del profesor y la evaluación sobre los contenidos de la misma (Pozo y Gómez, 1998).

Para Campanario y Moya (1999), las pautas que debe seguir un programa de enseñanza para provocar el cambio conceptual son:

- Las ideas de los alumnos deberían ser una parte explícita del debate en el aula, deberían de tenerse en cuenta para el diseño curricular
- El estatus de las ideas tiene que ser discutido y negociado con criterios epistemológicos acerca del conocimiento científico y acerca de qué constituye una explicación aceptable
- La justificación de las ideas debe ser un componente explícito del plan de estudios
- El debate en el aula debe tener en cuenta la metacognición (comentar las ideas, decidiendo la utilidad, plausibilidad y consistencia de las concepciones)

Las críticas que recibe este modelo didáctico están basadas en la concepción del cambio como sustitución, ya que persigue la eliminación del conocimiento intuitivo para sustituirlo por las ideas científicas (Pozo y Gómez, 1998). Para estos autores el conocimiento intuitivo es imposible de eliminar, ya que está constituido por un conjunto de principios que rigen la interacción diaria de los sujetos con el mundo que les rodea, que no hay que eliminar, sino reinterpretar en base a los nuevos modelos aprendidos. Además, el cambio no solo debe ser conceptual sino que también metodológico y actitudinal (Gil, 1983; Pozo, 1999b). Otros autores critican que el

cambio conceptual propuesto por este modelo didáctico es un “cambio conceptual frío”, que no incluye a factores afectivos y sociales, componentes del “cambio conceptual caliente”. (Pintrich *et al.*, 1993). Según otros autores esta propuesta solo es válida cuando la idea previa está fuertemente arraigada (Marín, 1999).

### **2.2.6 La enseñanza por explicación y contrastación de modelos.**

Este modelo didáctico defiende que el profesor debe explicar a sus alumnos diversos modelos alternativos aportados por la ciencia y ayudar a los alumnos a entenderlos, contrastarlos y a comprender las similitudes y diferencias que hay entre ellos, relacionándolos e integrándolos metacognitivamente (Pozo y Gómez, 1998). Así, la meta de la educación científica debe ser que el alumno conozca la existencia de diversos modelos alternativos para la interpretación y comprensión de la naturaleza, y que la exposición y contrastación de dichos modelos ayude a comprender los fenómenos estudiados y, sobre todo, la naturaleza del conocimiento científico, potenciando la metacognición (Campanario y Moya, 1999). La educación científica debe ayudar al alumno a construir sus propios modelos y a interrogarlos y reescribirlos en función de los modelos elaborados por otros.

La enseñanza de la ciencia por explicación y contrastación de modelos asume una posición claramente constructivista con respecto al aprendizaje de la ciencia y no acepta necesariamente, a diferencia del modelo anterior, el isomorfismo entre la construcción del conocimiento científico y el aprendizaje de la ciencia por parte de los alumnos. Con respecto a los criterios seguidos por este enfoque para seleccionar y organizar los contenidos, el núcleo organizador de los contenidos son los modelos, entendidos como la forma en que se representa el conocimiento existente en un área. Hay un interés explícito por los contenidos conceptuales, pero éstos no se organizan a partir de los contenidos conceptuales específicos, sino a partir de las estructuras conceptuales o modelos que dan sentido a dichos conceptos. Así, se relega a un segundo plano los contenidos procedimentales y actitudinales.

Las actividades de enseñanza consideradas por este enfoque son muy heterogéneas, debido a la complejidad y diversidad de las situaciones didácticas no se propone un método único. Pozo y Gómez (1998) señalan que entre las actividades

didácticas de este enfoque encontramos: entrenamiento directo en los modelos conceptuales y aplicación posterior de dichos modelos a diferentes contenidos específicos, la explicación de los modelos por parte del profesor y su discusión con los alumnos o, la presentación y contrastación de los modelos en el contexto de la solución de problemas. Otros autores proponen también la elaboración de modelos por los propios alumnos y enriquecimiento de los mismos por discusiones con sus compañeros (Justi, 2006). El profesor debe ejercer diferentes papeles: debe guiar las indagaciones del alumno, exponer alternativas a dichas indagaciones mediante una explicación de contenidos (no entendida como un monólogo sino con un diálogo con sus alumnos) y generar argumentos contrarios a los de los alumnos (Pozo y Gómez, 1998).

Con respecto a las actividades de evaluación, éstas no exigen que el alumno se acerque a un modelo correcto, sino que tratan de promover la reflexión y el contraste de modelos. Según Khun (1991; citado por Pozo y Gómez, 1998) estos criterios son:

- la capacidad de definir varios modelos alternativos para una situación, discriminando entre sus diferentes interpretaciones
- la capacidad de buscar argumentos en contra de un modelo
- la capacidad de explicar un modelo diferente a aquel en el que uno cree
- la capacidad de buscar datos a favor de diferentes modelos
- la capacidad de integrar metacognitivamente distintos modelos

La principal dificultad que presenta este modelo es inducir en los alumnos un cierto relativismo con respecto a toda forma de conocimiento. Esto puede traducirse, como afirman Pozo y Gómez (1998), a: “Si todos los modelos o teorías valen ¿para qué estudiar los modelos científicos?” (p. 304).

### **2.3 Las ideas previas: ideas previas alternativas sobre Biología Celular y Genética.**

El alumnado accede a los estudios de Biología con un conocimiento previo fruto de su experiencia personal y social. En algunos casos, este conocimiento previo es erróneo, presentando los alumnos ideas previas alternativas que son muy persistentes

al cambio. Estas ideas, o concepciones alternativas, son construcciones personales, con las cuales el sujeto explica la realidad que conoce de un modo coherente con las experiencias que ha vivido. En Biología, muchas de las concepciones alternativas no pueden haber sido originadas por las experiencias personales de los alumnos, sino que tienen su origen en la escuela, en una enseñanza inadecuada e influida por las concepciones alternativas de los docentes y las presentes en los libros de texto. (Flores y Ruiz, 2011)

Diversos estudios ponen de manifiesto que los alumnos de Educación Secundaria tienen ideas previas alternativas sobre contenidos relacionados con la estructura y fisiología de la célula y con la genética. Según diversos autores, algunas de estas concepciones alternativas del alumnado referidas a estos contenidos son:

- Desconocimiento de célula como unidad funcional y estructural de los seres vivos unicelulares y pluricelulares. Muchos alumnos no consideran a los seres pluricelulares como formados por el conjunto de muchas células, y en otros casos las identifican como unidades independientes localizadas en lugares específicos del cuerpo, sin relacionarlos con las características más visibles de los seres vivos. Así, en muchos casos falta una visión integral o sistémica, que identifique a las células como uno de los niveles de organización de los seres vivos pluricelulares; junto a tejidos, órganos, aparatos y sistemas (Acosta, 2008; Camacho *et al.*, 2012)
- Las células se encuentran solamente en lugares específicos de nuestro cuerpo o se encuentran en mayor proporción en lugares como la sangre o el cerebro (Camacho *et al.*, 2012)
- Falta de conocimiento de las estructuras celulares básicas (membrana plasmática, citoplasma, orgánulos y núcleo) y del funcionamiento de las mismas, reduciéndose en la mayoría de los casos a considerar a la célula como una celda que carece de estructuras pero que está limitada con el exterior, como la primera definición de célula aportada por Robert Hooke (Caballer y Giménez, 1993; Camacho *et al.*, 2012; Díaz de Bustamante y Jiménez, 1996)
- Desconocimiento de la forma de las células (Camacho *et al.*, 2012; Díaz de Bustamante y Jiménez, 1996), representándola mayoritariamente mediante

- una imagen pobre basada en dos círculos concéntricos que representan la membrana y el núcleo, sin distinguir orgánulos
- Confusión sobre la localización del material genético en la célula (Caballero, 2008)
  - Dificultad en reconocer que los vegetales, así como bacterias y hongos, están formados por células. (Caballer y Giménez, 1992; Gonzalez-Weil y Harms, 2012). Los alumnos suelen incorporar mucho más la idea de la estructura celular en los animales que en los vegetales
  - Confusión sobre la función que desempeñan los cloroplastos y las mitocondrias en las células vegetales en relación a los procesos de respiración celular y fotosíntesis (García, 1991)
  - Desconocimiento de la presencia de cromosomas en células vegetales, situación de los cromosomas sexuales solo en los gametos o ignorar que todas las células de un mismo organismo tienen la misma información genética (Banet y Ayuso, 1995)
  - Falta de conocimiento de los mecanismos de la herencia (Hackling y Treagust, 1984). Para Banet y Ayuso (1995) esto se debe al desconocimiento de la información genética y de la estructura celular

#### **2.4 Los trabajos prácticos en el área de Ciencias.**

Los trabajos prácticos en el área de Ciencias ayudan a promover la adquisición de una serie de procedimientos y habilidades científicas, desde las más básicas (utilización de distintos aparatos, técnicas de medición y tratamiento de datos...) hasta las más complejas (desarrollar una investigación para resolver problemas haciendo uso de la experimentación) (Caamaño *et al.*, 1992).

Según Albadalejo y Caamaño (1992) los trabajos prácticos:

- Motivan al estudiante y generan actitudes positivas
- Favorecen un conocimiento vivencial de los fenómenos
- Ayudan a la comprensión de conceptos y teorías
- Desarrollan habilidades y destrezas

Los trabajos prácticos tienen una gran influencia en la creación de hábitos de trabajo como la rigurosidad o el espíritu de colaboración. Además contribuyen a desarrollar en los estudiantes el sentimiento de confianza en la capacidad para resolver problemas con éxito mediante investigaciones (Caamaño *et al.*, 1992).

Según Woolnough (1985; citado por Caamaño *et al.*, 1992), los trabajos prácticos se clasifican en:

- Experiencias. Son actividades enfocadas a provocar una familiarización perceptiva con los fenómenos. Un ejemplo sería la observación/manipulación de seres vivos
- Experimentos ilustrativos. Son actividades enfocadas a la comprobación de leyes o teorías para mejorar su comprensión. Por ejemplo apreciar que las plantas no crecen sin luz porque no realizan la fotosíntesis
- Ejercicios prácticos. Son actividades diseñadas para desarrollar diversas habilidades prácticas (manipulación de aparatos de instrumentos, recogida de datos...), estrategias de investigación (tratamiento de datos, diseño de experimentos...) y habilidades de comunicación (como comunicar los resultados oralmente y/o a través de un informe). Por ejemplo la observación y dibujo de la flora o la utilización de claves dicotómicas
- Experimentos para contrastar hipótesis. Son actividades desarrolladas para contrastar hipótesis establecidas por los alumnos o por el profesor
- Investigaciones. Son actividades diseñadas para que los estudiantes, actuando como científicos, resuelvan un determinado problema teórico o práctico

Un mismo proceso puede adaptarse a distintos tipos según la orientación del mismo y el objetivo fundamental que pretenda.

La enseñanza constructivista concibe los trabajos prácticos como pequeñas investigaciones desarrolladas por los alumnos en torno a problemas del interés de los mismos y dirigidas por los profesores. Plantea la resolución de problemas como una actividad de investigación dirigida, en la que los alumnos son “investigadores nóveles” (Gil y Valdés, 1996) que deben desarrollar pequeñas investigaciones, bajo la dirección del docente; evitando así adquirir el enfoque de “receta” de muchas de las prácticas

desarrolladas en las aulas de Educación Secundaria y Universidad, siguiendo unas instrucciones cerradas proporcionadas por el docente paso a paso sin reflexionar sobre ellas (Hodson, 1994). Los resultados de estas prácticas habituales no son satisfactorios (García *et al.*, 1995; Hodson, 1994; Reigosa y Jiménez, 2000) por lo que, en el marco de la enseñanza constructivista, se ha propuesto dotar de una orientación investigativa bajo la dirección del docente a las prácticas para mejorar los resultados (Gil y Valdés, 1996). Siguiendo a estos autores, para que esto se produzca es necesario que:

- Se presenten situaciones problemáticas abiertas de una dificultad adecuada para los estudiantes. Según Pérez y Pozo (1994), estos problemas abiertos pueden servir de puente entre los problemas cotidianos y problemas científicos.
- Tratar temas científicos relevantes según el enfoque Ciencia-Tecnología-Sociedad (CTS) para favorecer el interés y la reflexión de los alumnos. Según Reigosa y Jiménez (2000), esto favorece el desarrollo de la imagen social de la ciencia, evitando que los alumnos entiendan a la ciencia como una disciplina independiente del resto de la sociedad, cuyo único objetivo es comprender el mundo, y la imagen del científico como genio individual. Otros autores han demostrado que realizar en el aula actividades que conectan con la vida diaria del alumno, por ejemplo con problemas específicos de su entorno, mejora el rendimiento de los alumnos, en particular de los que tienen pocas expectativas (Hulleman y Harackiewicz, 2009; Labov *et al.*, 2010). Recientemente, Luce y Hsi (2015) han propuesto que para promover en las aulas el interés por la ciencia, hay que comprender las formas en que los estudiantes expresan curiosidad acerca de un tema o fenómeno científico concreto, lo que facilitaría conocer los intereses del alumnado y aumentar su motivación de cara a las clases de ciencias
- Potenciar análisis cualitativos que ayuden a comprender y acotar las situaciones planteadas y a formular preguntas operativas sobre lo que se busca
- Plantear la emisión de hipótesis como actividad central de la investigación científica, destacando la importancia de fundamentarlas

- Favorecer la planificación de la actividad experimental por parte de los propios estudiantes, potenciando la incorporación de la tecnología actual
- Plantear un análisis detenido de los resultados obtenidos en función del conocimiento científico disponible y de los resultados de otros equipos de estudiantes
- Plantear la consideración de posibles perspectivas (como replantear el estudio a otro nivel de complejidad o los posibles problemas derivados) e implicaciones CTS del estudio (aplicaciones, repercusiones negativas...)
- Favorecer la integración del estudio realizado a la construcción de un cuerpo coherente de conocimientos científicos, considerando las posibles implicaciones en otros campos de conocimiento. Esto es apoyado por otros autores, como Labov *et al.* (2010), que defienden que en las clases de Biología se deben de potenciar las conexiones de ésta con otras disciplinas
- Potenciar la elaboración de memorias que reflejen el trabajo realizado a modo de informes científicos. Moskovitz y Kellogg (2011) defienden que realizar informes científicos vincula y engancha más al alumno con la asignatura
- Potenciar la dimensión colectiva del trabajo científico mediante la organización de equipos de trabajo, facilitando la interacción entre los equipos. Estos equipos de trabajo representarían a la comunidad científica y los libros de texto representarían el cuerpo de conocimientos científicos ya construido, que se recoge en ellos
- Terminar estos procesos solicitando una recapitulación de los aspectos más destacados del trabajo realizado, para favorecer una metareflexión que refuerce la apropiación consciente de estrategias del trabajo científico

Entre los problemas que se plantean con la realización de trabajos prácticos se puede destacar que la orientación con la que se plantean los problemas en los libros de texto no favorece la realización de este tipo de trabajos prácticos, por lo que requiere el desarrollo de materiales curriculares alternativos (García *et al.*, 1995). Además, para el alumnado puede ser difícil encontrar autónomamente estrategias eficaces de resolución sin depender demasiado de las orientaciones del profesor. El profesor tiene el riesgo de volver a cerrar el problema mediante sus explicaciones y, a

la vez, debe sugerir y dar pistas a los alumnos sin darles respuestas cerradas. La gestión de los grupos y la atención a la diversidad de los mismos también pueden ser problemáticas para algunos docentes (Pozo y Gómez, 1996). Así, es necesaria una formación específica del profesorado para la adquisición de estrategias en el desarrollo de este tipo de actividades (García *et al.*, 1995). Wallace y Brooks (2015) afirman que el profesor de Educación Primaria tiene que tener seguridad en las actividades que llega a cabo en el aula, para poder integrar así la actividad con otros aspectos de la formación de sus alumnos (autonomía, trabajo en equipo, colaboración...) y aplicar un enfoque constructivista.

Los trabajos prácticos son actividades muy adecuadas para realizar en pequeños grupos, de tres a cinco personas (Albadalejo y Caamaño, 1992; Furió *et al.*, 1994; Reigosa y Jiménez, 2000), generando contextos idóneos para la socialización de los estudiantes y el desarrollo de valores de cooperación, ayudándoles a tomar conciencia del punto de vista de los demás, aprendiendo a negociar y a renunciar a sus propias posiciones intereses personales en beneficio del objetivo del grupo (Reigosa y Jiménez, 2000). Además, los procesos de discusión que se generan en los grupos favorecen la comprensión de conceptos y teorías. Smith *et al.* (2009) han comprobado que la discusión entre pares mejora la comprensión, incluso cuando, inicialmente, ninguno de los estudiantes en un grupo de discusión conoce la respuesta correcta a la pregunta planteada. Edelson *et al.* (2011) han demostrado que el aprendizaje social es a menudo más eficiente que el aprendizaje individual, debido a que la manipulación social puede alterar la memoria, provocándose a nivel de la amígdala (parte del sistema límbico implicada en la consolidación de la memoria) distorsiones de la memoria socialmente mediadas.

## **2.5 La emociones en la enseñanza-aprendizaje de las Ciencias.**

En didáctica de las Ciencias Experimentales los aspectos afectivos se han investigado menos que los cognitivos, ya que se consideraba que las emociones eran aspectos acientíficos y subjetivos que se oponían a la objetividad de la ciencia (Brígido *et al.*, 2010; Garritz, 2009; Mellado *et al.*, 2014). El currículo, los materiales didácticos y las prácticas de enseñanza de la educación científica tradicional favorecen una

orientación positivista de la misma que tiene como consecuencia la exclusión de factores sociales, culturales o afectivos, considerados como impropios aunque sean didácticamente valiosos (Vázquez y Manassero, 2007). En la práctica educativa las emociones estaban reprimidas y el pudor era predominante en la formación de los futuros maestros. Sin embargo, desde hace unos años, se ha prestado mayor atención a las emociones en la investigación en educación y en los procesos de enseñanza y aprendizaje, por lo que ya no es tan frecuente el analfabetismo emocional: la incapacidad de comprender y reconocer las emociones de uno mismo y de los demás (Brígido *et al.*, 2010).

Aunque en la enseñanza de las ciencias hayan predominado los aspectos cognitivos sobre los afectivos, el estudio de las emociones se remonta a finales del siglo XIX. Ya en 1872 Darwin publicó el libro *La expresión de las emociones en el hombre y en los animales*, en el que refleja que las emociones son una forma básica de regular la vida que cumplen una función adaptativa de nuestro organismo al mundo que nos rodea, siendo muy importantes en la supervivencia de la especie.

En la bibliografía se pueden encontrar distintas definiciones de las emociones, por ejemplo, Bisquerra (2000) las define como reacciones a la información recibida de nuestro entorno, cuya intensidad depende de las evaluaciones subjetivas que realizamos y en las que tienen gran influencia los conocimientos previos y las creencias. Y Mellado *et al.* (2014) que las definen como reacciones subjetivas a estímulos del ambiente, acompañados de cambios fisiológicos y endocrinos innatos pero influidos por la experiencia. Estos mismos autores clasifican a las emociones en primarias o básicas, de origen genético, y emociones sociales, que dependen del contexto. Entre las emociones básicas se encuentran el miedo, la aversión, la ira, la tristeza, la alegría y la sorpresa; y entre las sociales se encuentran la vergüenza, la culpabilidad, los celos, la simpatía, la turbación, el orgullo, la envidia, la gratitud, la admiración, la indignación y el desdén.

Emoción y cognición se entienden como algo interconectado difícil de separar, considerando que lo cognitivo configura lo afectivo y lo afectivo condiciona lo cognitivo (Costillo *et al.*, 2013). Dolan (2002) afirma que las emociones afectan a los

procesos racionales de pensamiento, de tal manera, que las personas se adhieren, a menudo con gran convicción, a ideas y creencias que no tienen base en la razón o la realidad, arraigando creencias o ideas irracionales. El cambio conceptual es tanto cognitivo como afectivo, por lo que la motivación y las emociones que experimentan los alumnos con respecto al aprendizaje son factores determinantes en el aprendizaje de las ciencias (Garritz, 2009): las emociones positivas o estimulantes favorecen los procesos de aprendizaje mientras que las negativas o depresoras los frenan o limitan. Esto se debe en gran medida a la relación de las emociones con la memoria, ya que la información que está relacionada con algún estímulo emocional se recuerda mejor que la información neutral. Kensinger y Corkin (2004) han comprobado que los estímulos emocionales positivos provocan a nivel de la amígdala una excitación que mejora la memoria, lo que significa que las tareas excitantes se almacenan mejor en la memoria.

Los alumnos pueden experimentar ante un proceso de enseñanza-aprendizaje a emociones positivas, negativas o neutras. Las emociones positivas implican sentimientos agradables, tienen una duración temporal corta y movilizan escasos recursos para su afrontamiento; en cambio, las emociones negativas implican sentimientos desagradables y movilizan muchos recursos para su afrontamiento. También existen algunas emociones neutras, como la sorpresa, que no producen ni reacciones agradables ni desagradables y que tienen como finalidad facilitar la aparición de posteriores estados emocionales (Fernández-Abascal *et al.*, 2001). Así, los profesores que ignoran los aspectos afectivos del aprendizaje pueden limitar los procesos de aprendizaje de sus alumnos. Las emociones negativas son un obstáculo para el proceso de enseñanza-aprendizaje de las ciencias, por lo que los profesores deben de sustituirlas por emociones positivas a través de actividades científicas creativas y emocionantes.

Numerosas investigaciones señalan que los estudiantes de Educación Primaria suelen tener actitudes positivas hacia las ciencias (Brígido *et al.*, 2009; Costillo *et al.*, 2013), pero dichas actitudes positivas disminuyen con la edad, especialmente durante la etapa de Educación Secundaria. Se produce así una depresión emocional hacia la ciencia, describiéndola los alumnos como autoritaria, aburrida, difícil o irrelevante para la vida diaria (Vázquez y Manassero, 2008; Mellado *et al.*, 2014). Además, en la

Educación Secundaria las emociones se hacen más selectivas dependiendo del contenido: los alumnos experimentan más emociones positivas y menos negativas con las Ciencias Naturales que con Física y Química (Brígido *et al.*, 2013; Costillo *et al.*, 2013). Esto influye en la elección de asignaturas optativas y de estudios universitarios, provocándose una disminución del alumnado en las carreras relacionadas con contenidos científicos que ha llegado a ser preocupante en muchos países. También hay diferencias en función del género del alumnado: los chicos están más a favor de temas de Física, Química y Tecnología, mientras que las chicas están más a favor de temas de Salud y de Ciencias de la vida (Mellado *et al.*, 2014).

El análisis de las emociones no solo es importante en los alumnos, también es muy importante analizar los aspectos afectivos en la formación inicial del profesorado, estudiando las emociones que experimentan los profesores en formación hacia sí mismo como docentes, hacia los alumnos y hacia la enseñanza y aprendizaje de las diferentes asignaturas. Éstos tendrán distintas actitudes, emociones y creencias hacia estos aspectos fruto de los muchos años que han pasado en los ambientes educativos y que son muy difíciles de cambiar. Estas experiencias como escolares hacen que muchos profesores tomen como referencia para la enseñanza, positiva o negativa, a los profesores que han tenido a lo largo de su escolaridad, y enseñen con métodos didácticos similares a los de éstos, fijándolas como rutinas en las primeras experiencias como docentes (Brígido *et al.*, 2010). La reflexión sobre las emociones que sienten hacia la enseñanza y aprendizaje de las asignaturas científicas permite tomar conciencia sobre sus concepciones y sobre su desarrollo profesional (Brígido *et al.*, 2010; Costillo *et al.*, 2013). Así, es fundamental formar a los profesores en el dominio afectivo, para que sean capaces de diagnosticar y autorregular sus emociones a través de programas de intervención que incluyan tanto lo cognitivo como lo afectivo (Mellado *et al.*, 2014).

## **2.6 Contenidos: Biología Celular y Genética**

A continuación se presentan de forma resumida los aspectos más fundamentales de la Biología Celular y la Genética relacionados con los contenidos abordados en este trabajo, en base a lo establecido por Curtis *et al.* (2008) en el libro *Biología*, por Alberts *et al.* (2010) en el libro *Biología molecular de la célula* y por Paniagua *et al.* (1999) en el libro *Biología celular*.

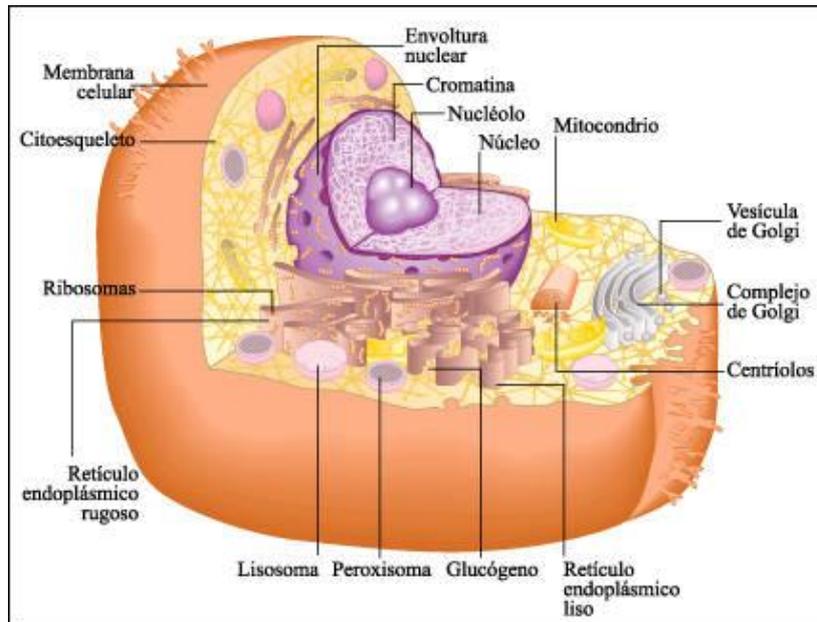
La Teoría Celular constituye uno de los principios fundamentales de la Biología y establece que la célula es la unidad morfológica, fisiológica y de origen de todo ser vivo, lo que significa que:

- Todos los organismos vivos están formados por una o más células
- Las funciones vitales de los organismos (nutrición, relación y reproducción) ocurren dentro de las células. Las reacciones químicas de un organismo vivo, incluyendo los procesos liberadores de energía y las reacciones biosintéticas, tienen lugar dentro de las células
- Todas las células se originan a partir de otras células preexistentes, ya que las células contienen la información hereditaria de los organismos de los cuales son parte y esta información se transmite de la célula madre a la célula hija

Así, y desde una perspectiva bioquímica, tres características distinguen a las células vivas de otros sistemas químicos:

- La capacidad para duplicarse generación tras generación. Esto se produce debido al material genético o información hereditaria, almacenado en el núcleo celular en las células eucariotas, que dirige las actividades de una célula y le permite reproducirse y transmitir sus características a la progenie
- La presencia de enzimas: proteínas complejas que se encuentran en el citoplasma celular y en los orgánulos que son esenciales para las reacciones químicas de las que depende la vida
- Una membrana que separa a la célula del ambiente circundante y le permite mantener una identidad química distinta. Esta membrana externa se denomina

membrana plasmática y separa el citoplasma de la célula de su ambiente externo



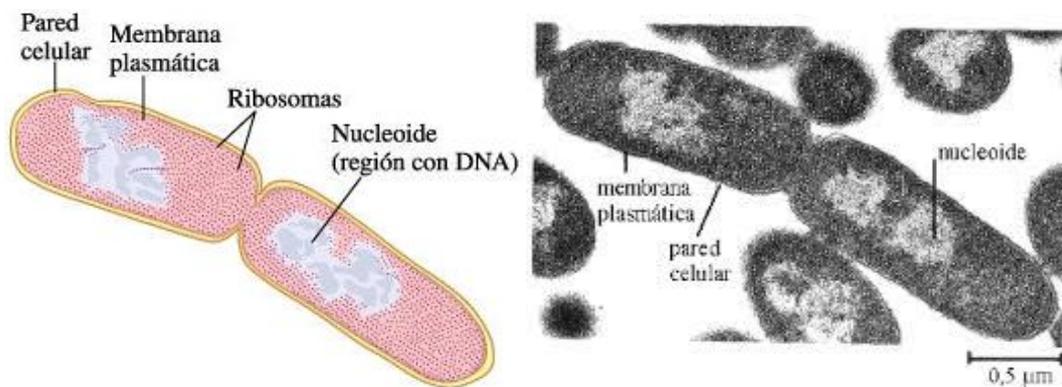
**Figura 2.** Estructura básica de la célula eucariota animal en la que se observan los tres componentes básicos de las células eucariotas: membrana plasmática, citoplasma y núcleo. Fuente: Curtis, H., Barnes, N. S., Schnek, A., y Massarini, A. (2008). *Biología*. Médica Panamericana.

Existen dos tipos fundamentalmente distintos de células: las células procariotas y las células eucariotas. En las células procariotas el material genético se encuentra en forma de una molécula grande y circular de DNA (ácido desoxirribonucleico) que está débilmente unido a diversas proteínas. En las células eucarióticas, por el contrario, el DNA es lineal y está fuertemente unido a proteínas específicas. Dentro de la célula eucariótica, el material genético está rodeado por una doble membrana, la envoltura nuclear, que lo separa de los otros contenidos celulares constituyendo un núcleo bien definido. En las células procariotas el material genético no está separado del resto del citoplasma rodeado por una membrana, aunque está ubicado en una región definida llamada nucleóide.

La membrana celular de los procariotas está rodeada por una pared celular externa que es elaborada por la propia célula. Ciertas células eucariotas, incluyendo las de las plantas y hongos, tienen también una pared celular, aunque su estructura y composición es diferente de la de las paredes celulares procarióticas. La pared celular de los vegetales se compone de un polímero (macromolécula formada por la unión de

moléculas más simples denominadas monómeros) de un carbohidrato llamado celulosa mientras que la pared celular de los procariotas está formada principalmente por polisacáridos y polímeros de peptidoglicano. El resto de las células eucariotas, incluyendo las del cuerpo humano y las de otros animales, no tienen paredes celulares.

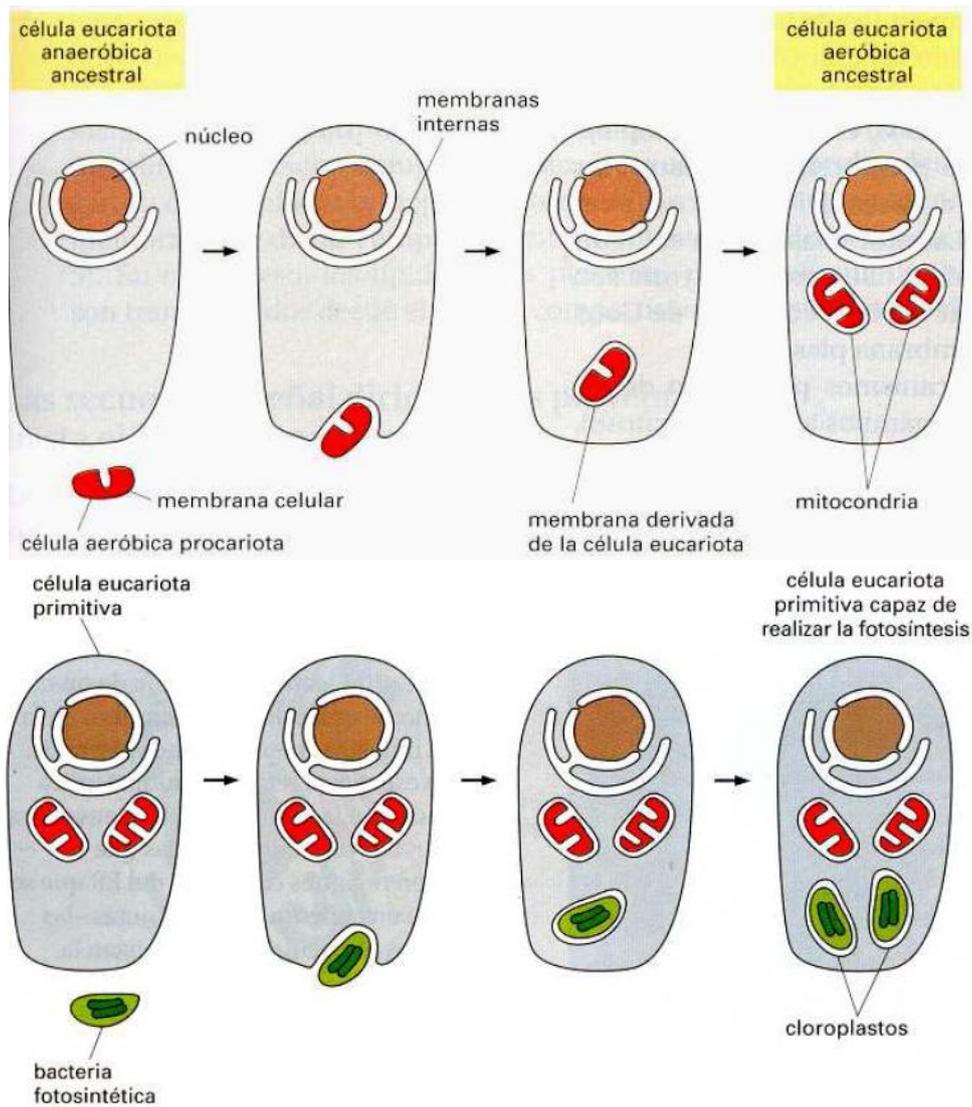
Otro rasgo que distingue a los eucariotas de los procariotas es el tamaño celular: las células eucariotas (de 10 a 100 micrómetros) habitualmente son de mayor tamaño que las procariotas (de 1 a 2 micrómetros). Las células eucarióticas poseen una gran variedad de estructuras internas, los orgánulos, que son similares o, en algunos casos, idénticas de una célula a otra en una amplia gama de tipos celulares.



**Figura 3.** Esquema y fotografía de microscopía electrónica de transmisión que reflejan la estructura básica de la célula procariota: membrana plasmática, citoplasma y nucleoide.

Fuente: Curtis, H., Barnes, N. S., Schnek, A., y Massarini, A. (2008). *Biología. Médica Panamericana*.

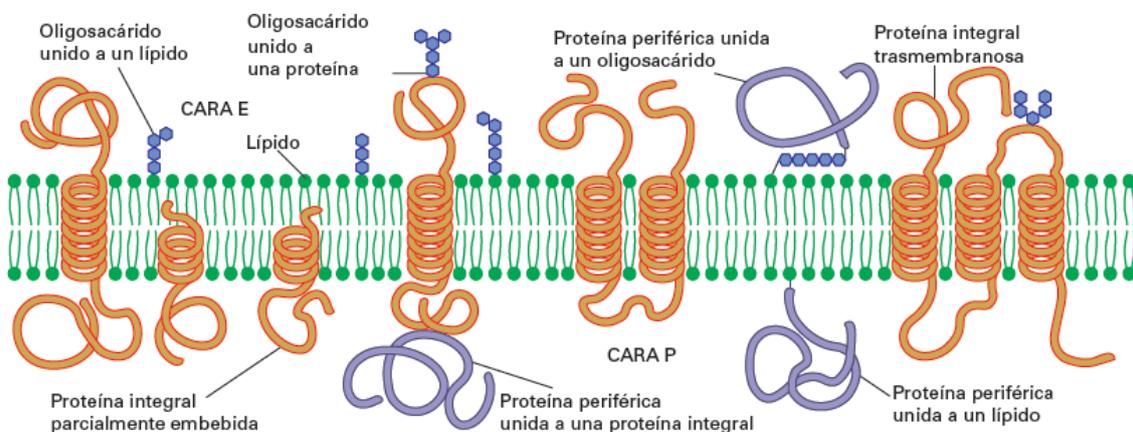
Así, si se comparan los dos tipos de células, se pone de manifiesto la mayor complejidad de las células eucariotas frente a las procariotas. Sin embargo, ambos tipos celulares comparten muchas semejanzas en su funcionamiento debido a su parentesco, ya que en origen todas las células era procariotas. Hace aproximadamente 2.500 millones de años algunas células procariotas aumentaron en tamaño y complejidad, transformándose en células eucariotas. El paso de las células procariotas a las primeras células eucariotas es una de las transiciones evolutivas más importantes de la historia de la vida. Esta evolución se produjo cuando algunos procariotas comenzaron a alojarse en el interior de otras células. L. Margulis propuso el primer mecanismo para explicar cómo pudo haber ocurrido esta asociación mediante la Teoría de la Endosimbiosis.



**Figura 4.** Teoría de la endosimbiosis por la que se originaron las mitocondrias y los cloroplastos. Fuente: Alberts, B., Johnson, A., Lewis, J., Raff, M., Roberts, K., & Walter, P. (2010). *Biología molecular de la célula*. Artmed.

La Teoría de la Endosimbiosis explica el origen de las mitocondrias y de los cloroplastos, dos orgánulos eucariotas. Según esta teoría algunas células procariotas aerobias habrían sido fagocitadas por células eucariotas ancestrales produciéndose una relación de beneficio mutuo entre ambos. Los pequeños simbioses aeróbicos habrían hallado nutrientes y protección en las células hospedadoras a la vez que éstas obtenían los beneficios energéticos que el simbionte les confería, por lo que con el tiempo los simbioses aeróbicos se transformaron en las mitocondrias. Un proceso similar ocurrió con células procariotas fotosintéticas, que acabaron transformándose en los cloroplastos.

Las células procariotas y eucariotas están separadas del medio circundante por una membrana celular denominada membrana plasmática. La membrana plasmática es esencial en la vida celular, ya que no solamente define los límites de la célula, sino que además permite que la célula exista como una entidad diferente de su entorno. Esta membrana regula el tránsito de sustancias hacia fuera y hacia adentro de la célula y protege de esta manera su integridad estructural y funcional. En las células eucarióticas, además, define los compartimientos y orgánulos, lo que permite mantener las diferencias entre su contenido y el citoplasma.



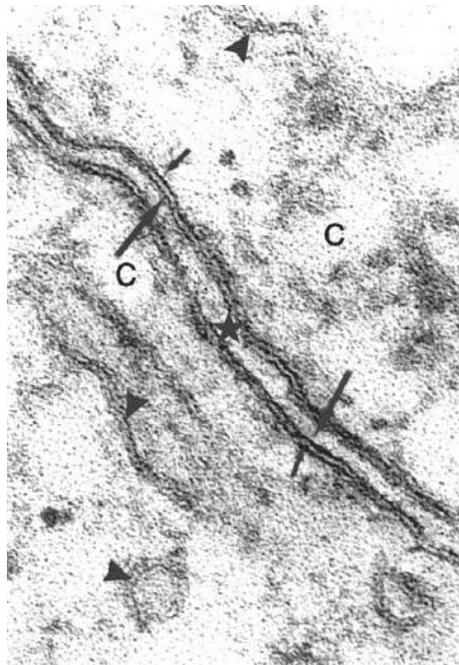
**Figura 5.** Representación esquemática de la estructura de la bicapa lipídica según el modelo del mosaico fluido. Fuente: Paniagua, R. (1999). *Biología celular*. McGraw-Hill Interamericana de España.

La membrana plasmática está constituida por una delgada capa de entre 7 y 9 nanómetros de grosor constituida por fosfolípidos, proteínas y carbohidratos unidos a los lípidos y las proteínas. Las membranas están generalmente rodeadas por un medio acuoso, lo que hace que las moléculas de fosfolípidos se dispongan formando una bicapa, con sus colas hidrofóbicas a polares hacia el interior y sus cabezas hidrofílicas de fosfato polares al exterior.

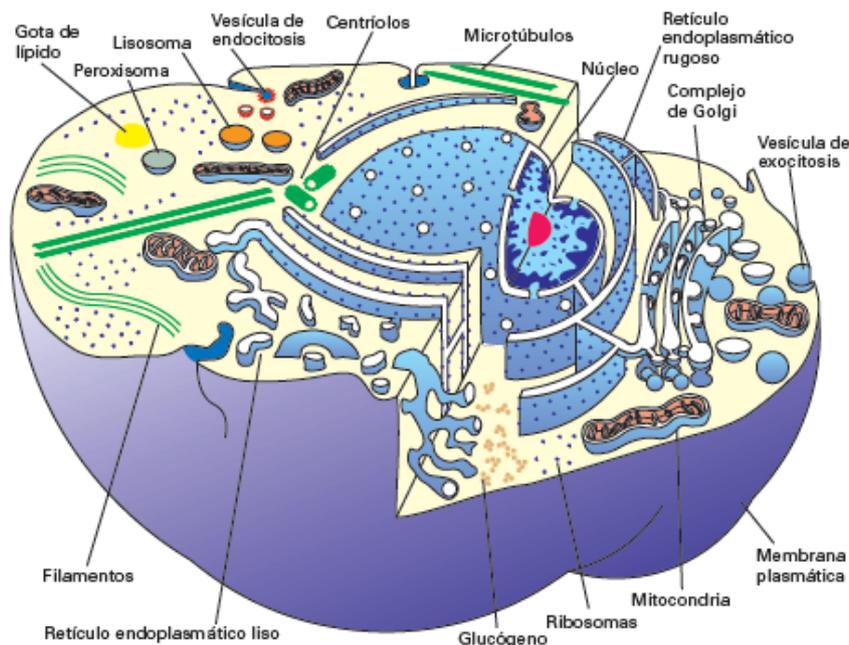
De acuerdo con el modelo del mosaico fluido propuesto por S. J. Singer y G. Nicolson, las membranas celulares son estructuras fluidas y dinámicas formadas por bicapas de fosfolípidos, en las cuales están embutidas moléculas de proteínas y de colesterol. Las moléculas de lípidos y proteínas pueden, en general, desplazarse lateralmente por la bicapa. Las moléculas de colesterol se encuentran insertas entre las colas hidrofóbicas de los fosfolípidos. Las proteínas embutidas en la bicapa se

conocen como proteínas integrales de membrana y las que están unidas a la cara externa o interna de la membrana se conocen como proteínas periféricas. Entremezcladas con las moléculas de fosfolípidos de la capa externa de la bicapa se encuentran moléculas de glucolípidos. Las cadenas de carbohidratos unidas a los glucolípidos y a las proteínas que sobresalen de la cara exterior de la membrana están implicadas en la adhesión de las células entre sí y en el reconocimiento de moléculas en la superficie de la membrana.

La mayoría de las membranas están constituidas aproximadamente por un 40% de lípidos y un 60% de proteínas, aunque existe una variación considerable entre los distintos tipos celulares. Las proteínas son las responsables de la mayoría de las funciones esenciales que cumplen las membranas biológicas. Algunas proteínas son enzimas y regulan reacciones químicas particulares, otras son receptores implicados en el reconocimiento y unión de moléculas señalizadoras como las hormonas, y otras son proteínas de transporte, que desempeñan papeles críticos en el movimiento de sustancias a través de la membrana.



**Figura 6.** Fotografía de microscopía electrónica de transmisión en la que se observan (señaladas con flechas) dos membranas plasmáticas que rodean a dos células y el espacio que queda entre ellas (señalado con una estrella). Fuente: Alberts, B., Johnson, A., Lewis, J., Raff, M., Roberts, K., & Walter, P. (2010). *Biología molecular da célula*. Artmed.

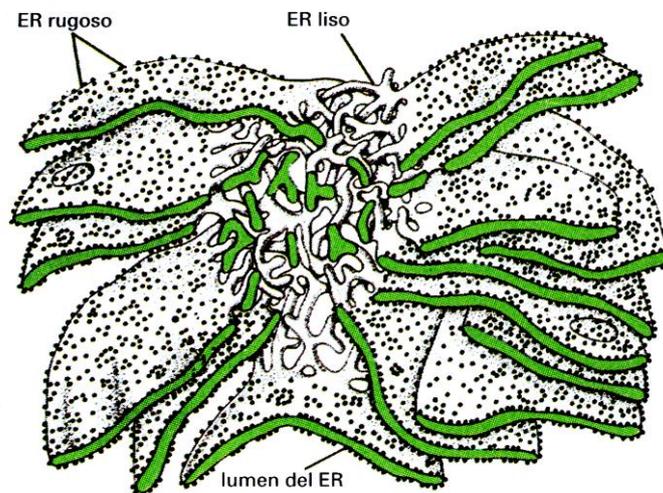


**Figura 7.** Representación esquemática de la estructura de una célula eucariota representativa: principales orgánulos. Fuente: Paniagua, R. (1999). *Biología celular*. McGraw-Hill Interamericana de España.

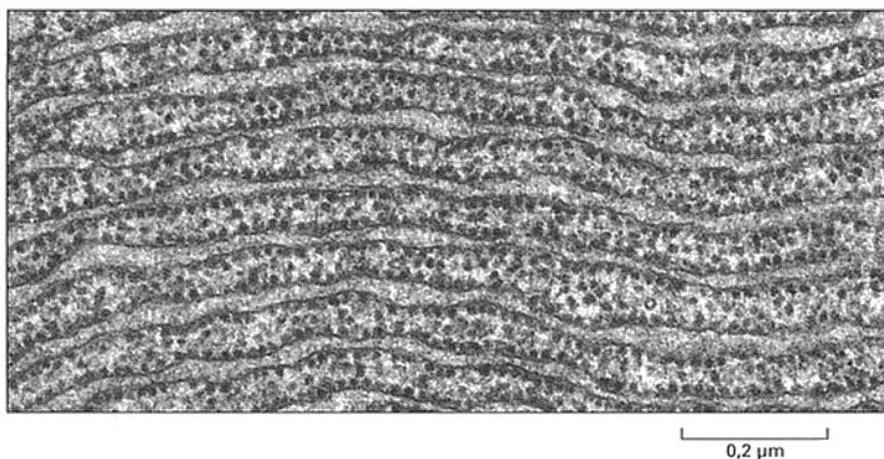
El citoplasma de la célula es una solución acuosa concentrada que contiene enzimas, moléculas disueltas e iones que desempeñan funciones especializadas en la vida de la célula. Por ejemplo, tanto los procariontes como los eucariotes contienen complejos proteicos y de RNA (ácido ribonucleico) llamados ribosomas que desempeñan una función clave en la unión de los aminoácidos individuales durante la síntesis de proteínas.

El citoplasma de las células eucarióticas contiene además una gran cantidad de orgánulos y un citoesqueleto formado por microtúbulos, filamentos de actina y filamentos intermedios. El citoesqueleto mantiene la forma de la célula, le permite moverse, fija sus orgánulos y dirige el movimiento de éstos. Los principales orgánulos que podemos encontrar en el citoplasma de las células eucariotas, además de los ribosomas anteriormente mencionados, son el retículo endoplasmático, el aparato de Golgi, las mitocondrias, las vacuolas, los lisosomas y peroxisomas y los plastos, en el caso de las células eucariotas vegetales. El citoplasma está atravesado y subdividido por un complejo sistema de membranas con forma de sáculos aplanados y de túbulos interconectados, el retículo endoplasmático.

El retículo endoplasmático presenta un espacio interior denominado lumen. En las áreas cercanas al núcleo celular el retículo endoplasmático está cubierto por ribosomas formando el retículo endoplasmático rugoso. En las áreas más alejadas del núcleo encontramos el retículo endoplasmático liso, sin ribosomas adosados a su membrana. Las funciones del retículo endoplasmático son la síntesis de proteínas, la síntesis de lípidos (lípidos de membrana, colesterol y hormonas) y el transporte intracelular. También interviene en la detoxificación o desactivación de moléculas tóxicas para la célula.

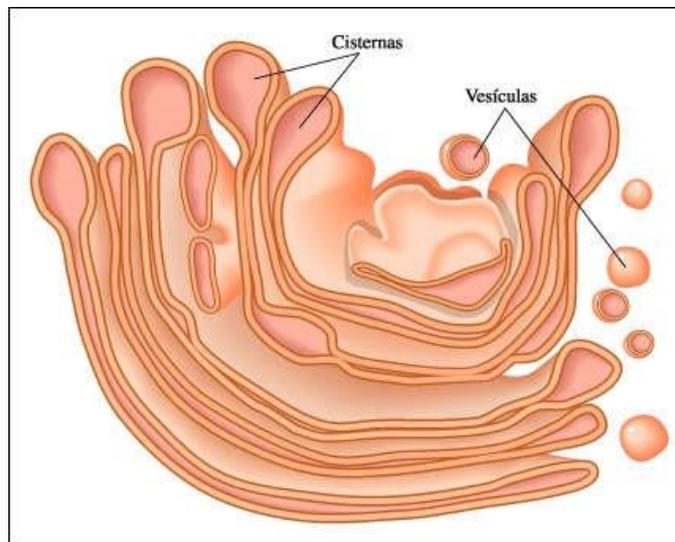


**Figura 8.** Reconstrucción tridimensional del retículo endoplasmático liso y rugoso. Fuente: Alberts, B., Johnson, A., Lewis, J., Raff, M., Roberts, K., & Walter, P. (2010). *Biología molecular da célula*. Artmed.



**Figura 9.** Fotografía de microscopía electrónica de transmisión del retículo endoplasmático rugoso. Fuente: Alberts, B., Johnson, A., Lewis, J., Raff, M., Roberts, K., & Walter, P. (2010). *Biología molecular da célula*. Artmed.

El aparato de Golgi es un centro de empaquetamiento o compactación de moléculas sintetizadas dentro de la célula. Las sustancias producidas en el retículo endoplasmático, y que llegan al aparato de Golgi a través de vesículas de transición, se modifican en el aparato de Golgi. Una vez modificadas se empaquetan en vesículas, que se almacenan en el citoplasma celular o, en el caso de las vesículas de secreción, que atraviesan la membrana plasmática para verter su contenido al exterior. Los lisosomas y peroxisomas son vesículas generadas por el aparato de Golgi que contienen enzimas que degradan distintos tipos de moléculas a constituyentes más simples, que pueden ser utilizados por la célula o, en el caso de productos de desecho, eliminados fácilmente.

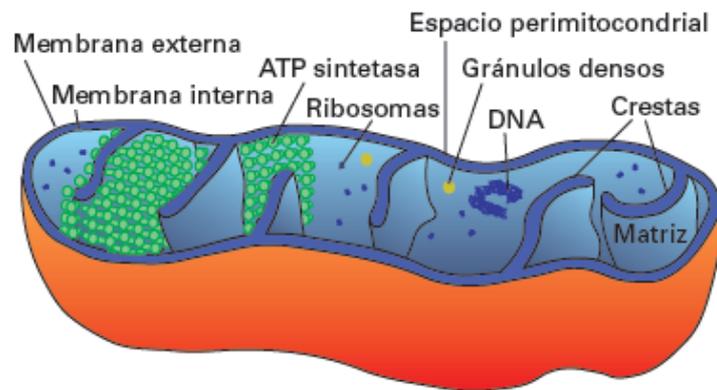


**Figura 10.** Esquema que reflejan la estructura del aparato de Golgi. Fuente: Curtis, H., Barnes, N. S., Schnek, A., y Massarini, A. (2008). *Biología*. Médica Panamericana.

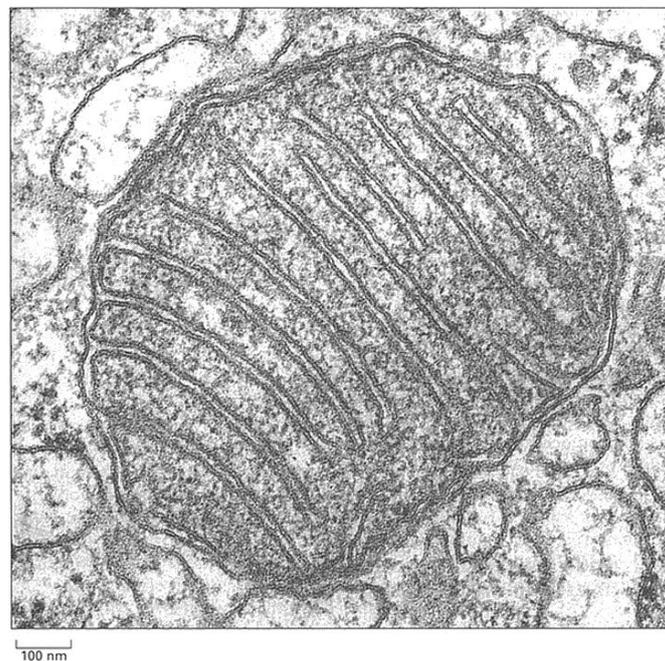


**Figura 11.** Fotografía de microscopía electrónica de transmisión que reflejan la estructura del aparato de Golgi. Fuente: Alberts, B., Johnson, A., Lewis, J., Raff, M., Roberts, K., & Walter, P. (2010). *Biología molecular da célula*. Artmed.

Las mitocondrias son los orgánulos encargados de generar la energía necesaria para las actividades celulares a través de la respiración celular. Al proceder de el proceso de endosimbiosis descrito anteriormente, son orgánulos que están rodeados por una doble membrana: la membrana externa y la interna, que presenta unos repliegues hacia el interior llamados crestas mitocondriales y que están separados por un espacio denominado espacio perimitocondrial. Además, presenta moléculas de DNA circular y ribosomas similares a los de las células procariotas.

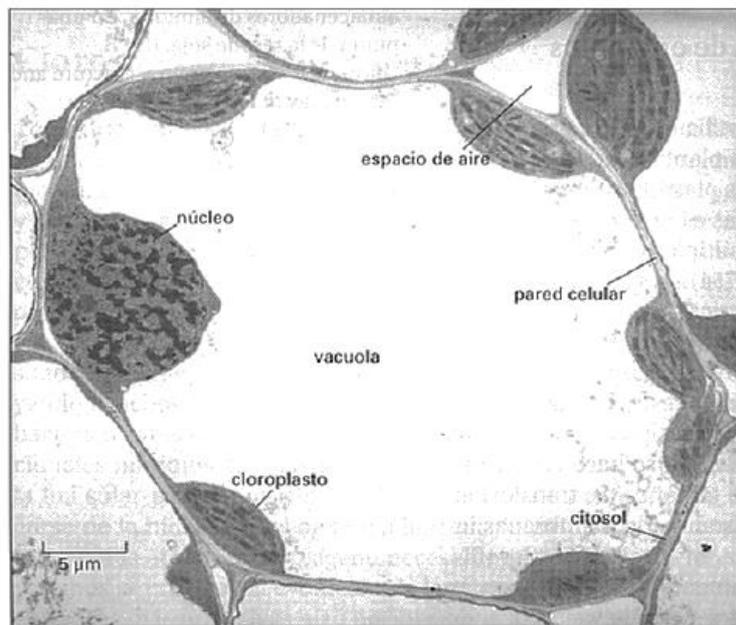


**Figura 12.** Representación esquemática de una mitocondria. Fuente: Paniagua, R. (1999). *Biología celular*. McGraw-Hill Interamericana de España



**Figura 13.** Fotografía de microscopía electrónica de transmisión de una mitocondria. Fuente: Alberts, B., Johnson, A., Lewis, J., Raff, M., Roberts, K., & Walter, P. (2010). *Biología molecular de la célula*. Artmed.

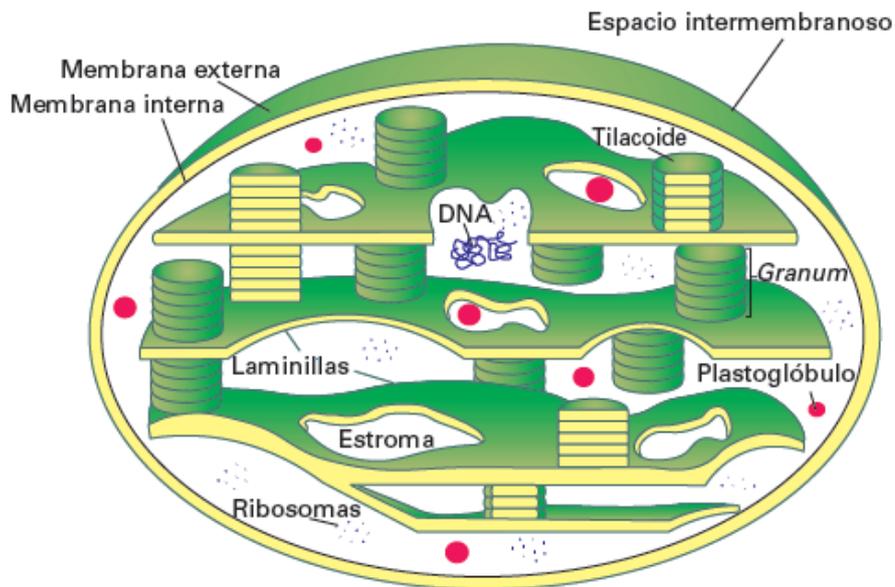
Las vacuolas son unos orgánulos que almacenan sustancias de reserva tales como agua, enzimas, proteínas, sales, azúcares y algunas sustancias sólidas en forma de cristales. Es la estructura más prominente en muchas células vegetales, ocupando la mayor parte de la célula, por lo que los otros contenidos celulares son relegados a una región estrecha próxima a la membrana celular. La vacuola desempeña un papel central al mantener la turgencia celular. Las vacuolas de las células animales suelen ser más pequeñas y numerosas.



**Figura 14.** Fotografía de microscopía óptica de una célula vegetal, donde se pueden observar como la gran vacuola central desplaza al citosol, al núcleo y a los orgánulos a la periferia celular. Fuente: Alberts, B., Johnson, A., Lewis, J., Raff, M., Roberts, K., & Walter, P. (2010). *Biología molecular da célula*. Artmed.

Los cloroplastos son unos orgánulos característicos de las células eucariotas vegetales, que generalmente se concentran cerca de la superficie de la célula, donde ocurre la fotosíntesis. Al igual que las mitocondrias proceden de un proceso de endosimbiosis por lo que están rodeados de una doble membrana y presentan moléculas de DNA circular y ribosomas similares a los de las células procariontas. Dentro de la doble membrana encontramos un espacio denominado estroma donde se encuentran unos sáculos llamados tilacoides, que contienen las moléculas de clorofila y otras moléculas involucradas en la captura de energía luminosa proveniente del Sol y en la síntesis de la materia orgánica. Algunos de los tilacoides se encuentran apilados formando el *granum* o tilacoides de grana.

En los vegetales existen, además de los cloroplastos, otros tipos de plastos que acumulan otras sustancias, como los leucoplastos que acumulan almidón y los cromoplastos que acumulan sustancias coloreadas (se encuentran en los pétalos de las flores y en los frutos).

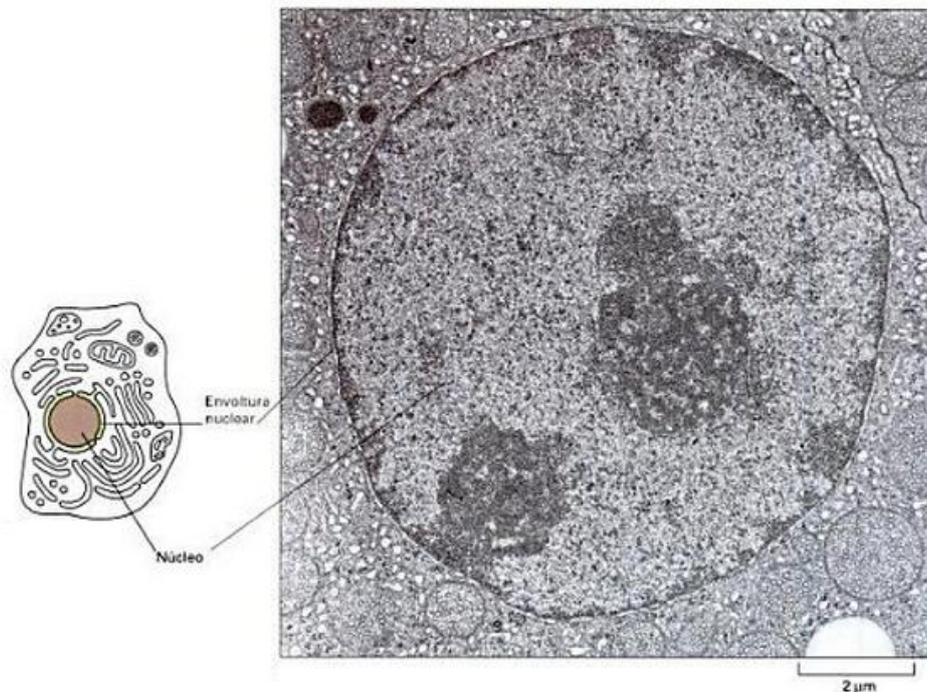


**Figura 15.** Estructura básica de los cloroplastos. Fuente: Paniagua, R. (1999). *Biología celular*. McGraw-Hill Interamericana de España

El núcleo de las células eucarióticas es un cuerpo grande frecuentemente esférico y, por lo común, es la estructura más voluminosa dentro de las células eucarióticas. Está separado del citoplasma por la envoltura nuclear doble, formada por dos bicapas lipídicas concéntricas. Estas dos membranas están separadas por un intersticio de unos 20 a 40 nanómetros pero, a intervalos frecuentes, las membranas se fusionan creando pequeños poros, por donde circulan sustancias entre el núcleo y el citoplasma.

El núcleo contiene el material genético que, en las células eucarióticas, es DNA lineal que está fuertemente unido a proteínas específicas, como por ejemplo las histonas. Cada molécula de DNA se condensa con sus histonas constituyendo un cromosoma. Cuando una célula no se está dividiendo, los cromosomas se descondensan formando una maraña de hilos delgados llamada cromatina. Cuando la célula se divide, la cromatina se condensa y los cromosomas se hacen visibles como

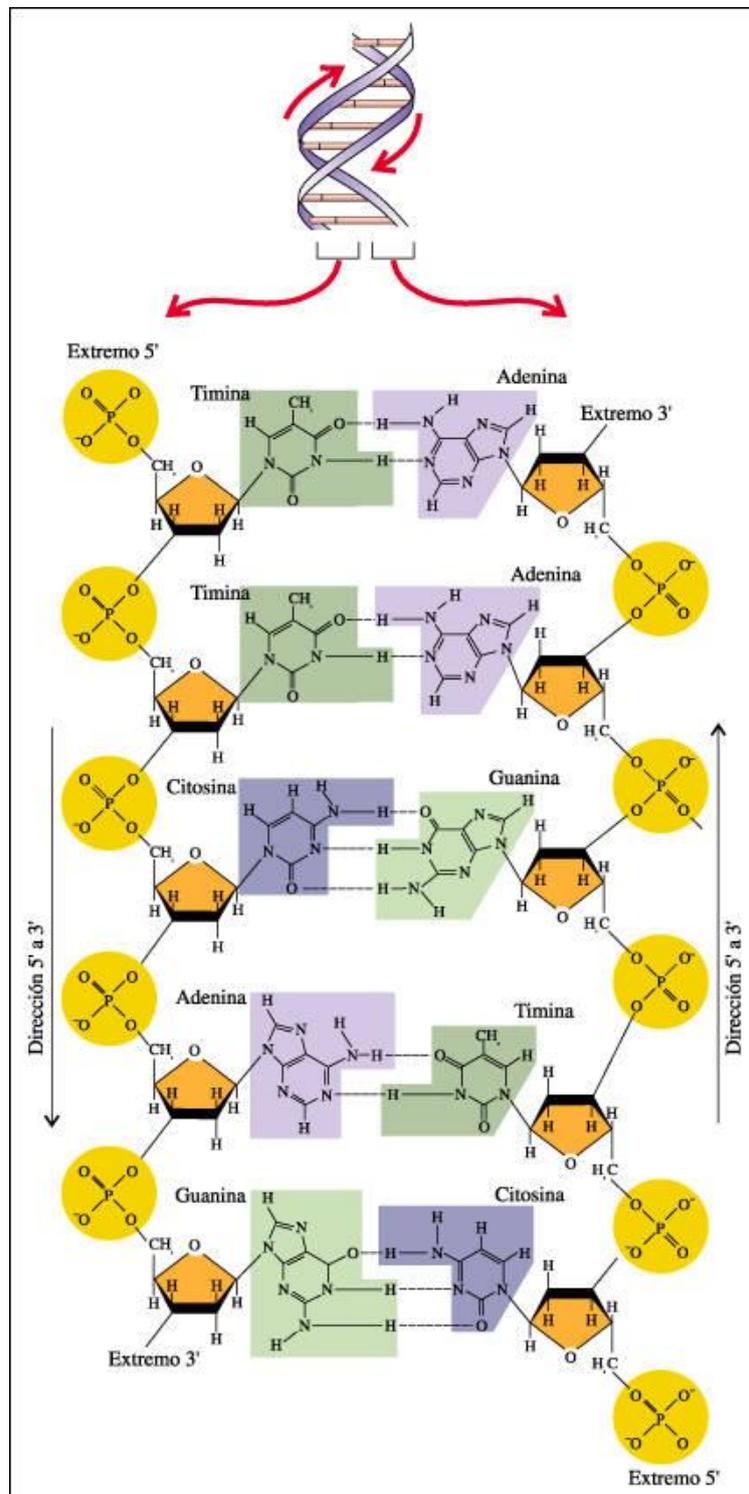
entidades independientes que favorecen el reparto de la información genética. Dentro del núcleo se encuentra el nucléolo, donde se sintetizan los ribosomas.



**Figura 16.** Estructura del núcleo celular. Fuente: Alberts, B., Johnson, A., Lewis, J., Raff, M., Roberts, K., & Walter, P. (2010). *Biología molecular da célula*. Artmed.

El DNA o ácido desoxirribonucleico es una larga molécula formada por dos cadenas dispuestas de forma antiparalela y enrolladas entre sí formando una hélice. Cada cadena está formada por la unión de nucleótidos, que a su vez están formados por una molécula de azúcar (la desoxirribosa), un grupo fosfato y una base nitrogenada (adenina, guanina, citosina o timina). Existen cuatro tipos de nucleótidos: nucleótidos de adenina, nucleótidos de guanina, nucleótidos de citosina y nucleótidos de timina. Por lo que cada molécula de DNA está formada por dos largas cadenas de polinucleótidos, enrolladas en espiral alrededor de un eje imaginario, formando una doble hélice. Las moléculas de azúcar y los grupos fosfatos forman el esqueleto externo de la hélice y las bases nitrogenadas se disponen hacia el interior. Las cadenas son complementarias, lo que significa que cada nucleótido se encuentra unido al que está enfrente en la otra cadena. Estas uniones se realizan siempre de la misma manera: los nucleótidos de adenina se unen a los de timina y los nucleótidos de

guanina se unen a los de citosina. El DNA tiene carga eléctrica, propiedad que le confieren los grupos fosfato que forman los nucleótidos, que tienen carga negativa.



**Figura 17.** Estructura básica de la doble hélice de DNA. Fuente: Curtis, H., Barnes, N. S., Schnek, A., y Massarini, A. (2008). *Biología*. Médica Panamericana.

### **3. OBJETIVOS**

El objetivo general planteado en el presente Trabajo Fin de Máster (TFM) es analizar y establecer las posibles relaciones entre los conocimientos previos, las emociones y el aprendizaje en el área de Biología Celular, cuando se utiliza una metodología basada en el modelo didáctico de enseñanza por investigación dirigida, en una muestra de alumnos de 3º del Grado en Educación Primaria de la Universidad de Extremadura.

Este objetivo general se alcanzará a través de los siguientes objetivos específicos:

1. Diseñar, y pasar a la muestra, un pretest que permita conocer tanto sus ideas previas sobre Biología Celular como su recuerdo de las emociones experimentadas con el aprendizaje de la Biología a través de clases expositivas y de clases prácticas.
2. Diseñar una intervención basada en el modelo didáctico de enseñanza por investigación dirigida para enseñar ciertos contenidos de Biología Celular e implementarla en el aula.
3. Diseñar, y pasara la muestra, un postest que permita conocer el aprendizaje de la muestra con la metodología seguida
4. Analizar la posible relación entre los conocimientos previos y el recuerdo de las emociones de la muestra
5. Analizar la posible relación entre las emociones y el aprendizaje de la muestra
6. Comparar el aprendizaje y las emociones experimentadas por los alumnos que realizan una práctica basada en el modelo didáctico de enseñanza por investigación dirigida con el aprendizaje y las emociones experimentadas por los alumnos que realizan la misma práctica siguiendo una metodología tradicional

## **4. METODOLOGÍA**

### **4.1 Hipótesis de investigación**

A continuación se enumeran las hipótesis planteadas en el presente TFM:

1. Los alumnos que forman la muestra presentan algunas de las ideas previas alternativas sobre contenidos de Biología Celular y Genética establecidas en la bibliografía. Esta hipótesis deriva del objetivo específico 1
2. Los alumnos experimentan, a lo largo de su vida académica, más emociones positivas y menos emociones negativas con las clases prácticas y más emociones negativas y menos positivas con las clases expositivas. Esta hipótesis deriva del objetivo específico 1
3. Los alumnos que presentan más conocimientos previos han experimentado más emociones positivas y menos emociones negativas en su aprendizaje de la Biología. Esta hipótesis deriva del objetivo específico 4
4. Los alumnos que experimentan más emociones positivas y menos emociones negativas con la práctica realizada presentan mejores resultados de aprendizaje. Esta hipótesis deriva de los objetivos específicos número 3 y número 5
5. Los alumnos que realizan la práctica basada en el modelo didáctico de enseñanza por investigación dirigida muestran mejores resultados de aprendizaje y experimentan distintas emociones que los que realizan la práctica bajo un enfoque tradicional. Esta hipótesis deriva de los objetivos específicos número 3 y número 6

### **4.2 Diseño de la investigación**

Una vez planteados los objetivos descritos en el apartado 3 y realizada la revisión bibliográfica, se eligió la población (alumnado de tercer curso del Grado en Educación Primaria de la Universidad de Extremadura) y se seleccionó la muestra. A continuación, se diseñó el pretest (anexo 1), con el que analizar los conocimientos previos de los alumnos sobre Biología Celular y Genética, así como las emociones experimentadas, a lo largo de su vida académica, en el aprendizaje de la Biología

mediante una enseñanza expositiva y mediante una enseñanza bajo un enfoque práctico. Simultáneamente, se elaboró el postest, para evaluar el aprendizaje de los alumnos después de la intervención y las emociones experimentadas durante la misma (anexo 2).

El siguiente paso fue diseñar la intervención basada en el modelo didáctico de enseñanza por investigación dirigida. Para ello se eligió una actividad práctica centrada en extraer DNA utilizando material cotidiano. Se elaboró una presentación de diapositivas (anexo 3) y se adaptó un protocolo de extracción de DNA con material de cocina (anexo 4).

Posteriormente, se llevaron a cabo las intervenciones, y en las mismas se informó a los alumnos que dos semanas después deberían entregar el informe descrito en la presentación de diapositivas y que ese día deberían completar el postest.

Finalmente, se analizaron los resultados.

#### **4.3 Población y muestra**

La población objeto de estudio del presente TFM es el alumnado de tercero del Grado en Educación Primaria que cursa la asignatura, de 6 créditos ECTS, Didáctica del Medio Físico y los Seres Vivos en las Facultades de Educación de Badajoz y de Formación de Profesorado de Cáceres de la Universidad de Extremadura.

La muestra empleada en el mismo, elegida intencionalmente, ha sido el alumnado de tres grupos: dos de la Facultad de Educación y uno de la Facultad de Formación del Profesorado, 166 alumnos en total. La muestra es incidental o accidental, no aleatoria, ya que se han elegido los elementos de la población a los que se tiene acceso. Por tanto, los resultados no son extrapolables a la población.

Los grupos de la Facultad de Educación de Badajoz (110 alumnos) se denominan B1 y B2. Los alumnos que forman estos grupos recibieron clases teóricas sobre las cuestiones preguntadas en los test y realizaron una práctica de laboratorio de tres horas basada en el modelo didáctico de investigación dirigida. Para ello, cada grupo fue dividido en 3 subgrupos. Tras la realización de la práctica, se les pidió un informe sobre la actividad.

El grupo de la Facultad de Formación del Profesorado de Cáceres (56 alumnos) se denomina C1. Estos alumnos siguieron una metodología diferente en la parte teórica de la asignatura, centrada en la lectura de dos capítulos de un libro (Bryson y Álvarez, 2006) relacionado con los contenidos de los test, y realizaron una práctica de laboratorio de extracción de DNA según el modelo didáctico de enseñanza tradicional (2 horas). Se facilitó a los alumnos un protocolo de la práctica con todo el conocimiento necesario para entenderla y realizarla, para lo cual el grupo también fue dividido en 3 subgrupos.

#### **4.4 Instrumento**

El instrumento utilizado en la investigación es un cuestionario (anexo 1) que consta de cuatro partes, tres de ellas son iguales en el pretest y el posttest. La cuarta, que evalúa las emociones, es diferente.

En las tres primeras partes se estudia el grado de conocimiento que tiene el alumnado que compone la muestra en relación a contenidos de Biología Celular:

- Parte 1: está formada por 10 preguntas de verdadero o falso. Con ella se pretende analizar la presencia de ideas previas alternativas sobre contenidos relacionados con la estructura y fisiología de la célula y con la genética, en base a lo recogido en la bibliografía para la etapa de Educación Secundaria (Acosta, 2008; Banet y Ayuso, 1995; Caballer y Giménez, 1993; Caballero, 2008; Camacho *et al.*, 2012 y Díaz de Bustamante y Jiménez, 1996).
- Parte 2: comprende 5 preguntas de test, cada una con 4 o 5 posibles respuestas, de las cuales solo una es correcta. Esta parte evalúa el conocimiento del alumnado sobre aspectos relativos a la Biología Celular que son abordados en la intervención que se realiza.
- Parte 3: sus preguntas están sacadas 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 4º y 8º grado de cada país participante, 4º de Educación Primaria y 2º de Educación Secundaria Obligatoria en el caso de España (Ministerio de Educación, Cultura y Deportes, 2011). Son cuatro

preguntas, cada una de ellas con cuatro respuestas posibles, de las cuales solo una es correcta.

En el último apartado del cuestionario (Parte 4), se analizan las emociones de los alumnos. Para ello se han elegido 5 emociones positivas y 5 negativas (tabla 1) de las emociones que pueden experimentar los alumnos ante un proceso de enseñanza-aprendizaje según lo establecido por Mellado *et al.* (2014).

**Tabla 1.** Emociones positivas y negativas que pueden experimentar los alumnos ante un proceso de enseñanza-aprendizaje.

<b>Emociones positivas</b>	<b>Emociones negativas</b>
Alegría	Preocupación
Confianza	Frustración
Satisfacción	Incertidumbre
Entusiasmo	Nerviosismo
Diversión	Aburrimiento

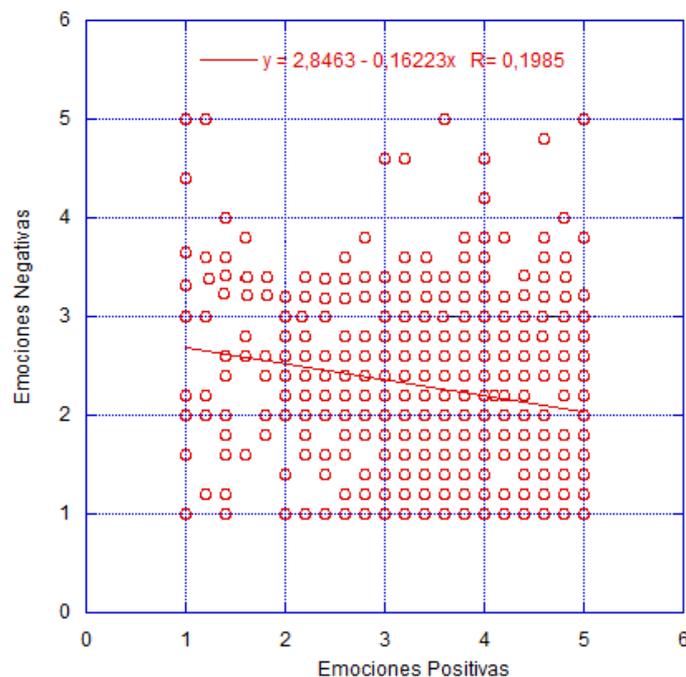
Estas emociones se cuantifican del 1 al 5, correspondiendo el valor 1 a no haber sentido nunca esa emoción y el valor 5 a haberla sentido muy intensamente. El valor 3, es el valor intermedio, y los valores 2 y 4 determinan “un poco” y “bastante” respectivamente.

En la parte 4 del pretest se estudia el recuerdo de las emociones que los alumnos han experimentado a lo largo de su vida académica (desde la Educación Primaria hasta sus estudios universitarios) con las clases de Biología que seguían un modelo expositivo, basado en las clases magistrales, y con las clases prácticas que se basaban en un enfoque experimental. También se estudian las emociones previas a la práctica de extracción de DNA realizada. En el caso del posttest, en la Parte 4 (anexo 2) solo se pregunta por las emociones experimentadas con la realización de dicha experiencia.

Siguiendo lo establecido por Messick (1995), para validar la Parte 4 del test, se comprueba si las emociones siguen una distribución normal. Sí lo hacen, ya que con el test de Lilliefors se obtiene un p-value de 0,182 (considerando que la distribución es

significativamente normal si  $p\text{-value} > 0,05$ ). Esto sugiere que la cuantificación de las emociones es gradual (de 1 a 5) y que las diferencias entre los grados es homogénea (el cambio de emociones de 1 a 2 es probablemente similar al cambio de 3 a 4, por ejemplo). Si no fuese homogénea la curva no sería simétrica y, entonces, no seguiría una distribución normal.

Además, para validar el test se estudia si existe una correlación negativa entre dos emociones contrarias (la frecuencia con la que los alumnos experimentan emociones positivas y la frecuencia con la que experimentan emociones negativas). Para ello, se realiza una correlación de Pearson (ya que las emociones siguen una distribución normal o paramétrica) entre las emociones positivas y las negativas recogidas en el pretest. Como se observa en la recta de regresión (figura 18) al aumentar la frecuencia con la que los alumnos experimentan emociones positivas disminuye la frecuencia con la que experimentan emociones negativas. Existe una correlación negativa del 19,85%, que es significativa porque se obtiene un  $p\text{-value} < 0,0001$  (si  $p\text{-value} < 0,05$  es significativo).



**Figura 18.** Rectas de regresión de las emociones negativas en función de las emociones positivas

#### **4.5 Intervención**

La experiencia práctica se realizó en las sesiones correspondientes a seminarios de la asignatura Didáctica del Medio Físico y los Seres Vivos. Estas sesiones son de 3 horas, se desarrollan en el laboratorio y tienen un máximo de 20 alumnos por sesión.

En primer lugar, se informó a los alumnos sobre este TFM, se le pidió su colaboración voluntaria y se le agradeció su participación. A continuación, se aplicó el pretest a los alumnos asistentes al seminario, rellenando éstos los cuestionarios de manera anónima. Para contestar a las preguntas del pretest dispusieron de un tiempo ilimitado.

Tras esto, el profesor comenzó a impartir el seminario, utilizando para ello una presentación de diapositivas (anexo 3) y la pizarra digital interactiva. Se explicó de forma muy resumida el fundamento y las principales diferencias de distintos modelos didácticos (enseñanza tradicional, enseñanza expositiva, enseñanza por descubrimiento y enseñanza mediante investigación dirigida), y se analizó más en profundidad el modelo didáctico mediante investigación dirigida. Así se explicó la dinámica del seminario, basada en que el profesor plantearía distintas preguntas que la clase en su conjunto debía de ir respondiendo, hasta consensuar una única respuesta.

Una vez presentado el modelo didáctico que se iba a seguir, se les formuló a los alumnos una pregunta abierta: ¿cómo extraer DNA de un tomate con material cotidiano? Se generó un debate entre los alumnos, y el profesor lo fue reconduciendo formulando otras preguntas tales como, ¿dónde hay DNA dentro de la célula?, o ¿cómo podemos lisar las membranas celulares? (el resto de preguntas se hallan en la presentación que se encuentra en el anexo 3) para llegar a los conceptos necesarios. El debate se produce bajo la supervisión del profesor, que matiza, refuerza y/o cuestiona las respuestas de los alumnos. Utilizando las repuestas que los alumnos habían consensuado, la clase en su conjunto elaboró un protocolo de prácticas, muy parecido al que se encuentra recogido en el anexo 4, para extraer DNA de tomate con material cotidiano.

Una vez elaborado el protocolo, el profesor plantea de nuevo el problema: ¿cómo extraer DNA de un tomate con material cotidiano? Tras comprobar que los alumnos tienen claros los conceptos necesarios, plantea otro problema: ¿cómo extraer DNA de células presentes en la saliva humana con material cotidiano?

Seguidamente, ejecutaron, por parejas, dicho protocolo de prácticas para extraer el DNA, primero partiendo de tomate y después de las células de su propia mucosa bucal. Aquellos alumnos que quisieron, se llevaron su DNA en un bote.

Al terminar el seminario, el profesor les pidió que redactaran un informe en el cuál recogieran qué productos y procesos habían utilizado para extraer el DNA y por qué, estableciendo así la relación entre los contenidos teóricos (diferencias entre tipos de células, localización del material genético en la célula, estructura y composición de la membrana celular...) y el método de extracción. El informe debía de ser entregado 2 semanas después, momento en el que se aplicó el posttest.

#### **4.6 Plan de análisis de datos**

Para analizar los datos, en primer lugar se comprueba si las diferentes variables analizadas siguen una distribución normal o paramétrica (un tipo de distribución estadística que puede explicarse con parámetros), utilizando el test de Lilliefors, que calcula la probabilidad (p-value) de que los datos sigan una distribución normal. Si el p-value es mayor a 0,05, se considera que los datos siguen una distribución normal.

En los casos en que las variables estudiadas siguen una distribución normal se ha utilizado estadísticos paramétricos:

- Test t-Student para comparar si hay diferencias significativas entre las medias
- Test F de Fisher para comparar las varianzas
- Test de regresión de Pearson para estudiar correlaciones entre dos variables.

Cuando los datos analizados no siguen una distribución normal se emplea una estadística no paramétrica:

- Test de Wilcoxon para comparar si hay diferencias significativas entre las medianas

- Test de Kruskal Wallis para comparar varianzas
- Correlación de Spearman para estudiar correlaciones entre variables

En todos, tanto para los estadísticos paramétricos como para los estadísticos no paramétricos, si el p-value es menor de 0,05 se acepta que existen diferencias significativas entre los valores comparados. En el caso de las correlaciones, el p-value nos informa de la probabilidad de que los datos se correlacionen por azar, y un valor menor de 0.05 nos indica que la correlación se debe a otra causa y, por tanto, es significativa.

Para realizar los análisis estadísticos se han utilizado los programas KaleidaGraph 4.5 y Microsoft Office Excel 2007.

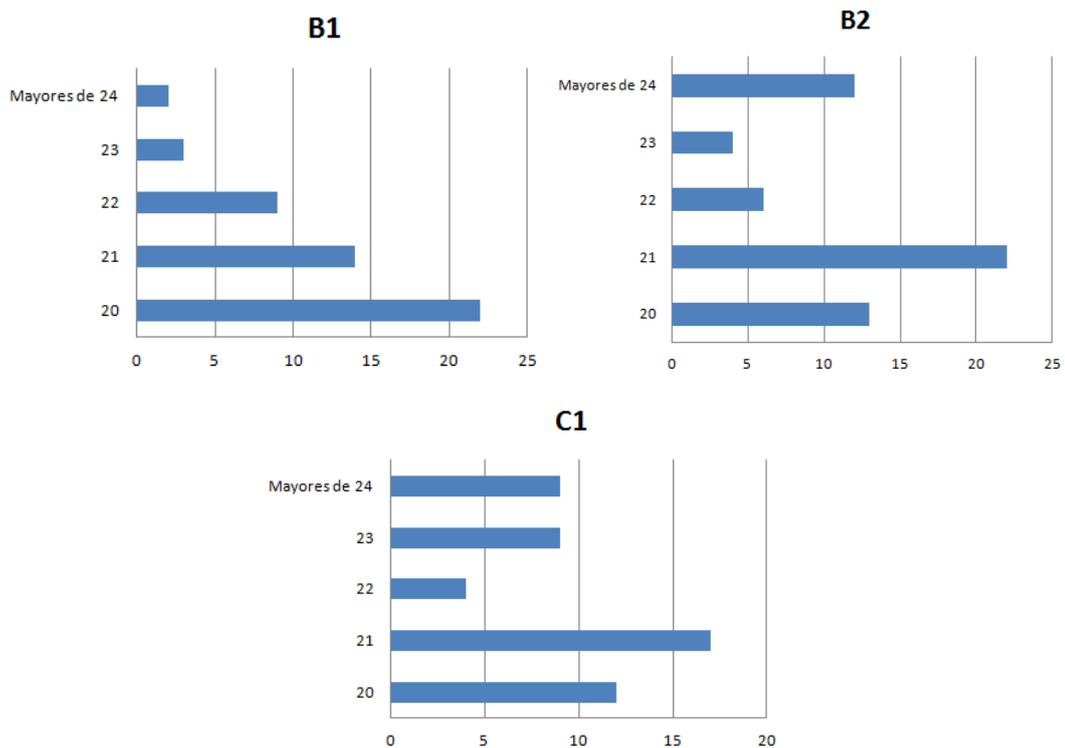
## 5. RESULTADOS

### 5.1 Análisis descriptivo de la muestra

Las características de la muestra, porcentaje de hombres y mujeres, edad media y porcentaje de alumnos que accedieron a la universidad como mayores de 25 años, en función de los grupos, se encuentra en la tabla 2. En la figura 19 se representa la distribución del alumnado de los tres grupos en función de la edad. Como se observa, la muestra comprende tres grupos muy heterogéneos en relación a la distribución de sexos y edades.

**Tabla 2.** Distribución del alumnado de los grupos B1, B2 y C1 en función del sexo, edad media y acceso a la universidad como mayores de 25 años.

Variable estudiada	B1	B2	C1
% de varones	10	39	52
% de mujeres	90	61	48
Edad media en años	21,10	21,91	22,39
% de alumnos que han accedido a la universidad como mayores de 25 años	2	0	8



**Figura 19.** Distribución del alumnado de los grupos B1, B2 y C1 en función de la edad.

## 5.2 Análisis del pretest:

### 5.2.1 Análisis descriptivo del pretest

Los descriptivos estadísticos de los resultados obtenidos en el pretest por los alumnos de los grupos B1, B2 y C1 se resumen en la tabla 3. Los resultados de las partes 1, 2 y 3 están normalizados sobre 10 y las emociones se valoran sobre 5. En dicha tabla se puede encontrar para cada variable el número de muestra (n) de cada grupo y medidas estadísticas de tendencia central (la media, la mediana) y dispersión (la desviación típica).

**Tabla 3.** Resultados obtenidos por los alumnos de los grupos B1, B2 y C1 en las partes 1, 2 y 3 del pretest, así como la nota media de las tres partes y de las emociones positivas y negativas experimentadas con las clases expositivas, prácticas y las previas a la intervención.

		Conocimientos previos				Emociones					
		Parte 1	Parte 2	Parte 3	Total	Clase Expositiva		Clase Práctica		Previas Intervención	
						Positivas	Negativas	Positivas	Negativas	Positivas	Negativas
Grupo B1 (n=51)	Media	6,80	4	7,35	6,05	2,15	2,70	3,90	2,15	3,74	1,89
	Mediana	7	4	7,50	6	2	2,60	4	2	3,80	1,80
	Desviación típica	1,28	2,13	1,94	1,12	0,77	0,83	0,66	0,62	0,77	0,66
Grupo B2 (n=59)	Media	6,61	3,69	6,78	5,69	2,41	2,56	3,81	2,35	3,64	2,06
	Mediana	6	4	7,50	5,5	2,40	2,60	3,80	2,40	3,80	2,20
	Desviación típica	1,45	2,14	2,57	1,36	0,76	0,75	0,74	0,75	0,83	0,74
Grupo C1 (n=56)	Media	6,25	2,67	6,56	5,16	2,90	2,56	3,68	2,40	3,74	2,55
	Mediana	6	2	7,50	5,16	2,70	2,60	3,80	2,60	3,80	2,60
	Desviación típica	1,12	2,05	2,39	1,88	0,77	0,73	0,94	0,91	0,98	0,96

### 5.2.2 Detección de ideas previas alternativas en base a la bibliografía

Para determinar las ideas previas alternativas que presenta la muestra se analizan los resultados de la parte 1 del pretest en cada uno de los grupos estudiados. Los resultados obtenidos, en porcentaje, se pueden observar en la tabla 4, donde se destaca en negrita la respuesta correcta en cada pregunta y con un asterisco se señala los casos en los que más del 50% de la muestra presenta la idea alternativa.

**Tabla 4.** Resultados obtenidos (en porcentaje) por los alumnos de los grupos B1, B2, C1 en las preguntas de la parte 1 del pretest. V, verdadero; F, falso; Negrita, respuesta correcta; Asterisco (\*), casos en los que más del 50% presenta la idea alternativa

	B1		B2		C1		Total	
	V (%)	F (%)						
<b>Pregunta 1</b>	25,5	<b>74,5</b>	35,6	<b>64,4</b>	33,9	<b>66,1</b>	31,3	<b>68,7</b>
<b>Pregunta 2</b>	31,4	<b>68,6</b>	35,6	<b>64,4</b>	42,8	<b>57,2</b>	36,6	<b>63,4</b>
<b>Pregunta 3</b>	52,9*	<b>47,1</b>	32,2	<b>67,8</b>	23,2	<b>76,8</b>	36,1	<b>63,9</b>
<b>Pregunta 4</b>	<b>78,4</b>	21,6	<b>89,8</b>	10,2	<b>85,7</b>	14,3	<b>84,7</b>	15,3
<b>Pregunta 5</b>	37,2	<b>62,8</b>	47,4	<b>52,6</b>	87,5*	<b>12,5</b>	57,4*	<b>42,6</b>
<b>Pregunta 6</b>	47,1	<b>52,9</b>	38,9	<b>61,1</b>	42,8	<b>57,2</b>	42,9	<b>57,1</b>
<b>Pregunta 7</b>	<b>72,5</b>	27,5	<b>91,5</b>	8,5	<b>78,6</b>	21,4	<b>80,9</b>	19,1
<b>Pregunta 8</b>	43,1	<b>56,9</b>	37,3	<b>62,7</b>	12,5	<b>87,5</b>	31,0	<b>69,0</b>
<b>Pregunta 9</b>	82,4*	<b>17,6</b>	76,5*	<b>23,5</b>	71,4*	<b>28,6</b>	76,8*	<b>23,2</b>
<b>Pregunta 10</b>	15,7	<b>84,3</b>	16,9	<b>83,1</b>	23,2	<b>76,8</b>	18,6	<b>81,4</b>

En la pregunta 1 (la célula es la unidad funcional y estructural de los seres vivos unicelulares mientras que en los pluricelulares son los tejidos) se analiza el conocimiento del alumnado acerca de la célula como unidad funcional y estructural de los todos los seres vivos: unicelulares y pluricelulares. Como se observa en la tabla 4, la mayoría del alumnado (68,7%) considera a la célula como unidad funcional y estructural de los todos los seres vivos, aunque el 25,5% del alumnado en el caso del grupo B1, el 35,6% en el caso del grupo B2 y el 33,9% en el caso del grupo C1 lo desconocen y solo la identifican como la unidad funcional y estructural de los seres vivos unicelulares.

En la pregunta 2 (las células se encuentran concentradas en ciertos lugares específicos de los seres vivos, ej. las neuronas en el cerebro o los glóbulos rojos en la sangre en el caso de los humanos. En prácticamente todos los seres vivos la mayor parte no son células sino agua) se analiza el conocimiento del alumnado acerca de los seres vivos pluricelulares como el conjunto de muchas células. La mayoría del alumnado (63,4%) considera a los seres vivos pluricelulares formados por la unión de muchas células, aunque el 31,4% del alumnado del grupo B1, el 35,6% del grupo B2 y el 42,8% del grupo C1 consideran que las células solo se localizan en lugares específicos del cuerpo, siendo ocupado éste en su mayoría por agua.

Respecto a la pregunta 3 (las células tienen forma circular), en la cual se analiza el conocimiento del alumnado acerca de la forma de las células, la mayoría del alumnado de los grupos B1 y C1 no identifica a las células con la visión simplista de estructuras circulares, solo el 32,2% del alumnado del grupo B2 y el 23,2% del grupo C1 sí lo hacen. En el caso del grupo B1 la mayor parte de los alumnos (52,9%) sí presentan esta idea previa alternativa (tabla 4).

En relación a la pregunta 4 (todas las células están formadas por una membrana que las delimita y que contiene al citoplasma donde se encuentra el núcleo y los orgánulos que realizan las funciones celulares) donde se estudia el conocimiento del alumnado acerca de las estructuras celulares básicas y el funcionamiento de las mismas, se observa que un porcentaje muy alto de los alumnos (84,7%) identifica las estructuras celulares básicas (membrana plasmática, citoplasma, orgánulos y núcleo), aunque el 21,6% del alumnado del grupo B1, el 10,2% del grupo B2 y el 14,3% del grupo C1 no lo hace (tabla 4).

Al estudiar el conocimiento del alumnado en relación a la localización del material genético dentro de la célula (pregunta 5: El material genético se localiza exclusivamente en el núcleo celular) se observa que existe cierta confusión al respecto en los tres grupos analizados, ya que más de la mitad de los alumnos, el 57,4%, sitúa el material genético exclusivamente en el núcleo, siendo este porcentaje especialmente alto en el grupo C1 (87,5%). Por tanto el 62,8% del grupo B1, el 52,6% del grupo B2 y

solo el 12,5% del grupo C1 cree que el material genético tiene alguna localización celular más allá del núcleo (tabla 4).

En las preguntas 6 (las mitocondrias solo se encuentran en las células animales) y 7 (los cloroplastos solo se encuentran en las células vegetales) se analiza el conocimiento del alumnado acerca de la localización de dos orgánulos (mitocondrias y cloroplastos) en función del tipo celular (célula animal o célula vegetal). Con respecto a la pregunta 6, como se puede observar en la tabla 4, la mayoría del alumnado (57,1%) no identifica a las mitocondrias como estructuras exclusivas de las células animales, aunque el 47,1% del alumnado del grupo B1, el 38,9% del grupo B2 y el 42,8% en del grupo C1 sí lo hace. Con respecto a la pregunta 7, la mayoría del alumnado (80,9%) identifica a los cloroplastos como estructuras exclusivas de las células vegetales, aunque el 27,5% del alumnado del grupo B1, el 8,5% del grupo B2 y el 21,4% del grupo C1 no lo hace (tabla 4).

La pregunta 8 (los cromosomas son unas estructuras exclusivas de las células animales) analiza el conocimiento del alumnado acerca de los cromosomas como estructuras que se encuentran en todos los tipos celulares. La mayoría del alumnado (69%) no considera a los cromosomas como estructuras exclusivas de las células animales, aunque el 43,1% del alumnado del grupo B1, el 37,3% del grupo B2 y el 12,5% del grupo C1 sí lo hace (tabla 4).

En la pregunta 9 (los cromosomas sexuales se encuentran exclusivamente en las células sexuales, ej. en los óvulos y en los espermatozoides en el caso de los humanos) se analiza el conocimiento de alumnado sobre los cromosomas sexuales como estructuras que están presentes en todas las células de los seres vivos. El 76,8% de la muestra (el 82,4% en el caso del grupo B1, el 76,5% en el caso del grupo B2 y el 71,4% en el caso del grupo C1) considera a los cromosomas sexuales como estructuras exclusivas de las células sexuales (tabla 4).

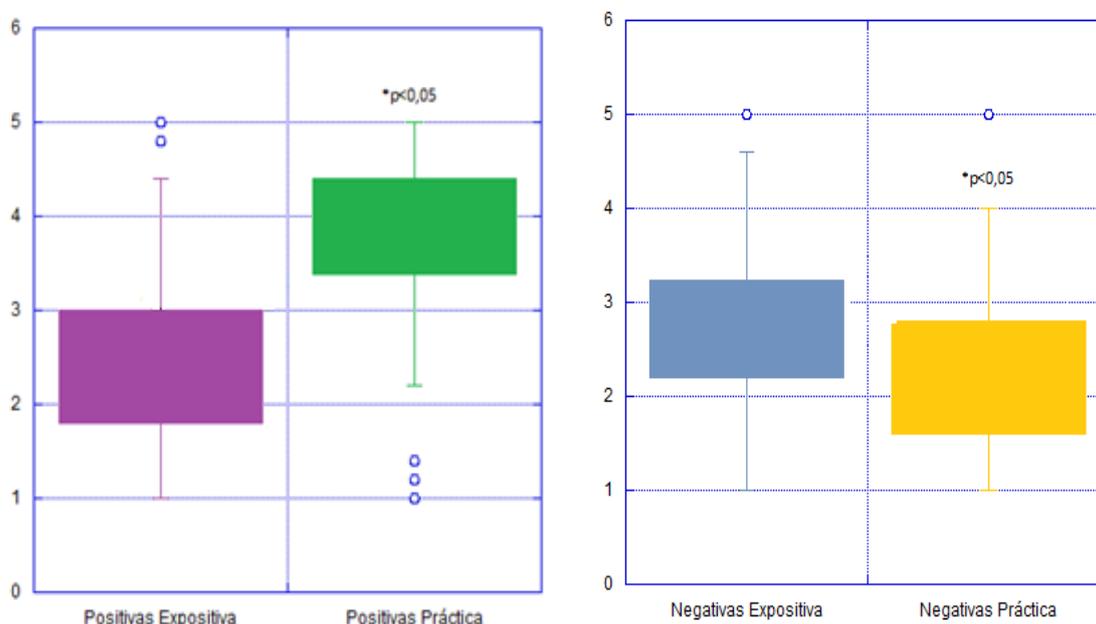
Finalmente, con la pregunta 10 (una célula de la piel y una célula del hígado tienen la misma información genética pero distinto ADN) se estudia el grado de conocimiento del alumnado acerca del DNA, como información genética idéntica en todas las células de un ser vivo. La mayoría del alumnado (81,4%) considera que todas

las células del organismo presentan la misma información genética o DNA, sólo el 15,7% del alumnado del grupo B1, el 16,9% del grupo B2 y el 23,2% del grupo C1 no lo hace.

Teniendo en cuenta los resultados anteriores, se acepta la hipótesis 1 (los alumnos que forman la muestra presentan algunas de las ideas previas alternativas sobre contenidos de Biología Celular y Genética establecidas en la bibliografía).

### 5.2.3 Análisis de las emociones

Los resultados del recuerdo de las emociones positivas experimentadas por los alumnos con el aprendizaje de la Biología a lo largo de su escolaridad reflejan que las emociones positivas se experimentaban con mayor frecuencia con las clases prácticas (media de 3,80) que con las clases expositivas (media de 2,49). Al realizar el test t-Student (ya que las emociones siguen una distribución normal) se obtiene un  $p\text{-value} < 0,001$ , por lo que las diferencias son significativas (si  $p\text{-value} < 0,05$  es significativo) (figura 20).



**Figura 20.** Distribución de las emociones positivas y negativas que experimenta el alumnado con las clases expositivas y con las prácticas.

Los resultados del recuerdo de las emociones negativas reflejan que dichas emociones se experimentaban con mayor frecuencia con las clases expositivas (media de 2,61) que con las clases prácticas (media de 2,33). Las diferencias son significativas, ya que al realizar el test t-Student se obtiene un p-value de 0,002 (si p-value < 0,05 es significativo) (figura 20).

Teniendo en cuenta estos resultados, se acepta la hipótesis 2: los alumnos experimentan, a lo largo de su vida académica, más emociones positivas y menos emociones negativas con las clases prácticas y más emociones negativas y menos positivas con las clases expositivas.

### **5.3 Análisis de las relaciones entre emociones y conocimiento previo**

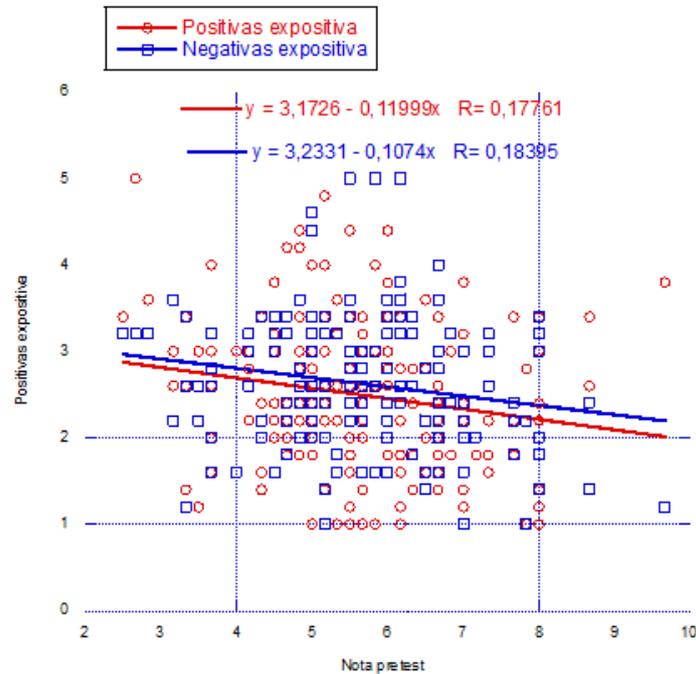
Para estudiar las relaciones entre las emociones y el conocimiento previo se estudia la correlación entre la media de las emociones positivas y negativas, tanto en las clases expositivas como en las clases prácticas, con la nota media obtenida en el pretest (nota media de las partes 1, 2 y 3). Para ello se utiliza la correlación de Spearman, ya que, aunque las emociones siguen una distribución normal, los resultados del pretest siguen una distribución no paramétrica.

#### **Emociones durante las clases expositivas y conocimiento previo**

Como se observa en la figura 21 existe una correlación negativa entre haber sentido emociones positivas durante las clases expositivas y la nota obtenida en el pretest. Al aumentar la nota que los alumnos obtienen en el pretest, disminuyen las emociones positivas durante las clases expositivas. Dicha correlación es del 17,76% y es significativa, ya que al realizar la correlación de Spearman se obtiene un p-value de 0,022 (si p-value < 0,05 es significativo).

También se observa que existe una correlación negativa entre haber experimentado emociones negativas durante las clases expositivas y la nota obtenida en el pretest. Al aumentar la nota del pretest, disminuye el recuerdo de emociones negativas durante las clases expositivas. Dicha correlación es del 18,39% y es significativa. Al realizar la correlación de Spearman se obtiene un p-value de 0,018 (si p-value < 0,05 es significativo).

Estos resultados indican que los alumnos más aventajados muestran menos emociones positivas y negativas frente a las clases expositivas que sus compañeros menos aventajados.



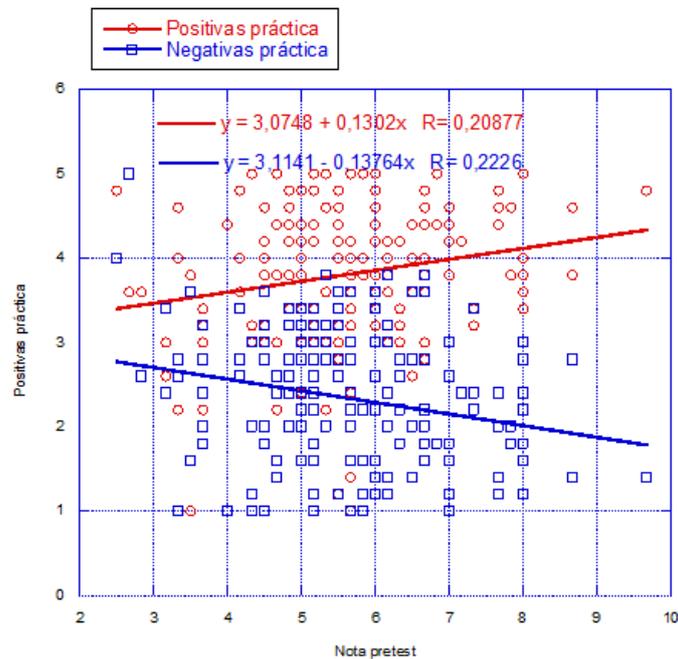
**Figura 21.** Rectas de regresión del recuerdo de haber sentido emociones positivas (rojo) y negativas (azul) durante las clases expositivas en función de la nota obtenida en el pretest.

### Emociones durante las clases prácticas y conocimiento previo

Con respecto al recuerdo de emociones durante las clases prácticas, existe una correlación positiva entre haber sentido emociones positivas durante las clases prácticas y la nota obtenida en el pretest. Como se observa en la figura 22, al aumentar la nota que los alumnos obtienen en el pretest, también aumenta el recuerdo de emociones positivas durante las clases prácticas. Dicha correlación es del 20,88% y es significativa. Al realizar la correlación de Spearman se obtiene un p-value de 0,007 (si p-value < 0,05 es significativo).

Sin embargo, existe una correlación negativa entre el recuerdo de las emociones negativas durante las clases prácticas y la nota obtenida en el pretest. Al aumentar la nota que los alumnos obtienen en el pretest disminuye el recuerdo de emociones negativas durante las clases prácticas. Dicha correlación es del 22,26% y es

significativa. Al realizar la correlación de Spearman se obtiene un p-value de 0,00 (si p-value < 0,05 es significativo).



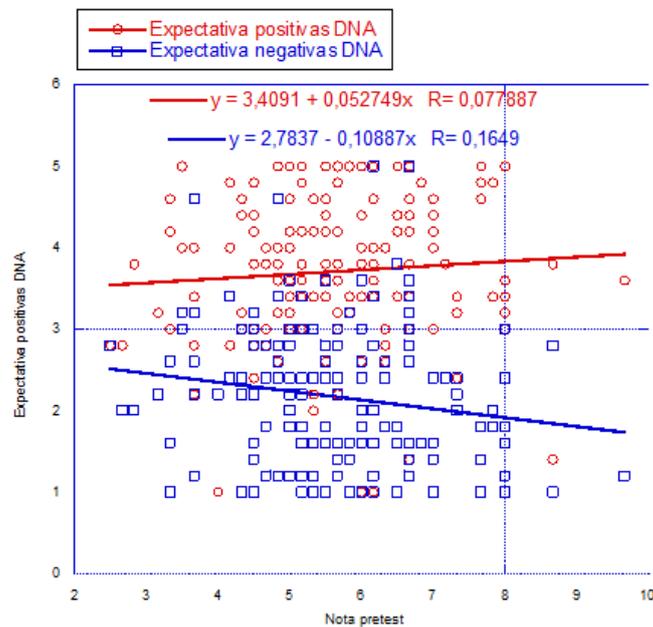
**Figura 22.** Rectas de regresión del recuerdo de haber sentido emociones positivas (rojo) y negativas (azul) durante las clases prácticas en función de la nota obtenida en el pretest.

Según los resultados expuestos anteriormente, se acepta la hipótesis 3 (los alumnos que presentan más conocimientos previos han experimentado más emociones positivas y menos emociones negativas en su aprendizaje de la Biología). La fuente de emociones han sido las actividades prácticas, ya que en ellas existe una correlación positiva significativa entre conocimientos previos y emociones positivas y una correlación negativa significativa entre conocimientos previos y las emociones negativas. Además también existe una correlación negativa significativa entre conocimientos previos y las emociones negativas en el caso de las clases expositivas.

### **Emociones previas a la intervención y conocimiento previo**

Con respecto a la expectativa de emociones en relación a la práctica de extracción de DNA que se realiza en este TFM, existe una correlación positiva entre la expectativa de emociones positivas y la nota obtenida en el pretest (figura 23). Al aumentar la nota que los alumnos obtienen en el pretest, aumenta la expectativa de emociones positivas ante la práctica. Dicha correlación es del 7,79%, y no es

significativa. Al realizar la correlación de Spearman se obtiene un p-value de 0,323 (si p-value < 0,05 es significativo). Además, existe una correlación negativa entre la expectativa de sentir emociones negativas durante la práctica de extracción de DNA y la nota obtenida en el pretest. Al aumentar la nota que los alumnos obtienen en el pretest disminuye la expectativa de sentir emociones negativas. Dicha correlación es del 16,49% y es significativa. Al realizar la correlación de Spearman se obtiene un p-value de 0,035 (si p-value < 0,05 es significativo).



**Figura 23.** Rectas de regresión de la expectativa de sentir emociones positivas (rojo) y negativas (azul) durante la práctica de extracción de DNA en función de la nota obtenida en el pretest.

En la siguiente tabla (tabla 5) se encuentran recogidas de manera resumida las correlaciones entre emociones y conocimiento previo analizadas en este punto.

**Tabla5.** Resumen de las correlaciones entre el conocimiento previo y las emociones positivas y negativas experimentadas durante las clases expositivas, prácticas y las emociones previas a la intervención.

	Emociones Positivas en Expositiva	Emociones Negativas en Expositiva	Emociones Positivas en Práctica	Emociones Negativas en Práctica	Expectativa de Emociones Positivas	Expectativa de Emociones Negativas
<b>Conocimiento previo</b>	Correlación negativa significativa	Correlación negativa significativa	Correlación positiva significativa	Correlación negativa significativa	Correlación positiva no significativa	Correlación negativa significativa
	p-value=0,022	p-value=0,018	p-value=0,007	p-value=0,004	p-value=0,323	p-value=0,035

#### 5.4 Análisis descriptivo del postest:

Los resultados obtenidos por los alumnos de los grupos B1, B2 y C1 en el postest, así como las emociones positivas y negativas experimentadas durante la intervención se encuentran en la tabla 6. Los resultados de las partes 1, 2 y 3 están normalizados sobre 10 y las emociones se valoran sobre 5. En dicha tabla se puede encontrar para cada variable el número de muestra (n) de cada grupo y medidas estadísticas de tendencia central (la media, la mediana) y dispersión (la desviación típica).

**Tabla 6.** Resultados obtenidos por los alumnos de los grupos B1, B2 y C1 en las partes 1, 2 y 3 del postest, así como la nota media de las tres partes y de las emociones positivas y negativas experimentadas con la práctica realizada en el presente TFM.

		Conocimientos				Emociones intervención	
		Parte 1	Parte 2	Parte 3	Total	Positivas	Negativas
Grupo B1 (n=48)	Media	6,91	5,28	7,23	6,47	3,95	1,76
	Mediana	7	4	7,50	6,16	4	1,80
	Desviación típica	1,30	2,78	2,37	1,59	0,69	0,56
Grupo B2 (n=58)	Media	6,93	4,82	7,24	6,33	4,05	1,90
	Mediana	7	4	7,50	6,17	4	1,80
	Desviación típica	1,50	3,13	2,65	1,79	0,52	0,79
Grupo C1 (n=55)	Media	6,44	3,34	7,36	5,71	3,92	2,24
	Mediana	6	4	7,50	6	3,80	2,20
	Desviación típica	1,28	2,19	2,63	1,39	0,77	0,73

#### 5.5 Análisis de la eficacia de las intervenciones

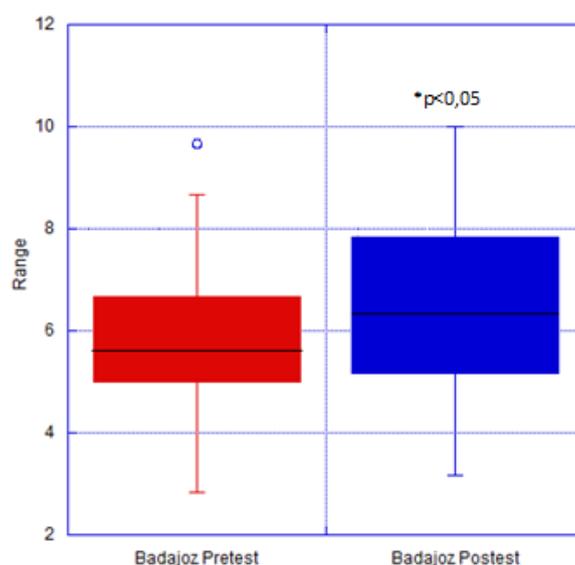
La eficacia de las intervenciones en el proceso de enseñanza-aprendizaje se analiza contrastando el conocimiento previo de los alumnos, evaluado con el pretest, con el aprendizaje tras las intervenciones, evaluado mediante el postest. Para ello se compara la media y la mediana de los resultados que los alumnos obtienen en las

partes 1, 2 y 3 del pretest con la media y la mediana de los resultados que obtienen en las partes 1, 2 y 3 del postest.

### Intervención con metodología basada en la investigación dirigida

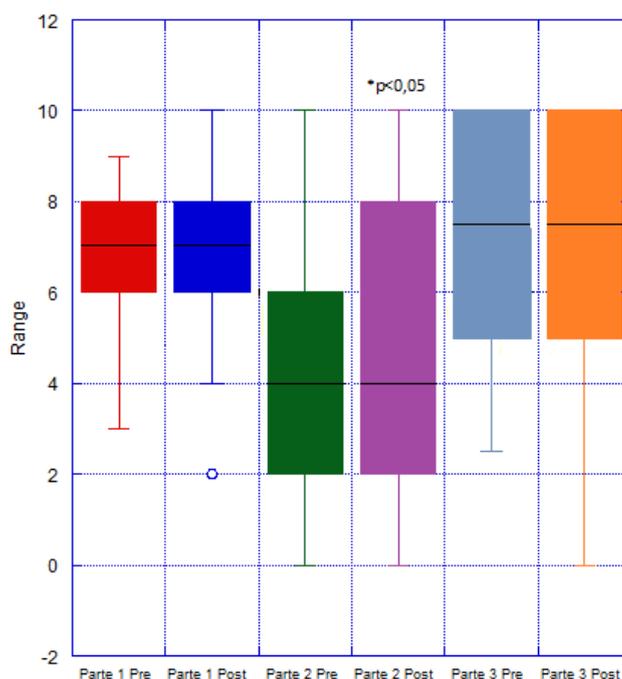
Para realizar este estudio los grupos B1 y B2 se han unido en un único grupo, denominado Badajoz, ya que ambos han recibido una intervención con una metodología basada en la investigación dirigida. Antes de unirlos se ha comprobado que no existen diferencias significativas entre sus medianas. Al realizar el test de Wilconxon (ya que no siguen una distribución normal) se obtiene un p-value de 0,099 en el caso del pretest y de 0,675 en el caso del postest (si p-value < 0,05 existen diferencias significativas), ni entre sus varianzas, al realizar el test de Kruskal Wallis se obtiene un p-value de 0,072 en el caso del pretest y de 0,672 en el caso del postest (si p-value < 0,05 existen diferencias significativas).

En la figura 24 se puede observar que en el alumnado de Badajoz (grupos B1 y B2) se produce un aumento de la media (6,40) obtenida en el postest con respecto a la media (5,87) obtenida en el pretest. Como tanto en el pretest como en el postest los datos siguen una distribución no paramétrica, se realiza una comparación de medianas utilizando el test de Wilconxon. El p-value es 0,024, por lo que este aumento del postest respecto al pretest es significativo (si p-value < 0,05 es significativo).



**Figura 24.** Distribución de los resultados que obtienen los alumnos de Badajoz en pretest (rojo) y en el postest (azul). La recta de cada diagrama de caja representa la mediana.

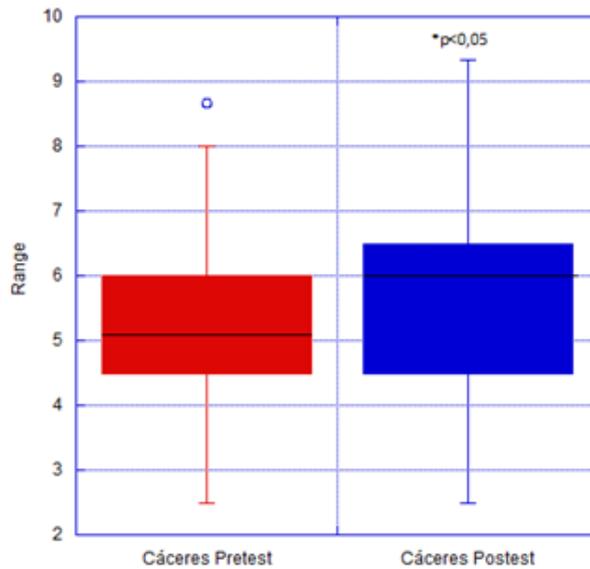
En la figura 25 se representan los resultados de comparar las tres partes de los cuestionarios por separado. Se observa que en la parte 1 (evaluación de ideas previas alternativas) y la parte 3 (evaluación del TIMSS) no se obtienen diferencias significativas entre el pretest y el posttest (p-value de 0,151 en el caso de la parte 1 y de 0,393 en el caso de la parte 3 al realizar el test de Wilconxon). Sin embargo en la parte 2 (evaluación de conocimientos sobre Biología Celular) se produce un aumento significativo de la media, desde 3,84 en el pretest hasta 5,05 en el posttest. El valor de un p-value es de 0,006 con el test de Wilconxon (si p-value < 0,05 es significativo).



**Figura 25.** Distribución de los resultados que obtienen los alumnos de Badajoz en las partes 1, 2 y 3 del pretest y del posttest. La recta de cada diagrama de caja representa la mediana.

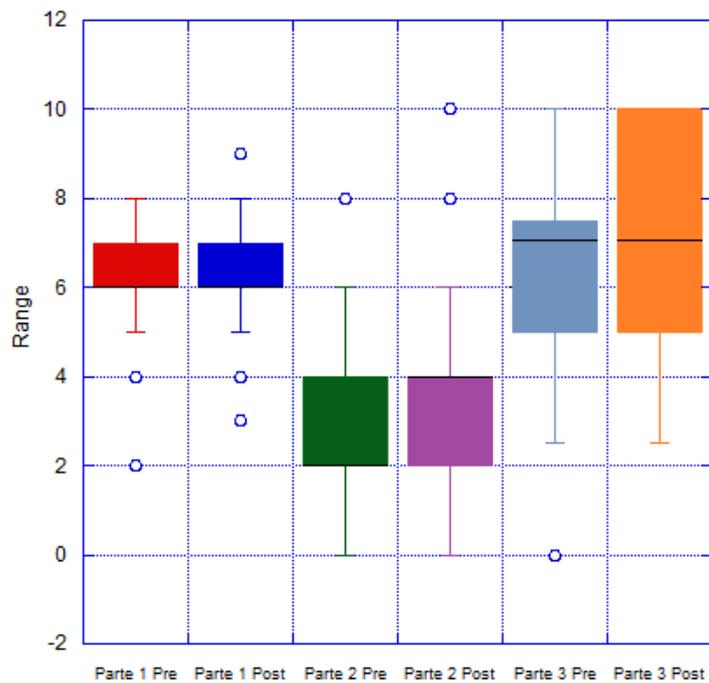
### **Intervención con metodología basada en el modelo tradicional**

Los resultados de la eficacia de la intervención basada en el modelo didáctico tradicional, en el alumnado de Cáceres, se representan en la figura 26. En dicho grupo se produce un aumento de la media obtenida en el posttest (5,71) con respecto a la obtenida en el pretest (5,16). Como tanto en el pretest como en el posttest los datos siguen una distribución no paramétrica, se realiza una comparación de medianas utilizando el test de Wilconxon. El p-value es 0,016, por lo que este aumento del posttest respecto al pretest es significativo (si p-value < 0,05 es significativo).



**Figura 26.** Distribución de los resultados que obtienen los alumnos de Cáceres en pretest (rojo) y en el postest (azul). La recta de cada diagrama de caja representa la mediana.

Si se comparan por separado las tres partes de los cuestionarios se observa (figura 27) que en ninguna de las tres partes se obtienen diferencias significativas entre el pretest y el postest (p-value de 0,415 en el caso de la parte 1, de 0,120 en el caso de la parte 2 y de 0,086 en el caso de la parte 3 al realizar el test de Wilconxon).

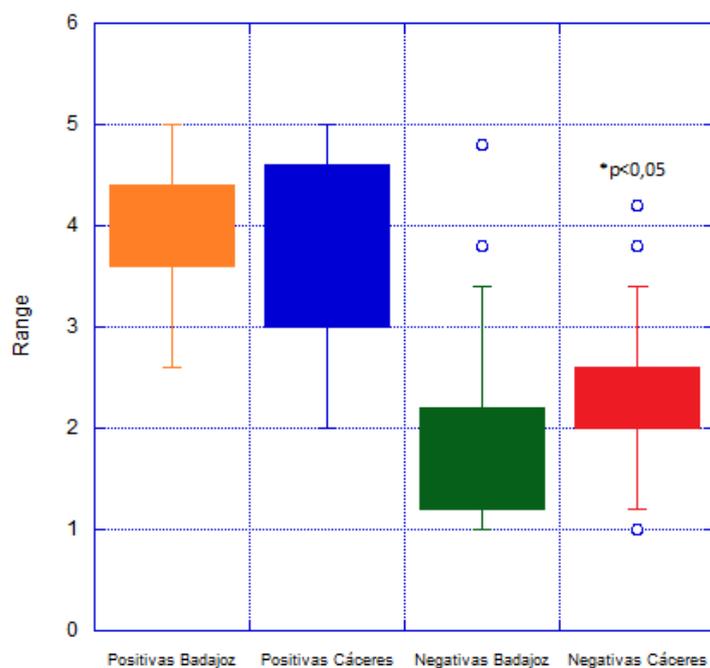


**Figura 27.** Distribución de los resultados que obtienen los alumnos de Cáceres en las partes 1, 2 y 3 del pretest y del postest. La recta de cada diagrama de caja representa la mediana.

## Emociones con las dos metodologías

Al comparar las emociones experimentadas por los alumnos al realizar la actividad práctica de extracción de DNA se observa (figura 28) que los alumnos de ambos grupos experimentaron emociones positivas con intensidades muy similares. El grupo de Badajoz, que realizó la práctica basada en el modelo de investigación dirigida, tiene una media de 4 y el de Cáceres, que realizó la práctica basada en el modelo tradicional, de 3,92. Las emociones siguen una distribución normal, por lo que se comparan las medias utilizando el test t-Student, obteniéndose un p-value de 0,924. Por lo tanto, no existen diferencias significativas entre ambos grupos (si p-value < 0,05 es significativo).

Sin embargo, en esta figura también se observa que existen diferencias entre la intensidad con la que ambos grupos experimentaron las emociones negativas, ya que el alumnado de Badajoz las experimentó con una frecuencia media de 1,83 y el alumnado de Cáceres con una frecuencia media de 2,24. Estas diferencias son significativas, ya que al realizar el test t-Student se obtiene un p-value < 0,001 (si p-value < 0,05 es significativo).



**Figura 28.** Distribución de las emociones positivas y negativas que experimentó el alumnado de Badajoz y de Cáceres con la realización de la práctica de extracción de DNA.

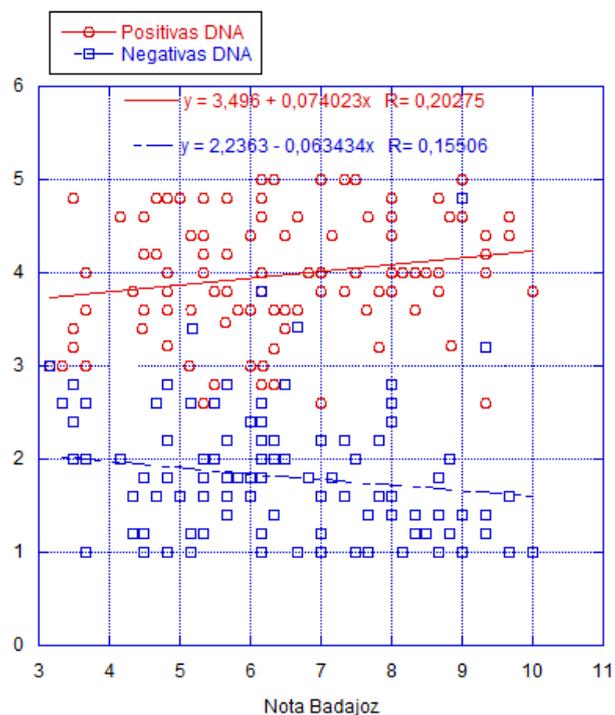
Teniendo en cuenta los resultados anteriores relativos a las emociones experimentadas durante la práctica y los resultados expuestos al analizar el éxito de la intervención, se acepta la hipótesis 5: Los alumnos que realizan la práctica basada en el modelo didáctico de enseñanza por investigación dirigida muestran mejores resultados de aprendizaje y experimentan distintas emociones que los que realizan la práctica bajo un enfoque tradicional.

### **5.6 Análisis de las relaciones entre emociones y aprendizaje**

Para estudiar las relaciones entre las emociones y el aprendizaje tras las intervenciones, se analiza la correlación entre la media de las emociones positivas y negativas experimentadas durante la práctica de extracción de DNA con la nota media obtenida en las partes 1, 2 y 3 del postest. Para ello se utiliza la correlación de Spearman, ya que, aunque las emociones siguen una distribución normal, los resultados del postest no lo hacen.

En el caso del grupo de Badajoz existe una correlación positiva entre las emociones positivas experimentadas durante la práctica y la nota del postest. Al aumentar la nota del postest, aumenta la frecuencia de emociones positivas durante la práctica (figura 29). Dicha correlación es del 20,27%, y es significativa, ya que al realizar la correlación de Spearman se obtiene un p-value de 0,038 (si p-value < 0,05 es significativo).

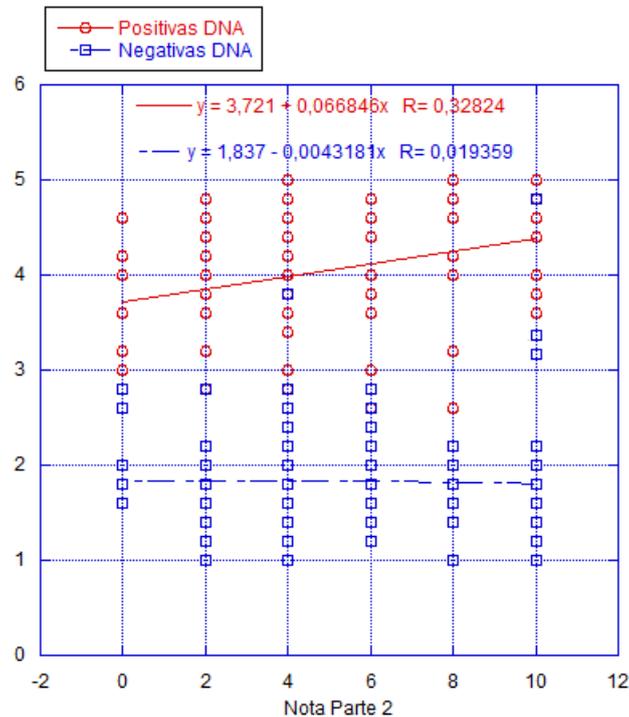
Además, existe una correlación negativa entre las emociones negativas experimentadas durante la práctica y la nota del postest. Al aumentar la nota que los alumnos obtienen en el postest disminuye la frecuencia de emociones negativas durante la práctica. Dicha correlación es del 15,51%, pero no es significativa. Al realizar la correlación de Spearman se obtiene un p-value de 0,114 (si p-value < 0,05 es significativo).



**Figura 29.** Rectas de regresión de las emociones positivas (rojo) y negativas (azul) experimentadas durante la práctica de extracción de DNA por los alumnos de Badajoz en función de la nota obtenida en el postest.

Al analizar la correlación entre las notas obtenidas en la Parte 2 del postest por los alumnos del grupo de Badajoz (única parte en la que se produjo un aprendizaje significativo respecto al pretest) y las emociones positivas y negativas experimentadas durante la práctica, se observa que existe una correlación positiva aún mayor entre las emociones positivas experimentadas durante la práctica y la nota de la parte 2 del postest (figura 30). Al aumentar la nota que los alumnos obtienen en la parte 2 postest, aumenta la frecuencia de emociones positivas durante la práctica. Dicha correlación es del 32,84%, y es significativa. Al realizar la correlación de Spearman se obtiene un p-value < 0,001 (si p-value < 0,05 es significativo).

También existe una correlación negativa del 1,93% las emociones negativas experimentadas durante la práctica y la nota del postest, pero no es significativa, ya que se obtiene un p-value de 0,467 (si p-value < 0,05 es significativo).

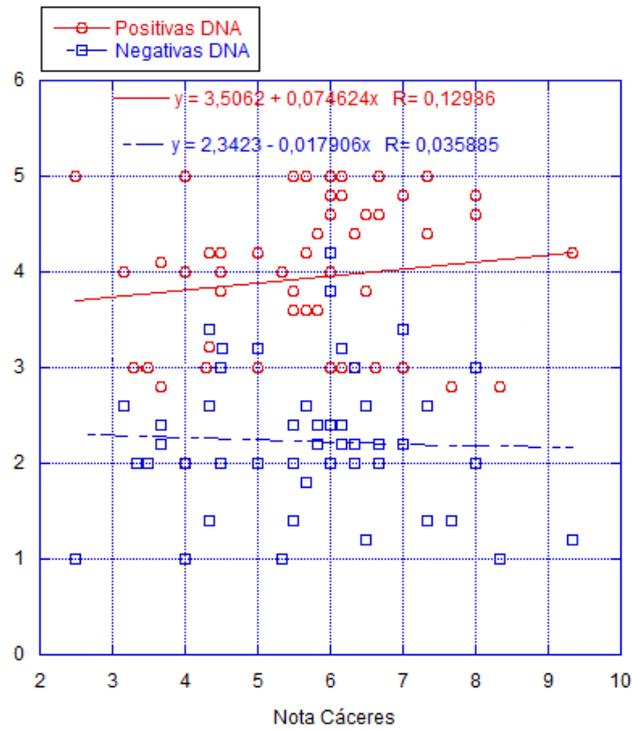


**Figura 30.** Rectas de regresión de las emociones positivas (rojo) y negativas (azul) experimentadas durante la práctica de extracción de DNA por los alumnos de Badajoz en función de la nota obtenida en la parte 2 del postest.

Con los resultados anteriores se puede aceptar parcialmente la hipótesis 4 (los alumnos que experimentan más emociones positivas y menos emociones negativas con la práctica realizada presentan mejores resultados de aprendizaje), ya que sí existe una correlación positiva significativa entre emociones positivas y aprendizaje, y también existe una correlación negativa entre las emociones negativas y el aprendizaje, pero no es significativa.

En el caso del grupo de Cáceres existe una correlación positiva entre las emociones positivas experimentadas durante la práctica y la nota del postest. Al aumentar la nota que los alumnos obtienen en el postest, aumenta la frecuencia de emociones positivas durante la práctica. Dicha correlación es del 12,99%, pero no es significativa, ya que al realizar la correlación de Spearman se obtiene un p-value de 0,348 (si p-value < 0,05 es significativo). Sin embargo, existe una correlación negativa entre las emociones negativas experimentadas durante la práctica y la nota del postest. Al aumentar la nota que los alumnos obtienen en el pretest, disminuye la frecuencia de emociones negativas durante la práctica. Dicha correlación es del 3,59%,

y no es significativa, ya que al realizar la correlación de Spearman se obtiene un p-value de 0,795 (si p-value < 0,05 es significativo).



**Figura 31.** Rectas de regresión de las emociones positivas (rojo) y negativas (azules) experimentadas durante la práctica de extracción de DNA por los alumnos de Cáceres en función de la nota obtenida en el postest.

## **6. DISCUSIÓN**

Son muchas las ideas previas alternativas sobre contenidos de Biología Celular descritas en la bibliografía. De las diez ideas previas alternativas estudiadas en este TFM, tres están presentes en más del 50% de los alumnos de tercero del Grado en Educación Primaria estudiados. El 76,8% de los alumnos piensa que los cromosomas sexuales se encuentran de manera exclusiva en los gametos o células sexuales. Este resultado concuerda con lo descrito por Banet y Ayuso (1995). La segunda idea alternativa más extendida, en el 57,4% de los alumnos estudiados, es que, como indica Caballero (2008), el DNA se encuentra exclusivamente en el núcleo celular. Respecto a la idea de que todas las células son estructuras circulares, descrita por Camacho *et al.* (2012) y Díaz de Bustamante y Jiménez (1996), solo se ha detectado en el grupo B1, donde el 52,9% de los alumnos tienen este pensamiento.

El resto de ideas alternativas analizadas en la muestra se encuentran en un porcentaje inferior al 50%. Así, a diferencia de lo indicado por Acosta (2008) y por Camacho *et al.* (2012), el 68,7% de los alumnos estudiados identifican a la célula como la unidad funcional y estructural de los seres vivos unicelulares y pluricelulares. Igualmente, a diferencia de lo expuesto por Caballer y Giménez (1993), Camacho *et al.* (2012) y Díaz de Bustamante y Jiménez (1996), el 84,7% de los alumnos conocen las estructuras celulares básicas (membrana plasmática, citoplasma, orgánulos y núcleo) y el funcionamiento básico de las mismas. Los resultados tampoco concuerdan con lo descrito por Banet y Ayuso (1995), puesto que el 69% de los alumnos sitúan a los cromosomas tanto en las células animales como en las células vegetales y el 81,4% conoce que todas las células de un mismo organismo tienen la misma información genética: el mismo DNA. Estas diferencias podrían deberse a que la muestra empleada por estos autores son alumnos de Educación Secundaria, mientras que la muestra del presente TFM está constituida por alumnos universitarios.

El dominio afectivo desempeña un papel fundamental en el aprendizaje, por lo que en este TFM se analiza el recuerdo de las emociones experimentadas por la muestra a lo largo de su escolaridad en las clases prácticas y expositivas del área de Biología. Los resultados indican que los alumnos han experimentado de manera

significativa más emociones positivas (3,8 en las clases prácticas frente a 2,5 en las clases expositivas) y menos emociones negativas (2,3 en las clases prácticas frente a 2,6 en las clases expositivas) con las clases prácticas que con las clases expositivas. Esto puede deberse, como señalan Albadalejo y Caamaño (1992), a que los trabajos prácticos motivan al estudiante y generan actitudes positivas, ayudando a la comprensión de conceptos y teorías. El análisis de los resultados indica que con las clases expositivas de Biología el alumnado experimenta tanto emociones positivas como negativas con una frecuencia media. En las clases expositivas, la frecuencia con la que los alumnos experimentan emociones positivas está en un nivel medio (2,5) y la frecuencia de las emociones negativas, aunque significativamente diferente a la frecuencia de las emociones negativas con las clases prácticas, está también en torno a ese valor (2,6). La explicación de este resultado puede deberse a que, como indican Brígido *et al.* (2013) y Costillo *et al.* (2013), los alumnos experimentan más emociones positivas y menos negativas con la Biología que con otras Ciencias Experimentales como la Física o la Química.

Al analizar la posible relación entre las emociones, en las clases expositivas y prácticas, y el conocimiento previo, los resultados indican que al aumentar la nota que los alumnos obtienen en el pretest disminuye el recuerdo de emociones, tanto positivas como negativas, en las clases expositivas (correlación negativa significativa del 17,76% entre el conocimiento previo y las emociones positivas; y del 18,39% entre el conocimiento previo y las emociones negativas). En relación a las clases prácticas, al aumentar la nota que los alumnos obtienen en el pretest, aumenta el recuerdo emociones positivas (correlación positiva significativa del 20,88%) y al aumentar la nota que los alumnos obtienen en el pretest disminuye el recuerdo emociones negativas (correlación negativa significativa del 22,26%) Por tanto, los alumnos con un nivel superior de conocimientos previos (una nota superior en el pretest) han experimentado más emociones positivas y menos emociones negativas con las clases prácticas y han mostrado una apatía respecto a las clases expositivas (menos emociones positivas y negativas que los alumnos con menos nota).

Estos resultados pueden deberse a la relación que tienen las actividades excitantes con la memoria. Según Kensinger y Corkin (2004) los estímulos emocionales

positivos provocan, a nivel de la amígdala, una excitación que mejora la memoria. Así, la información relacionada con algún estímulo emocional se recuerda mejor que la información neutral, por lo tanto las tareas excitantes se almacenan mejor en la memoria. Según esto, los alumnos de la muestra que experimentaron más emociones positivas y menos negativas en sus clases prácticas, mejoraron su memoria, y es por eso que tienen un nivel mayor de conocimientos previos que aquellos alumnos que experimentaron menos emociones positivas. Esto también concuerda con lo que afirman Dunsmoor *et al.* (2015), que las personas están motivadas para recordar los detalles de eventos emocionales, ya que esta información es útil para predecir y controlar acontecimientos importantes en el futuro. Por el contrario, las personas están poco motivadas para recordar la mayoría de los detalles insignificantes que se acumulan a lo largo del día, ya que gran parte de esta información no se asocia con ningún estímulo emocional significativo.

Otro campo importante tratado en este TFM es la metodología didáctica, concretamente la metodología tradicional y la basada en la investigación dirigida. Con respecto al análisis de las intervenciones, tanto en el grupo de Badajoz (realizaron la práctica basada en el modelo didáctico de investigación dirigida) como en el de Cáceres (realizaron la práctica según el modelo tradicional), se produce un aumento significativo de los resultados del postest con respecto a los resultados del pretest (desde 5,66 en el pretest hasta el 6,16 en el postest en Badajoz y desde 5,16 a 5,71 en Cáceres). Sin embargo, si se analizan por separado cada una de las tres partes del cuestionario se observa que, tanto en el grupo de Badajoz como en el de Cáceres, no existen diferencias significativas en las partes 1 (ideas previas alternativas según la bibliografía) y 3 (preguntas del TIMSS) entre el pretest y el postest.

La diferencia entre ambos grupos radica en los resultados obtenidos en la parte 2 (contenidos relacionados con la práctica). En el grupo de Badajoz se produce un aumento significativo desde 3,84 hasta 5,03, mientras que en el grupo de Cáceres no hay diferencias significativas entre los resultados del postest con respecto al pretest. Así, en el grupo de Badajoz, que realizó la práctica basada en el modelo didáctico de investigación dirigida, se produjo un aprendizaje relativo a los conceptos tratados en la

práctica que no se observa en el grupo de Cáceres, que realizó una práctica de laboratorio tradicional.

En principio, esta diferencia podría deberse a que la práctica realizada por el grupo de Cáceres ha seguido, como indica Hodson (1994), un enfoque de “receta”, en el que los alumnos siguen unas instrucciones cerradas proporcionadas previamente por el docente. Múltiples estudios (García *et al.*, 1995; Hodson, 1994; Reigosa y Jiménez, 2000) demuestran que con este tipo de prácticas, muy extendidas en las aulas de Educación Secundaria y en la Universidad, los resultados de aprendizaje no son satisfactorios, al igual de lo ocurrido con el grupo de Cáceres.

Debido a esto, la enseñanza constructivista propone dotar a las prácticas de una orientación investigativa, mediante pequeñas investigaciones desarrolladas por los alumnos y dirigidas por los profesores, para mejorar los resultados (Gil y Valdés, 1996). Esto es lo que ha ocurrido con el grupo de Badajoz, que realizó la práctica basándose en el modelo didáctico de investigación dirigida, obteniendo mejores resultados de aprendizaje que el grupo de Cáceres que realizó una práctica tradicional. Esto concuerda con lo indicado por Herrero y Merino (2007), que afirman que las actividades experimentales concebidas como pequeñas investigaciones proporcionan las mejores situaciones de aprendizaje. Además, la realización de la práctica basada en este modelo didáctico favorece los procesos de aprendizaje social que, como han demostrado Edelson *et al.* (2011), es más eficiente que el aprendizaje individual, ya que provoca a nivel de la amígdala distorsiones de la memoria socialmente mediadas. Esta metodología favorece también la discusión entre pares que, según Smith *et al.* (2009), mejora la comprensión.

En la interpretación de esta diferencia de aprendizaje entre el grupo de Badajoz y el de Cáceres es importante tener en cuenta otras dos características que difieren en ambos grupos, además del modelo didáctico utilizado. El grupo de Cáceres tiene una media en el pretest de 5,16, frente al 5,66, que presenta el de Badajoz, lo cual se puede interpretar como un nivel de conocimientos previos menor. Además, la intervención según el modelo tradicional del grupo de Cáceres solo duró 2 horas, mientras que la intervención basada en el modelo de investigación dirigida duró 3

horas. Estos dos factores podrían haber intervenido en el menor aprendizaje detectado en el grupo de Cáceres.

El último aspecto que se analiza es la relación entre las emociones y el aprendizaje. Los resultados indican que los alumnos del grupo de Badajoz (que, tras la aplicación del modelo didáctico de investigación dirigida, obtuvo unos resultados de aprendizaje en lo relativo a los conceptos tratados en la práctica) experimentaron con la misma frecuencia las emociones positivas que el grupo de Cáceres (que realizó una práctica de laboratorio tradicional, sin obtener unos resultados de aprendizaje significativos en lo relativo a los conceptos tratados en la práctica). Sin embargo, en el caso del grupo de Badajoz, existe una correlación positiva significativa, del 20,77%, entre las emociones positivas experimentadas en la práctica y la nota del postest, que no existe en el grupo de Cáceres. Además, dicha correlación asciende al 32,84% cuando solo se tienen en cuenta los resultados obtenidos en la parte 2 del postest (única parte en la que se produjo un aprendizaje significativo respecto al pretest). Y los alumnos del grupo de Badajoz experimentaron con menor frecuencia (1,83) las emociones negativas durante la práctica que el grupo de Cáceres (2,24), aunque no se haya detectado una correlación significativa con la nota del postest en ninguno de los dos casos.

Así, los alumnos del grupo de Badajoz experimentaron menos emociones negativas durante la práctica y las emociones positivas que experimentaron están relacionadas significativamente con los resultados de aprendizaje recogidos en el postest. Esto es un ejemplo de que, como afirma Garritz (2009), el cambio conceptual es tanto cognitivo como afectivo. La motivación y las emociones que experimentan los alumnos con respecto al aprendizaje son factores determinantes en el aprendizaje, porque las emociones positivas estimulan los procesos de aprendizaje y las emociones negativas los frenan o limitan.

## **7. CONCLUSIONES**

Las conclusiones del presente Trabajo Fin de Máster son:

1. Los alumnos de tercero del grado en Educación Primaria de la Universidad de Extremadura presentan ideas previas alternativas sobre contenidos de Biología Celular y Genética, principalmente la situación de los cromosomas sexuales sólo en los gametos, el desconocimiento de la forma celular y la localización del material genético de forma exclusiva en el núcleo celular. Conclusión asociada a la hipótesis 1
2. Los alumnos de tercero del grado en Educación Primaria de la Universidad de Extremadura han experimentado, en los procesos de enseñanza-aprendizaje de la Biología a lo largo de su vida académica, con mayor frecuencia emociones positivas y con menor frecuencia emociones negativas con las clases prácticas que con las clases expositivas. Conclusión asociada a la hipótesis 2
3. Existe una correlación positiva entre las emociones positivas experimentadas en las clases prácticas por los alumnos de tercero del grado en Educación Primaria de la Universidad de Extremadura, a lo largo de su vida académica, y el nivel de conocimientos previos de estos. Asimismo, existe una correlación negativa entre las emociones negativas experimentadas en las clases prácticas y el nivel de conocimientos previos en dichos alumnos. Conclusión asociada a la hipótesis 3
4. Existe una correlación positiva entre el aprendizaje y las emociones positivas experimentadas por los alumnos de tercero del grado en Educación Primaria de la Universidad de Extremadura durante la práctica realizada bajo el modelo didáctico de investigación dirigida Conclusión asociada a la hipótesis 4
5. En los alumnos de tercero del grado en Educación Primaria de la Universidad de Extremadura que realizaron la práctica basada en el modelo didáctico de investigación dirigida se produjo un aprendizaje significativo en relación a los conceptos tratados en la práctica, que no se observa en aquellos que realizaron una práctica de laboratorio tradicional. Conclusión asociada a la hipótesis 5

## **8. ANEXOS**

### **Anexo 1: Pretest**

**Edad:**

**Sexo V / H**

**Acceso a la Universidad para mayores de 25 años**

**Sí / No**

**Parte 1.** Responde V (verdadero) o F (falso) a las siguientes afirmaciones:

- |   |   |   |
|---|---|---|
| 1. La célula es la unidad funcional y estructural de los seres vivos unicelulares mientras que en los pluricelulares son los tejidos  | V | F |
| 2.  |   |   |
| 3. Las células se encuentran concentradas en ciertos lugares específicos de los seres vivos, ej. las neuronas en el cerebro o los glóbulos rojos en la sangre en el caso de los humanos. En prácticamente todos los seres vivos la mayor parte no son células sino agua | V | F |
| 4. Las células tienen forma circular  | V | F |
| 5. Todas las células están formadas por una membrana que las delimita y que contiene al citoplasma donde se encuentra el núcleo y los orgánulos que realizan las funciones celulares  | V | F |
| 6. El material genético se localiza exclusivamente en el núcleo celular   | V | F |
| 7. Las mitocondrias solo se encuentran en las células animales  | V | F |
| 8. Los cloroplastos solo se encuentran en las células vegetales   | V | F |
| 9. Los cromosomas son unas estructuras exclusivas de las células animales   | V | F |
| 10. Los cromosomas sexuales se encuentran exclusivamente en las células sexuales, ej. en los óvulos y en los espermatozoides en el caso de los humanos  | V | F |
| 11. Una célula de la piel y una célula del hígado tienen la misma información genética pero distinto ADN.   | V | F |

**Parte 2.** Responde a las siguientes preguntas de test, solo una respuesta es correcta en cada pregunta:

1.- 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

2.- 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

3.- Respecto al ácido nucleico (ADN) señala la respuesta CORRECTA:

- a) Se encuentra 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

4.- 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

5.- La pared celular es:

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

**Parte 3.** Responde a las siguientes preguntas de test, solo una respuesta es correcta en cada pregunta:

1.- 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.

2.- ¿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

3.- ¿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

4.- 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



**Parte 4.** Señala las emociones que has experimentado a lo largo de tu vida en relación con la enseñanza de la Biología basada en un enfoque expositivo y en un enfoque práctico y el grado con el que las recuerdas así como las emociones previas a la práctica de extracción de ADN (de 1 –nada a 5 – mucho ointensamente-).

	Expositivo (clase magistral)						Clase práctica						Práctica Extracción de DNA				
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
Alegría																	
Confianza																	
Satisfacción																	
Entusiasmo																	
Diversión																	
Nerviosismo																	
Aburrimiento																	
Frustración																	
Preocupación																	
Incertidumbre																	

**Anexo 2: Parte 4 del postest**

**Parte 4.** Señala las emociones que has experimentado con la práctica de extracción de DNA realizada (de 1 –nada a 5 – mucho ointensamente-).

	Práctica de extracción de DNA				
	1	2	3	4	5
<b>Alegría</b>					
<b>Confianza</b>					
<b>Satisfacción</b>					
<b>Entusiasmo</b>					
<b>Diversión</b>					
<b>Nerviosismo</b>					
<b>Aburrimiento</b>					
<b>Frustración</b>					
<b>Preocupación</b>					
<b>Incertidumbre</b>					

## Anexo 3: Presentación utilizada durante la práctica de extracción de DNA bajo el modelo didáctico de investigación dirigida

Seminario 

Extracción de DNA  
con  
Material Cotidiano

Seminario 

Algunos Modelos Didácticos:

- Método Tradicional: Transmisión-Recepción
- Modelo Expositivo
- Modelo por Descubrimiento
- Modelo por Investigación Dirigida

Seminario 

¿En qué consiste la Enseñanza mediante Investigación Dirigida?



Seminario 

La enseñanza mediante investigación dirigida consiste en:

- En situar al alumno en un contexto similar al que vive un científico
- Bajo la dirección del profesor
- Para que el alumno investigue y así aprenda Conceptos, Procedimientos y Actitudinales



Seminario 

El Modelo Didáctico por Investigación Dirigida:

- Acepta que si el alumno investiga y descubre entonces aprende ciencia
- Adopta una posición constructivista: La aplicación del método científico debe producir cambios profundos en la mente de los alumnos, cambios en los conceptos, procedimientos y actitudes
- Considera la investigación científica del alumno como un proceso de construcción social: parte del conocimiento social que tiene el alumnos y fomenta la discusión entre iguales

Seminario 

Problema:

¿Cómo extraer DNA de un organismo?

Por ejemplo, de tomate

Seminario 

Investigación: ¿Qué debemos saber?

1. ¿Dónde está el DNA dentro de la célula?
2. ¿Qué tipos de células hay? ¿En qué se diferencian?
3. ¿Cómo podemos romper las diferentes células?
4. ¿Qué estructura tienen las membranas celulares?
5. ¿Cómo podemos lisar/romper las membranas celulares?

Seminario 

6. ¿Qué ácidos nucleicos hay en una célula?
7. Estructura y características químicas y físicas de los ácidos nucleicos. ¿Qué carga tienen?
8. ¿Cómo alterar la solubilidad del material genético?  
Con sal: ¿Por qué? ¿Qué es la sal?
9. ¿Cómo evitar que se degraden los ácidos nucleicos? Con Bicarbonato sódico ¿Por qué?

10. Importancia de poder aislar el DNA de diferentes organismos.

11. Fiabilidad de las pruebas realizadas con DNA

Informe con las relaciones entre las características de la célula y los ácidos nucleicos y el método de extracción de DNA:

- Diferencias importantes entre tipos de células: rotura
- Estructura y composición de la membrana celular: lisis
- Localización y función de los ácidos nucleicos
- Aplicaciones de los ácidos nucleicos
- Fiabilidad de las pruebas de DNA

## **Anexo 4: Protocolo de extracción de DNA**

### **EXTRAE ADN EN TU COCINA**

La extracción de DNA (ácido desoxirribonucleico) se puede realizar perfectamente en la cocina de una casa, usando los materiales y los reactivos que hay en ella.

#### **MATERIAL Y REACTIVOS**

- Una muestra de origen biológico (ej. un tomate)
- Agua destilada
- Sal de mesa (cloruro de sodio, NaCl)
- Bicarbonato (bicarbonato sódico, NaHCO<sub>3</sub>)
- Detergente lavavajillas
- Alcohol de 95° (etanol o alcohol etílico, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O)
- Batidora
- Recipiente con hielo picado
- Colador
- Vaso grande
- Vaso pequeño
- Vaso pequeño, estrecho y alto
- Tarro con tapadera
- Palillos

#### **FUNDAMENTO**

La extracción de ADN se basa en el hecho de que los iones salinos (catión sodio: Na<sup>+</sup> y anión cloruro: Cl<sup>-</sup>) son atraídos hacia las cargas negativas del fosfato (P<sup>-</sup>) del ADN, alterando su solubilidad y permitiendo su posterior extracción de la célula.

El protocolo de extracción se inicia rompiendo la pared celular de las células vegetales mediante un procedimiento mecánico, una batidora. El lisado celular así obtenido consiste en un batido de tomate que contiene tanto células rotas como células enteras. Las células rotas han liberado de su interior el citoplasma y los orgánulos celulares. Dentro de algunos de estos orgánulos (mitocondrias, cloroplastos y núcleo) se encuentra el ADN. Para liberarlo de los orgánulos necesitamos eliminar la capa grasa (la bicapa lipídica) que los rodea. Por eso añadimos al batido de tomate un tampón de lisis que contiene un detergente lavavajillas eficaz contra la grasa. El detergente se añade en tal cantidad que es capaz de separar también aquellas proteínas que estaban unidas al ADN. Además, el tampón de lisis contiene sal de mesa que neutralizará las cargas negativas del fosfato del ADN, y bicarbonato que por un lado actúa como amortiguador químico (el pH de la solución es ligeramente básico, alrededor de 8) y por otro la facilitará la nucleación del DNA en la interfase batido-alcohol.

A continuación se filtra el batido de tomate al que se le había añadido el tampón de lisis a través de un colador para separar del lisado celular todo aquello que ni se ha roto ni ha liberado su ADN. El caldo molecular así obtenido contiene ácidos nucleicos y todo un surtido de restos moleculares y es el que se empleará para extraer el ADN con alcohol.

## REALIZACIÓN

1. Preparar el tampón de lisis añadiendo los siguientes ingredientes y disolviendo cada uno, mantener en la nevera o en un baño de hielo triturado:
  - Medio vaso de tamaño normal de agua fría (120 ml), si es posible destilada y si no mineral. No usar agua del grifo
  - 1 cucharadita rasa (1,5 g) de sal de mesa, preferiblemente pura
  - 3 cucharaditas rasas (5 g) de bicarbonato sódico
  - Un chorrito (5 ml) de detergente líquido o champú (2 o 3 cucharaditas)
2. Elegir la muestra que va a proporcionar el ADN entre los vegetales que pueda haber en la cocina (cebolla, ajo, tomates, etc.) y cortarla en cuadraditos
3. Triturar la muestra vegetal con un poco de agua en la batidora accionando las cuchillas a impulsos de 10 segundos. Así se romperán muchas células y otras quedarán expuestas a la acción del detergente
4. Mezclar en un recipiente limpio una parte del triturado celular (10 ml) con dos partes del tampón frío (20 ml) y agitar vigorosamente durante al menos 2 minutos. Separar después los restos vegetales más grandes del caldo molecular haciéndolo pasar por un colador lo más fino posible
5. Retirar una parte del caldo molecular (5 ml) a un vaso pequeño, estrecho y alto y añadir despacio y con cuidado dos partes de alcohol 96º frío (10 ml). Se debe dejar escurrir lentamente el alcohol por la cara interna del recipiente, teniendo éste inclinado. Se formarán dos fases, el alcohol quedará flotando sobre el tampón
6. Se introduce un palillo con la punta doblada hasta justo la separación entre el alcohol y el tampón. Remover el palillo hacia delante y hacia atrás y poco a poco se irán enrollando los fragmentos de mayor tamaño de ADN. Pasado un minuto retirar el palillo atravesando la capa de alcohol con lo cual el ADN quedará adherido a su extremo con el aspecto de un copo de algodón mojado
7. El ADN adherido a la palillo se dejará al aire 3 minutos para favorecer la evaporación del alcohol que contenga antes de depositarlo en muy poca agua destilada en un tubo pequeño
8. La muestra será agitada para disolver el ADN.

Realmente lo que contiene el producto filamentosos que hemos obtenido es una mezcla de ácidos nucleicos, ADN y ARN. No es ADN puro ya que, entremezclado con él, hay fragmentos de ARN.

## **9. BIBLIOGRAFÍA**

Acosta, A. (2008). Propuesta de enseñanza y aprendizaje para el reconocimiento de la célula y sus respectivas organelas. Universidad de Antioquia, Medellín. Colombia.

Agencia Nacional de la Evaluación de la Calidad Educativa y acreditación (2005). Libro Blanco: Título de Grado en Magisterio. Volumen 1

Aguilar, P. y Oktaç, A. (2004). Generación del conflicto cognitivo a través de una actividad de criptografía que involucra operaciones binarias. *RELIME. Revista latinoamericana de investigación en matemática educativa*, 7(2), 117-144.

Albaladejo, C. y Caamaño, A. (1992). La resolución de problemas. En C. Albaladejo, A. Caamaño y M.P. Jiménez: *Didáctica de las Ciencias de la Naturaleza* (pp. 128-159). Madrid: MEC

Alberts, B., Johnson, A., Lewis, J., Raff, M., Roberts, K., y Walter, P. (2010). *Biología molecular da célula*. Artmed.

Alberts, B. (2012). Trivializing science education. *Science*, 335 (6066), 263-263.

Allègre, C. (1998). French Strategy for Science Education. *Science*, 281 (5353), 515.

Anderson, W., Banerjee, U., Drennan, C., Elgin, S., Epstein, I., Handelsman, J. y Warner, I. (2011). Science education. Changing the culture of science education at research universities. *Science (New York, NY)*, 331 (6014).

Ausubel, D., Novak, J. y Hanesian, H. (1978). Educational psychology: A cognitive view.

Banet, E. y Ayuso, E. (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.

Barrón, A. (1993). Aprendizaje por descubrimiento: principios y aplicaciones inadecuadas. In *Enseñanza de las Ciencias* (Vol. 11, pp. 003-11).

Bisquerra, R. (2000). Educación emocional y bienestar. Barcelona: Praxis

Brígido, M., Bermejo, L., Conde, C., Borrachero, A. y Mellado, V. (2010). Estudio longitudinal de las emociones en Ciencias de estudiantes de Maestro. *Revista galego-portuguesa de psicología e educación: revista de estudios e investigación en psicología y educación*, (18), 161-180.

Brígido, M., Caballero, A., Bermejo, L., Conde, C. y Mellado, V. (2009). Las emociones enciencias de estudiantes de Maestro. *Campo Abierto*, 28 (2), 153-177.

Brígido, M., Couso, D., Gutiérrez, C. y Mellado, V. (2013). *Journal of Baltic Science Education*, 12 (3), 299-311.

Bryson, B. y Álvarez, J. (2006). *Una breve historia de casi todo*. RBA.

Caamaño, A., Carrascosa, J., y Oñorbe, A. (1992). Los trabajos prácticos en ciencias experimentales. *Aula de innovación educativa*, 9, 61-68.

Caballer, M., y Giménez, I. (1992). Las ideas de los alumnos y alumnas acerca de la estructura celular de los seres vivos. *Enseñanza de las Ciencias*, 10 (2), 172-180.

Caballer, M., y Giménez, I. (1993). Las ideas del alumnado sobre el concepto de célula al finalizar la educación general básica. *Enseñanza de las Ciencias*, 11 (1), 63-68.

Caballero, M. (2008). Algunas ideas del alumnado de secundaria sobre conceptos básicos de genética. *Enseñanza de las Ciencias*, 26 (2), 227-244.

Calatayud M., Gil D. y Gimeno J. (1992). Cuestionando el pensamiento docente espontáneo del profesorado universitario: ¿las deficiencias de la enseñanza como origen de las dificultades de los estudiantes? *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, (14), 71-81.

Camacho, J., Jara, N., Morales, C., Rubio, N., Muñoz, T. y Rodríguez, G. (2012). Los modelos explicativos del estudiantado acerca de la célula eucarionte animal. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 9(2).

Campanario, J. y Moya, A. (1999). ¿Cómo enseñar ciencias? *Enseñanza de las Ciencias* (Vol. 17, pp. 179-192).

Costillo, E., Borrachero, A., Brígido, M. y Mellado, V. (2013). Las emociones sobre la enseñanza-aprendizaje de las ciencias y las matemáticas de futuros profesores de Secundaria. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 10, pp-514.

Curtis, H., Barnes, N., Schnek, A. y Massarini, A. (2008). *Biología*. Médica Panamericana.

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.

Dolan, R. (2002). Emotion, cognition, and behavior. *Science*, 298 (5596), 1191-1194.

Dunsmoor, J., Murty, V., Davachi, L., y Phelps, E. (2015). Emotional learning selectively and retroactively strengthens memories for related events. *Nature*.

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.

- Fernández-Abascal, E., Díaz, M., y Sánchez, J. (2001). *Procesos psicológicos*. Ediciones Pirámide.
- Flores, R., y Ruiz, M. (2011) Concepciones alternativas de los profesores de biología. Una aproximación desde la investigación educativa. *Revista Educación y Desarrollo Social*, 5(1), 13-23
- Furió, C., Iturbe, J., y Reyes, J. (1994). Contribución de la resolución de problemas como investigación al paradigma constructivista de aprendizaje de las ciencias. *Investigación en la Escuela*, (24), 89-99.
- Gallegos, W., y Huerta, A. (2014). Aprendizaje por descubrimiento vs. Aprendizaje significativo: Un experimento en el curso de historia de la psicología. *Boletim Academia Paulista de Psicologia*, 34 (87), 455-471.
- García, A. (1991). Estudio llevado a cabo sobre representaciones de la respiración celular en los alumnos de bachillerato y COU. In *Enseñanza de las Ciencias* (Vol. 9, pp. 129-134).
- García, S., Martínez, C. y Mondelo, M. (1995). El trabajo práctico. Una intervención para la formación de profesores. *Enseñanza de las Ciencias*, 13 (2), 203-209.
- Garriz, A. (2009). La afectividad en la enseñanza de la ciencia. *Educación química*, 212.
- Gil, D. (1983). Tres paradigmas básicos en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias* (Vol. 1, pp. 026-33).
- Gil, D. (1993). Contribución de la historia y de la filosofía de las ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza/aprendizaje como investigación. *Enseñanza de las Ciencias* (Vol. 11, pp. 197-212).
- Gil, D. y Valdés, P. (1995). Contra la distinción clásica entre teoría, prácticas experimentales y resolución de problemas: el estudio de las fuerzas elásticas como ejemplo ilustrativo. *Didáctica de las ciencias experimentales y sociales*, 9, 3-25.
- Gil, D. y Valdés, P. (1996). La orientación de las prácticas de laboratorio como investigación: un ejemplo ilustrativo. In *Enseñanza de las Ciencias* (Vol. 14, pp. 155-163).
- Gobierno de Extremadura (2014) Decreto 103/2014 de 10 de junio, por el que establece el Currículo de Educación Primaria para la Comunidad Autónoma de Extremadura.
- Gonzalez-Weil, C., y Harms, U. (2012). Del árbol al cloroplasto: concepciones alternativas de estudiantes de 9º y 10º grado sobre los conceptos «ser vivo» y

«célula». *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 30 (3), 31-52.

Hackling, M. y Treagust, D. (1984). Research data necessary for meaningful review of grade ten high school genetics curricula. *Journal of Research in Science Teaching*, 21 (2), 197-209.

Herrero, H. y Merino, J. (2007). Resolución de problemas experimentales de Química: una alternativa a las prácticas tradicionales. *REEC: Revista electrónica de enseñanza de las ciencias*, 6 (3), 630.

Hodson, D. (1994). Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio. *Enseñanza de las Ciencias*, 12 (3), 299-313.

Hulleman, C., y Harackiewicz, J. (2009). Promoting interest and performance in high school science classes. *Science*, 326(5958), 1410-1412.

Jiménez, M. (1992). Análisis de los modelos didácticos. En M.P. Jiménez, C. Albaladejo y A. Caamaño: *Didáctica de las Ciencias de la Naturaleza. Curso de Actualización Científica y Didáctica* (pp. 25-41). Madrid: MEC.

Joyce, B. y Welll, M. (1985). *Modelos de enseñanza*. Madrid: Anaya.

Justi, R. (2006). La enseñanza de ciencias basada en la elaboración de modelos. In *Enseñanza de las Ciencias* (Vol. 24, pp. 173-184).

Kensinger, E., y Corkin, S. (2004). Two routes to emotional memory: Distinct neural processes for valence and arousal. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 101 (9), 3310-3315.

Kuhn, D. (1991). *The skills of argument*. Cambridge University Press.

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 (1), 10-16.

Luce, M., y Hsi, S. (2015). Science-Relevant Curiosity Expression and Interest in Science: An Exploratory Study. *Science Education*, 99 (1), 70-97.

Marín, N., Benarroch, A., y Jiménez, E. (1997). Delimitación de " lo que el alumno sabe" a partir de objetivos y modelos de enseñanza. In *Enseñanza de las Ciencias* (Vol. 15, pp. 215-224).

Marín, N. (1999). Delimitando el campo de aplicación del cambio conceptual. In *Enseñanza de las Ciencias* (Vol. 17, pp. 079-92).

Mellado, V., Borrachero, A., Dávila, M., Melo, L. y Brígido, M. (2014). Las emociones en la enseñanza de las ciencias. In *Enseñanza de las ciencias* (Vol. 32, pp. 0011-36).

Messick, S. (1995). Validity of psychological assessment: validation of inferences from persons' responses and performances as scientific inquiry into score meaning. *American psychologist*, 50 (9), 741.

Ministerio de Educación, Cultura y Deportes (2011). TIMSS 2011: Preguntas liberadas de Ciencias. 8º de Grado

Moskovitz, C., y Kellogg, D. (2011). Inquiry-based writing in the laboratory course. *Science*, 332 (6032), 919-920.

Oliva-Martínez, J., y Acevedo-Díaz, J. (2005). La enseñanza de las ciencias en primaria y secundaria hoy. Algunas propuestas de futuro. *Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias*, 2 (2), 241-250.

Ortega, F. (2007). *Modelos didácticos para la enseñanza de las ciencias naturales*. Universidad de Caldas.

Paniagua, R. (1999). *Biología celular*. McGraw-Hill Interamericana de España

Pérez, M. y Pozo, J. (1994). Aprender a resolver problemas y resolver problemas para aprender. En J.I. Pozo: *La solución de problemas* (pp.13-52). Madrid: Siglo XXI

Piaget, J. y Delval, J. (1970). *La epistemología genética* (pp. 127-190). A. Redondo.

Pintrich, P., Marx, R., y Boyle, R. (1993). Beyond cold conceptual change: The role of motivational beliefs and classroom contextual factors in the process of conceptual change. *Review of Educational Research*, 63 (2), 167-199.

Pozo, J. (1999a). *Aprendices y maestros: la nueva cultura del aprendizaje*. Alianza Editorial.

Pozo, J. (1999b). Más allá del cambio conceptual. In *Enseñanza de las Ciencias* (Vol. 17, pp. 513-520).

Pozo, J., y Gómez, M. (1996). El asesoramiento curricular en ciencias de la naturaleza. *Dins C. Monereo i I. Solé, El asesoramiento psicopedagógico: una perspectiva profesional y constructivista*, pág, 383-404.

Pozo, J., y Gómez, M. (1998). *Aprender y enseñar ciencia*. Ediciones Morata

Porlán, R. (1992). *Teoría y práctica del currículo. Curso de actualización científica y didáctica*. Madrid: MEC.

Posner, G., Strike, K., Hewson, P. y Gertzog, W. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Scienceeducation*, 66 (2), 211-227.

Posner, G. (1995). Conceptos de currículo y propósitos de estudio del currículo. Análisis del currículo.

Quaas, C., y Crespo, N. (2003). ¿Inciden los métodos de enseñanza del profesor en el desarrollo del conocimiento metacomprendido de sus alumnos? *Revista signos*, 36(54), 225-234.

Reigosa, C. y Jiménez, M. (2000). La cultura científica en la resolución de problemas en el laboratorio. In *Enseñanza de las Ciencias* (Vol. 18, pp. 275-284).

Sánchez, M. (2011). Metodologías docentes en el EEES: de la clase magistral al portafolio. *Tendencias pedagógicas*, (17), 83-103.

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.

Timoneda, S. (2006). *Ciencia 0-3: laboratorios de ciencias en la escuela infantil* (Vol. 15). Graó.

Universidad de Extremadura (2008). Plan de Estudios del Grado en Educación Primaria.

Vázquez, Á. y Manassero, M. (2007). En defensa de las actitudes y emociones en la educación científica (I): evidencias y argumentos generales. *Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias*, 4 (2), 247-271.

Vázquez, Á. y Manassero, M. (2008). El declive de las actitudes hacia la ciencia de los estudiantes: un indicador inquietante para la educación científica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las ciencias*, 5.

Vega, M. y Garrote, N. (2005). *La Lección Expositiva desde un enfoque de aprendizaje centrado en el alumno*. Universidad Complutense de Madrid, Instituto de Ciencias de la Educación.

Wallace, C. y Brooks, L. (2015). Learning to Teach Elementary Science in an Experiential, Informal Context: Culture, Learning, and Identity. *Science Education*, 99 (1), 174-198.