



**TESIS DOCTORAL**

**EMOCIONES Y APRENDIZAJE EN LAS  
ACTIVIDADES PRÁCTICAS DE BIOLOGÍA  
EN EDUCACIÓN PRIMARIA Y EN EL  
GRADO DE MAESTRO EN EDUCACIÓN  
PRIMARIA**

**JOSÉ MARÍA MARCOS MERINO**

**Doctorado en Investigación en la Enseñanza y el Aprendizaje  
de las Ciencias Experimentales, Sociales, Matemáticas y la  
Actividad Física y Deportiva**

**2020**





**TESIS DOCTORAL**

**Emociones y aprendizaje en las actividades prácticas  
de Biología en Educación Primaria y en el Grado de  
Maestro en Educación Primaria**

**José María Marcos Merino**

**Programa de Doctorado: Investigación en la Enseñanza y el  
Aprendizaje de las Ciencias Experimentales, Sociales, Matemáticas y  
la Actividad Física y Deportiva**

**Conformidad de los directores**





La realización de la presente Tesis Doctoral ha sido posible gracias a la concesión de una ayuda para la Formación del Profesorado Universitario (FPU) del Ministerio de Educación, Cultura y Deportes del Gobierno de España.



## **Agradecimientos**

A mis directores, Dr. Vicente Mellado Jiménez, Dra. M<sup>a</sup> Rocío Esteban Gallego y Dr. Jesús A. Gómez Ochoa de Alda, por toda la ayuda recibida a lo largo del desarrollo de esta Tesis Doctoral. Gracias por vuestra dedicación, por vuestro tiempo y por vuestra orientación, que han resultado claves para el avance de esta investigación. En definitiva, gracias por todo lo que he aprendido con vosotros.

A todos mis compañeros del Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales y Matemáticas, por vuestra acogida y colaboración. Especialmente a Miguel Ángel Bas, por su gran ayuda en la realización de las intervenciones en la facultad y en los centros de Educación Primaria; y a mis compañeros de despacho (Marian, Luisa, Mila, Miriam, Elena, Luis Armando y Yolanda).

A los maestros en formación inicial y a los centros de Educación Primaria participantes por su colaboración en esta investigación.

A mi familia, especialmente a mis padres, a mis hermanos y a mi mujer, Elena. Gracias por vuestro apoyo incondicional, por vuestra comprensión y paciencia, por vuestras palabras de ánimo y, sobre todo, por vuestro cariño.



Las fotografías de los participantes (tanto estudiantes del Grado en Educación Primaria como alumnos de Educación Primaria) mostradas en la descripción de las intervenciones implementadas en la Tesis Doctoral cuentan con el consentimiento de los participantes y de los padres/tutores legales en el caso de menores de edad.



## **Resumen**

Las teorías educativas actuales, y las pruebas experimentales que las sustentan, indican que el rendimiento académico está modulado por las emociones experimentadas por los alumnos durante los procesos de enseñanza-aprendizaje (emociones académicas), así como por el valor subjetivo que estos atribuyen al logro académico. A pesar de que ambas variables, emociones y valor, resultan fundamentales para mantener la motivación hacia las ciencias, la investigación no ha analizado las interacciones de estas con el aprendizaje durante la enseñanza de esta disciplina. Esta ausencia de estudios es particularmente alarmante en los maestros en formación inicial, ya que tanto sus emociones hacia las ciencias como el valor que atribuyen a esta pueden influir en su desempeño profesional y ser transferidos a sus futuros alumnos de Educación Primaria. El objetivo de la presente Tesis Doctoral es estudiar esas interacciones en una muestra de 1045 maestros en formación inicial (alumnos del Grado en Educación Primaria de la Universidad de Extremadura) y de 740 alumnos del 6º curso de Educación Primaria de Badajoz. En los primeros, se analizan tanto sus emociones retrospectivas hacia la enseñanza teórica y práctica de la Biología durante la Enseñanza Secundaria, como las emociones que anticipan y sienten durante tres prácticas activas de Biología (Biología Celular, Microbiología y Biología Evolutiva). En los segundos, se analizan tanto sus emociones habituales hacia la enseñanza teórica y práctica de la Biología en Educación Primaria, como las emociones que anticipan y sienten con una práctica activa de Microbiología.

Respecto a las emociones retrospectivas de la Educación Secundaria y las habituales de Educación Primaria, los resultados muestran que la enseñanza práctica de la Biología provoca más emociones positivas y menos negativas que la teórica. Dichas emociones correlacionan con el conocimiento de Biología correspondiente a cada etapa educativa y retenido a lo largo del tiempo, lo que sugiere una asociación duradera entre emociones y aprendizaje. En relación a las prácticas activas de Biología, su implementación resulta efectiva tanto respecto al aprendizaje como respecto a las emociones (disminuyen las emociones negativas y aumentan las emociones positivas de los alumnos), observándose asociaciones positivas entre las emociones positivas y el aprendizaje, y negativas entre este y las emociones negativas. En el mismo sentido, se observa que los conocimientos previos correspondientes a la Educación Secundaria interaccionan con las emociones anticipatorias hacia las actividades prácticas y estas, a su vez, interaccionan con el aprendizaje resultante. Esto pone de manifiesto el poder predictivo de las emociones anticipatorias sobre el aprendizaje. En relación al valor subjetivo, este también interacciona positivamente con el aprendizaje y con las emociones positivas. El análisis de la interacción entre las emociones académicas y las subescalas del valor subjetivo (valor del interés, valor de la utilidad y valor del coste) muestra que las emociones negativas se asocian con el coste personal que el alumno atribuye a la actividad, mientras que las emociones

positivas interaccionan con el interés y la utilidad otorgados a lo aprendido en relación a su futuro. Las asociaciones emociones-valor-aprendizaje detectadas se observan tanto en la muestra de maestros en formación inicial como en la muestra de alumnos de Educación Primaria, lo que sugiere que son independientes de la etapa educativa y que podrían estar siempre asociadas a metodologías activas.

En su conjunto, los resultados destacan la capacidad de las metodologías activas de modular las emociones, y apoyan las teorías educativas actuales que confieren un papel fundamental a las emociones y al valor subjetivo en el aprendizaje. El desarrollo de metodologías activas en las clases de ciencias podría evitar el descenso en la motivación hacia las ciencias a lo largo de la escolarización.

**Palabras clave:** Didáctica de la Biología, Enseñanza práctica, Aprendizaje activo, Emociones académicas, Valor, Formación inicial de maestros y Educación Primaria



## **Abstract**

*According to current educational theories, and its experimental evidence, learning is modulated by student's emotions towards academic activities and achievement (academic emotions), as well as by the subjective value they assign to this achievement. In spite that both variables, emotions, and values, are essential to maintain motivation towards science, educational research has neglected their interactions with learning during science teaching. This lack of research is particularly critical in pre-service teachers since their emotions and values towards science can be transferred to their future Primary School students and may influence their professional performance. The main objective of this doctoral dissertation is to examine these interactions in a sample of 1045 pre-service teachers (students of the Bachelor's Degree in Primary Education at the University of Extremadura) and 740 pupils of the 6<sup>th</sup> grade of Primary Education in Badajoz. In the former, we assessed their retrospective emotions towards lectures and practices of Biology during Secondary Education, as well as their emotions before (anticipatory emotions) and after three active Biology practices (Cell Biology, Microbiology, and Evolutionary Biology). In the sample of primary education pupils, we analysed their habitual emotions towards lectures and practices of Biology, as well as their emotions before (anticipatory) and after an active practice of Microbiology.*

*Regarding habitual and retrospective emotions, results show that active Biology practices rouse more positive and less negative emotions than lectures. These emotions correlate with the Biology knowledge acquired during each educational stage (Primary and Secondary education, respectively), supporting a long-lasting association between emotions and learning. All three active practices of Biology improve learning outcomes and modify emotions (decrease negative emotions and increase positive emotions), both being associated: learning is positively correlated with positive emotions whereas negatively correlated with negative emotions. In this respect, results reveal that pretest score (Biology knowledge of Secondary Education) interacts with anticipatory emotions towards active practices, and this with learning outcomes, highlighting the predictive power of anticipatory emotions. Regarding subjective value, this also interacts positively with learning and positive emotions. A detailed analysis of the interaction between academic emotions and subscales of value (interest value, utility value, and cost value) shows that negative emotions are modulated by the personal cost that students assign to the activity, whereas positive emotions are determined by the subjective interest and utility of the subject for their future. Noteworthy, the emotions-value-learning interactions are observed both in the sample of pre-service teachers and Primary Education pupils, which suggests that these interactions are independent of the educational stage and that they could always be associated with active methodologies.*

*Altogether, results highlight the ability of active learning as emotion modulator and provide additional support to current educational theories ascribing a fundamental role of emotions and task-values in learning. The development of active methodologies in science lessons could prevent the drop in motivation for science through school years.*

**Keywords:** *Biology Education, Practical instruction, Active learning, Academic emotions, Task values, Initial teacher training and Primary Education*

## ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN GENERAL</b>	<b>1</b>
Marco teórico y problema de investigación	1
Objetivos generales	5
Estructura de la Tesis Doctoral	6
<b>ASPECTOS METODOLÓGICOS GENERALES</b>	<b>9</b>
Muestras	9
Instrumentos	10
Análisis estadísticos	10
<b><u>CAPÍTULO 1. Prácticas activas de Biología y su efectividad en el aprendizaje de las ciencias de maestros en formación inicial</u></b>	<b>15</b>
<b><i>1.1 INTRODUCCIÓN</i></b>	<b>17</b>
1.1.1 La investigación dirigida como metodología para el desarrollo de prácticas activas de ciencias	17
1.1.2 Las analogías como recurso didáctico en la enseñanza de las ciencias	20
1.1.3 Tratamiento de la interdisciplinariedad y de las interacciones Ciencia, Tecnología y Sociedad en la enseñanza de las ciencias	22
1.1.4 Concepciones alternativas de Biología Celular y Microbiología: papel de los docentes en su transmisión	24
<b><i>1.2. OBJETIVOS</i></b>	<b>28</b>
<b><i>1.3. METODOLOGÍA</i></b>	<b>29</b>
1.3.1 Muestra	29
1.3.2 Instrumentos y análisis de datos	30
1.3.2.1 Determinación de la eficacia de las intervenciones	30
1.3.2.2 Determinación del efecto del pretest en la nota del postest	32
1.3.2.3 Determinación del efecto de las intervenciones en el nivel de conocimientos de Biología a largo plazo	32
1.3.2.4 Detección de concepciones alternativas de Biología Celular y Microbiología	33
1.3.2.5 Análisis de las analogías propuestas para la enseñanza de conceptos de Ciencias Naturales en Educación Primaria	33
<b><i>1.4. DESCRIPCIÓN DE LAS INTERVENCIONES DISEÑADAS</i></b>	<b>35</b>
1.4.1 Enseñanza de conceptos de Biología Celular, Química y Física a través de una práctica activa basada en la extracción de ADN con materiales cotidianos	35
1.4.1.1 Desarrollo de una estrategia didáctica interdisciplinar a partir de los fundamentos científicos de la extracción de ADN	36
1.4.1.1.1 Procedimiento de extracción de ADN	36
1.4.1.1.2 Fundamento científico de la extracción de ADN con material cotidiano	36
1.4.1.1.2.1 Identificación de los conceptos del área de Biología	36
1.4.1.1.2.2 Identificación de los conceptos del área de Química	39
1.4.1.1.2.3 Identificación de los conceptos del área de Física	42
1.4.1.1.3 Ciencia, Tecnología y Sociedad en la extracción de ADN con material cotidiano	43

1.4.1.2	Diseño de una intervención activa interdisciplinaria desarrollada bajo investigación dirigida y basada en la extracción de ADN con materiales cotidianos con maestros en formación inicial	43
<b>1.4.2</b>	<b>Enseñanza de conceptos de Microbiología a través de una práctica activa basada en el cultivo de microorganismos</b>	<b>47</b>
1.4.2.1	Primera fase de la intervención: abordando los conceptos de ubicuidad, diversidad, asepsia y esterilización mediante cultivo microbiano con maestros en formación inicial	48
1.4.2.2	Segunda fase de la intervención: diseño de un medio de cultivo microbiano con materiales cotidianos bajo investigación dirigida con maestros en formación inicial	51
<b>1.4.3</b>	<b>Enseñanza de conceptos de filogenia molecular mediante una analogía lingüística</b>	<b>53</b>
1.4.3.1	La filogenia molecular mediante una analogía lingüística	55
1.4.3.1.1	Las mutaciones a nivel molecular	56
1.4.3.1.2	Alineamiento y homología	57
1.4.3.1.3	Árboles filogenéticos, reconstrucción filogenética, filogeografía y transferencia genética lateral	57
1.4.3.1.4	Teoría neutralista de la evolución molecular y relojes moleculares	60
1.4.3.2	Diseño de una intervención didáctica basada en analogías lingüísticas para la enseñanza de conceptos de filogenia molecular a maestros en formación inicial	64
<b>1.5.</b>	<b>RESULTADOS, DISCUSIÓN E IMPLICACIONES FORMATIVAS</b>	<b>72</b>
<b>1.5.1</b>	<b>Análisis de la eficacia de las intervenciones diseñadas respecto al aprendizaje de ciencias de maestros en formación inicial</b>	<b>72</b>
1.5.1.1	Análisis de la eficacia de la práctica activa de Biología Celular	72
1.5.1.2	Análisis de la eficacia de la práctica activa de Microbiología	73
1.5.1.3	Discusión sobre la efectividad de las prácticas activas basadas en la investigación dirigida	74
1.5.1.4	Análisis y discusión de la efectividad de la práctica activa de Biología Evolutiva	75
<b>1.5.2</b>	<b>Análisis del efecto del pretest en el nivel de conocimientos de Biología posteriores de los maestros en formación inicial</b>	<b>77</b>
<b>1.5.3</b>	<b>Análisis de la influencia de las intervenciones diseñadas en el nivel de conocimientos de Biología de maestros en formación inicial a largo plazo</b>	<b>77</b>
<b>1.5.4</b>	<b>Detección de concepciones alternativas sobre Biología Celular y Microbiología en maestros en formación inicial</b>	<b>78</b>
1.5.4.1	Ideas alternativas sobre Biología Celular en maestros en formación inicial	79
1.5.4.2	Ideas alternativas sobre Microbiología en maestros en formación inicial	81
1.5.4.3	Discusión: implicaciones formativas de las ideas alternativas de Biología de los maestros en formación inicial	83
<b>1.5.5</b>	<b>Análisis de las analogías propuestas por maestros en formación inicial para la enseñanza de conceptos de Ciencias Naturales</b>	<b>85</b>
<b>1.6.</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>89</b>
<b>CAPÍTULO 2.</b>	<b>Emociones de los maestros en formación inicial hacia la enseñanza práctica de Biología</b>	<b>91</b>
<b>2.1.</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>93</b>
2.1.1	Emociones: definición, dimensiones y medida	93

2.1.2 Las emociones académicas en la enseñanza-aprendizaje de las ciencias: influencia del género	97
2.1.3 Las emociones académicas en la enseñanza práctica de las ciencias: influencia de las metodologías prácticas activas	99
2.1.4 Las emociones en la labor docente	101
2.1.5 Las emociones en el aprendizaje de las ciencias de los maestros en formación inicial	103
<b>2.2. OBJETIVOS</b>	<b>106</b>
<b>2.3. METODOLOGÍA</b>	<b>107</b>
2.3.1 Desarrollo de un instrumento para estimar las emociones académicas de los maestros en formación inicial	107
2.3.2 Muestra, validación del instrumento y análisis de datos	108
2.3.2.1 Procedimiento de validación del cuestionario de emociones desarrollado	108
2.3.2.2 Análisis de las emociones retrospectivas de los maestros en formación inicial en clases de Biología de Educación Secundaria. Análisis en función del género	109
2.3.2.3 Análisis de las emociones retrospectivas y anticipatorias hacia la enseñanza práctica de Biología: estudio de su discriminación con un test autoinforme y de su asociación	110
2.3.2.4 Análisis del efecto de las prácticas activas en las emociones académicas de los maestros en formación inicial. Análisis en función del género	111
<b>2.4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>113</b>
2.4.1 Validación del test autoinforme de emociones: análisis de intercorrelaciones y análisis factorial	113
2.4.1.1 Análisis exploratorio	113
2.4.1.2 Análisis confirmatorios	117
2.4.2 Análisis de las emociones retrospectivas de maestros en formación inicial en sesiones expositivas y prácticas de Biología de Educación Secundaria y la influencia del género	120
2.4.2.1 Estudio de las emociones retrospectivas en clases de Biología de Educación Secundaria en función del género	122
2.4.3 Análisis de la discriminación entre las emociones retrospectivas en clases prácticas de Biología de Educación Secundaria de los maestros en formación inicial y sus emociones anticipatorias a una actividad práctica de Biología con un test autoinforme	124
2.4.4 Análisis de las interacciones entre las emociones retrospectivas en clases prácticas de Biología de Educación Secundaria y las emociones anticipatorias previas a una actividad práctica de Biología en maestros en formación inicial	125
2.4.5 Análisis del cambio de emociones de maestros en formación inicial con la implementación de prácticas activas de Biología y la influencia del género	126
2.4.5.1 Análisis del cambio de emociones con la práctica activa de Biología Celular	126
2.4.5.2 Análisis del cambio de emociones con la práctica activa de Microbiología	129
2.4.5.3 Discusión sobre el efecto de las prácticas activas basadas en la investigación dirigida en las emociones	130
2.4.5.4 Análisis y discusión del cambio de emociones con la práctica de Biología Evolutiva	131
2.4.5.5 Estudio del cambio de emociones con las prácticas activas de Biología en función del género	132
<b>2.5. CONCLUSIONES</b>	<b>138</b>

<b>2.6. IMPLICACIONES EN LA FORMACIÓN INICIAL DE MAESTROS</b>	<b>140</b>
<b><u>CAPÍTULO 3. Emociones y aprendizaje de maestros en formación inicial con la enseñanza práctica de Biología</u></b>	<b>143</b>
<b>3.1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>145</b>
<b>3.1.1 Las emociones académicas influyen en el dominio cognitivo y condicionan el aprendizaje</b>	<b>145</b>
<b>3.1.2 El aprendizaje influye en las emociones: las emociones académicas y su relación bidireccional con el aprendizaje</b>	<b>148</b>
<b>3.2. OBJETIVOS</b>	<b>150</b>
<b>3.3. METODOLOGÍA</b>	<b>151</b>
<b>3.3.1 Análisis de las interacciones entre las emociones retrospectivas de los maestros en formación inicial en las clases de Biología de Educación Secundaria y el conocimiento de Biología adquirido en Educación Secundaria. Análisis en función del género</b>	<b>151</b>
3.3.1.1 Muestra	151
3.3.1.2 Instrumentos	151
3.3.1.3 Análisis estadísticos	151
<b>3.3.2 Análisis de las interacciones de las emociones anticipatorias y experimentadas con las prácticas activas de Biología con el conocimiento de Biología y el aprendizaje de Biología. Análisis en función del género</b>	<b>152</b>
3.3.2.1 Muestra	152
3.3.2.2 Instrumentos	153
3.3.2.3 Análisis estadísticos	153
<b>3.4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>156</b>
<b>3.4.1 Análisis de las relaciones entre las emociones retrospectivas de los maestros en formación inicial hacia la enseñanza de Biología en Educación Secundaria y el recuerdo de conocimiento de Biología de Educación Secundaria. Influencia del género</b>	<b>156</b>
3.4.1.1 Interacciones entre las emociones retrospectivas individuales y el conocimiento de Biología	157
3.4.1.2 Interacciones entre los factores de las emociones retrospectivas positivas y negativas y el conocimiento de Biología	157
3.4.1.3 Estudio de las interacciones emociones retrospectivas-conocimiento de Biología en función del género	158
3.4.1.4 Discusión	159
<b>3.4.2 Análisis de las relaciones entre las emociones anticipatorias de maestros en formación inicial ante las prácticas activas de Biología y el recuerdo de conceptos de Biología de Educación Secundaria</b>	<b>162</b>
3.4.2.1 Análisis de las asociaciones de las emociones anticipatorias de la práctica activa de Biología Celular y los conocimientos previos de Biología	162
3.4.2.2 Análisis de las asociaciones de las emociones anticipatorias de la práctica activa de Microbiología y los conocimientos previos de Biología	164
3.4.2.3 Análisis de las asociaciones de las emociones anticipatorias de la práctica activa de Biología Evolutiva y los conocimientos previos de Biología	166
3.4.2.4 Estudio de las asociaciones emociones anticipatorias-conocimientos previos en función del género	166

3.4.2.5	Discusión	167
<b>3.4.3</b>	<b>Análisis de las relaciones entre las emociones experimentadas por los maestros en formación inicial con las prácticas activas de Biología, el conocimiento de Biología y el aprendizaje de Biología</b>	<b>169</b>
3.4.3.1	Análisis de las interacciones entre las emociones experimentadas con las prácticas activas de Biología y el conocimiento posterior de Biología	169
3.4.3.2	Análisis de las interacciones entre las emociones experimentadas con las prácticas activas de Biología y el conocimiento de Biología a largo plazo	173
3.4.3.3	Análisis de las interacciones entre las emociones experimentadas con las prácticas activas de Biología y el aprendizaje de Biología	174
3.4.3.4	Estudio, en función del género, de las asociaciones de las emociones experimentadas con las prácticas activas de Biología con el conocimiento y el aprendizaje de Biología	177
3.4.3.5	Discusión	178
<b>3.4.4</b>	<b>Análisis de las relaciones entre las emociones anticipatorias ante las prácticas activas de Biología, el conocimiento de Biología y el aprendizaje de Biología</b>	<b>181</b>
3.4.4.1	Análisis de las interacciones entre las emociones anticipatorias a las prácticas activas de Biología y el conocimiento posterior de Biología	182
3.4.4.2	Análisis de las interacciones entre las emociones anticipatorias a las prácticas activas de Biología y el conocimiento de Biología a largo plazo	184
3.4.4.3	Análisis de las interacciones entre las emociones anticipatorias a las prácticas activas de Biología y el aprendizaje de Biología	185
3.4.4.4	Estudio, en función del género, de las asociaciones de las emociones anticipatorias previas a las prácticas activas de Biología con el conocimiento y el aprendizaje de Biología	188
3.4.4.5	Discusión	189
<b>3.4.5</b>	<b>Modelos sobre las interacciones entre los factores asociados a las emociones, el conocimiento de Biología y el aprendizaje de Biología</b>	<b>191</b>
3.4.5.1	Papel de las emociones anticipatorias de los maestros en formación inicial ante la enseñanza práctica de Biología	192
3.4.5.1.1	Análisis del valor predictivo del conocimiento previo de Biología de Educación Secundaria de los maestros en formación inicial en sus emociones anticipatorias	192
3.4.5.1.2	Análisis del valor predictivo de las emociones anticipatorias de los maestros en formación inicial en el conocimiento de Biología y el aprendizaje de Biología	192
3.4.5.2	Papel de las emociones sentidas por los maestros en formación inicial durante la enseñanza práctica activa de la Biología	193
<b>3.5.</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>199</b>
<b>3.6.</b>	<b>IMPLICACIONES EN LA FORMACIÓN INICIAL DE MAESTROS</b>	<b>201</b>
<b><u>CAPÍTULO 4.</u> Valor, emociones y aprendizaje en la enseñanza práctica activa de Biología a maestros en formación inicial</b>		<b>205</b>
<b>4.1.</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>207</b>
4.1.1	Emociones y asignación de valor	207
4.1.2	La estimación de valor en los procesos de enseñanza-aprendizaje	210
<b>4.2.</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>212</b>

<b>4.3. METODOLOGÍA</b>	<b>214</b>
<b>4.3.1 Determinación del valor otorgado por los maestros en formación inicial a las prácticas activas de Biología y análisis de sus interacciones con las emociones, el conocimiento de Biología y el aprendizaje de Biología. Análisis en función del género</b>	<b>214</b>
4.3.1.1 Muestra	214
4.3.1.2 Instrumentos	214
4.3.1.2.1 Determinación del valor otorgado por los maestros en formación inicial a las prácticas activas de Biología a través de un solo ítem	214
4.3.1.2.2 Instrumentos de emociones y conocimiento de Biología	214
4.3.1.3 Análisis estadísticos	215
4.3.1.3.1 Estadísticos descriptivos del valor subjetivo	215
4.3.1.3.2 Análisis de las interacciones del valor con las emociones académicas, el conocimiento de Biología y el aprendizaje de Biología	215
4.3.1.3.3 Análisis en función del género	216
<b>4.3.2 Determinación de los constructos de valor (interés, utilidad y coste) otorgados por los maestros en formación inicial al uso integrado de Matemáticas y Biología y su relación con las emociones. Análisis en función del género</b>	<b>216</b>
4.3.2.1 Muestra	216
4.3.2.2 Instrumentos	217
4.3.2.2.1 Estimación de los constructos de valor (interés, utilidad y coste) hacia el uso interdisciplinar de Matemáticas y Biología mediante el cuestionario Math–Biology Values Instrument (MBVI)	217
4.3.2.2.1.1 Descripción del test MBVI original	217
4.3.2.2.1.2 Adaptación del test MBVI a maestros en formación inicial	217
4.3.2.2.1.3 Procedimiento de validación de la adaptación del test MBVI	218
4.3.2.2.2 Instrumento empleado para determinar las emociones hacia el uso de Matemáticas en Biología	218
4.3.2.3 Análisis estadísticos	219
4.3.2.3.1 Estadísticos descriptivos de los constructos de valor y las emociones	219
4.3.2.3.2 Análisis de las interacciones entre los constructos de valor y las emociones hacia el uso integrado de Matemáticas y Biología	219
4.3.2.3.3 Estudios en función del género	219
<b>4.3.3 Determinación de los constructos de valor (interés, utilidad y coste) otorgados por los maestros en formación a la enseñanza activa interdisciplinar de Biología y su relación con las emociones, el conocimiento de Biología y el aprendizaje de Biología. Análisis en función del género</b>	<b>220</b>
4.3.3.1 Muestra	220
4.3.3.2 Instrumentos	220
4.3.3.2.1. Instrumentos empleado para determinar los constructos de valor (interés, utilidad y coste) hacia la enseñanza interdisciplinar de Biología	220
4.3.3.2.1.1 Instrumento empleado para determinar los constructos de valor hacia la enseñanza interdisciplinar de Biología y Matemáticas	220
4.3.3.2.1.2 Instrumento empleado para determinar los constructos de valor hacia la enseñanza interdisciplinar de Biología y Química	220
4.3.3.2.1.3 Validación de la adaptación del test MBVI hacia el uso integrado de Biología y Química	221
4.3.3.2.2 Instrumentos de emociones y conocimiento de Biología	221
4.3.3.3 Análisis estadísticos	222



4.3.3.3.1	Análisis de los cambios en los constructos de valor (interés, utilidad y coste) con la implementación de las prácticas activas de Biología	222
4.3.3.3.2	Análisis de las interacciones de los constructos de valor (interés, utilidad y coste) con las emociones académicas, el conocimiento de Biología y el aprendizaje de Biología	222
4.3.3.3.3	Estudios en función del género	223
<b>4.4.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>224</b>
<b>4.4.1</b>	<b>Valor, estimado a través de un solo ítem, otorgado por los maestros en formación inicial a las prácticas activas de Biología</b>	<b>224</b>
<b>4.4.2</b>	<b>Análisis de las relaciones entre el valor a través de un solo ítem y las emociones de los maestros en formación inicial con las prácticas activas de Biología. Influencia del género</b>	<b>225</b>
4.4.2.1	Estudio de las asociaciones emociones-valor en función del género	228
4.4.2.2	Discusión	229
<b>4.4.3</b>	<b>Análisis de las relaciones entre el valor a través de un solo ítem, el conocimiento de Biología y el aprendizaje de Biología de los maestros en formación inicial con las prácticas activas de Biología</b>	<b>230</b>
4.4.3.1	Estudio de las interacciones valor-conocimiento-aprendizaje en función del género	231
4.4.3.2	Discusión	232
<b>4.4.4</b>	<b>Modelos sobre las interacciones del valor a través de un solo ítem con el conocimiento de Biología, el aprendizaje de Biología y los factores asociados a las emociones positivas y negativas</b>	<b>233</b>
<b>4.4.5</b>	<b>Análisis de los constructos de valor (interés, utilidad y coste) de los futuros maestros hacia el uso integrado de Matemáticas y Biología, y su relación las emociones. Influencia del género</b>	<b>236</b>
4.4.5.1	Validación del test MBVI adaptado a maestros en formación inicial: análisis factorial	236
4.4.5.2	Emociones y constructos de valor (interés, utilidad y coste) de los maestros en formación inicial hacia el uso integrado de Matemáticas y Biología: diferencias de género	238
4.5.2.2.1	Análisis descriptivo de las emociones y los constructos de valor	238
4.5.2.2.2	Estudio de las emociones y los constructos de valor en función del género	239
4.4.5.3	Análisis de las interacciones entre los constructos de valor (interés, utilidad y coste) atribuidos por los maestros en formación inicial hacia el uso de Matemáticas en Biología. Influencia del género	241
4.4.5.4	Análisis de las interacciones entre las emociones hacia las Matemáticas en Biología y los constructos de valor (interés, utilidad y coste). Influencia del género	242
4.4.5.4.1	Análisis de las interacciones entre las emociones positivas hacia las Matemáticas en Biología y los constructos de valor (interés, utilidad y coste)	244
4.4.5.4.2	Análisis de las interacciones entre las emociones negativas hacia las Matemáticas en Biología y los constructos de valor (interés, utilidad y coste). Influencia del género	245
4.4.5.4.3	Discusión	246
<b>4.4.6</b>	<b>Análisis de los cambios en los constructos de valor (interés, utilidad y coste) de los maestros en formación inicial con la enseñanza activa interdisciplinar de Biología: diferencias de género</b>	<b>247</b>

4.4.6.1 Validación del test MBVI adaptado al uso integrado de Química y Biología de maestros en formación inicial: análisis factorial	247
4.4.6.2 Análisis de los cambios en los constructos de valor de los maestros en formación inicial con la implementación de las prácticas activas de Biología Evolutiva y Biología Celular	248
4.4.6.3 Estudios de las variaciones de los constructos de valor en función del género	250
4.4.6.4 Discusión	253
<b>4.4.7 Análisis de las interacciones de los constructos de valor (interés, utilidad y coste) y las emociones de los maestros en formación inicial durante la enseñanza activa interdisciplinar de Biología. Influencia del género</b>	<b>254</b>
4.4.7.1 Análisis de las interacciones de los constructos de valor hacia el uso de Matemáticas en Biología con las emociones durante la práctica de Biología Evolutiva	254
4.4.7.1.1 Interacciones de los constructos de valor con el valor a través de un solo ítem	256
4.4.7.1.2 Estudio de las interacciones constructos de valor-emociones en función del género	256
4.4.7.2 Análisis de las interacciones de los constructos de valor hacia el uso integrado de Química y Biología y las emociones durante la práctica de Biología Celular	257
4.4.7.2.1 Interacciones de los constructos de valor con el valor a través de un solo ítem	258
4.4.7.2.2 Estudio de las interacciones constructos de valor-emociones en función del género	259
4.4.7.3 Discusión	259
<b>4.4.8 Análisis de las interacciones de los constructos de valor (interés, utilidad y coste) con el conocimiento de Biología y el aprendizaje de Biología de los maestros en formación inicial durante la enseñanza activa interdisciplinar de Biología</b>	<b>260</b>
<b>4.5. CONCLUSIONES</b>	<b>263</b>
<b>4.6. IMPLICACIONES EN LA FORMACIÓN INICIAL DE MAESTROS</b>	<b>265</b>
<b><u>CAPÍTULO 5. Emociones, aprendizaje y valor durante la enseñanza práctica de Biología en Educación Primaria</u></b>	<b>269</b>
<b>5.1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>271</b>
5.1.1 La enseñanza de la Microbiología en Educación Primaria: concepciones alternativas y emociones de los alumnos de Educación Primaria hacia los microorganismos	271
<b>5.2. OBJETIVOS</b>	<b>275</b>
<b>5.3. METODOLOGÍA</b>	<b>277</b>
5.3.1 Análisis de las emociones retrospectivas y del conocimiento adquirido por alumnos de 6º curso en clases de Biología de Educación Primaria, y del valor que otorgan a la Biología. Análisis en función del género	277
5.3.1.1 Muestra	277
5.3.1.2 Instrumentos	277
5.3.1.2.1 Instrumento sobre conceptos de Biología impartidos en Educación Primaria	278
5.3.1.2.2 Instrumento de emociones	278
5.3.1.2.3 Instrumento para estimar el valor otorgado a los contenidos de Biología a través de un solo ítem	278

5.3.1.3	Análisis estadísticos y estudios en función del género	279
5.3.1.3.1	Determinación del grado de conocimiento de conceptos de Biología impartidos en Educación Primaria	279
5.3.1.3.2	Análisis de las emociones retrospectivas en clases expositivas y prácticas de Biología de Educación Primaria. Estudio en función del género	279
5.3.1.3.3	Determinación del valor otorgado a los contenidos de Biología. Estudio en función del género	279
5.3.1.3.4	Análisis de las interacciones emociones-conocimientos-valor. Estudio en función del género	279
<b>5.3.2</b>	<b>Análisis de las emociones experimentadas y del conocimiento/aprendizaje adquirido por alumnos de 6º de Educación Primaria con la enseñanza práctica de Microbiología, y del valor que otorgan a la Microbiología</b>	<b>280</b>
5.3.2.1	Muestra	280
5.3.2.2	Instrumentos	280
5.3.2.2.1	Instrumento sobre conocimiento de Microbiología	281
5.3.2.2.2	Instrumento de emociones	281
5.3.2.2.3	Instrumento para estimar el valor otorgado a la Microbiología a través de un solo ítem	282
5.3.2.3	Análisis estadísticos y estudios en función del género	282
5.3.2.3.1	Determinación de los conocimientos previos de Microbiología y de la eficacia de la intervención	282
5.3.2.3.2	Análisis del efecto de la intervención en las emociones. Estudio en función del género	282
5.3.2.3.3	Determinación del valor otorgado a la Microbiología. Estudio en función del género	283
5.3.2.2.4	Análisis de las interacciones emociones-conocimientos-aprendizaje-valor. Estudio en función del género	283
<b>5.4.</b>	<b><i>DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA INTERVENCIÓN PRÁCTICA PARA LA ENSEÑANZA DE MICROBIOLOGÍA EN EDUCACIÓN PRIMARIA</i></b>	<b>284</b>
<b>5.5.</b>	<b><i>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</i></b>	<b>293</b>
<b>5.5.1</b>	<b>Análisis del recuerdo de conceptos básicos de Biología impartidos durante la Educación Primaria</b>	<b>293</b>
<b>5.5.2</b>	<b>Análisis de las emociones retrospectivas en sesiones expositivas y prácticas de Biología de Educación Primaria. Influencia del género</b>	<b>294</b>
5.5.2.1	Estudio de las emociones retrospectivas en clases de Biología de Educación Primaria en función del género	295
<b>5.5.3</b>	<b>Valor otorgado por alumnos de Educación Primaria a los contenidos de Biología</b>	<b>296</b>
<b>5.5.4</b>	<b>Análisis de las interacciones entre el recuerdo de emociones en clases de Biología de Educación Primaria, el conocimiento de Biología y el valor</b>	<b>296</b>
5.5.4.1	Estudio de las interacciones emociones retrospectivas-conocimiento de Biología-valor en función del género	297
5.5.4.2	Discusión	299
<b>5.5.5</b>	<b>Análisis del conocimiento previo sobre Microbiología de alumnos de 6º de Educación Primaria: detección de concepciones alternativas</b>	<b>301</b>
<b>5.5.6</b>	<b>Análisis de la eficacia de la intervención diseñada respecto al aprendizaje de Microbiología de alumnos de Educación Primaria</b>	<b>303</b>
<b>5.5.7</b>	<b>Análisis del cambio de emociones de alumnos de Educación Primaria con la implementación de práctica de Microbiología</b>	<b>304</b>

5.5.7.1 Estudio del cambio de emociones con la práctica de Microbiología en función del género	305
5.5.7.2 Discusión	305
<b>5.5.8 Valor otorgado por alumnos de Educación Primaria a la Microbiología</b>	<b>306</b>
<b>5.5.9 Análisis de las interacciones entre las emociones experimentadas por los alumnos de Educación Primaria con la práctica de Microbiología, el conocimiento de Microbiología, el aprendizaje de Microbiología y el valor. Influencia del género</b>	<b>306</b>
5.5.9.1 Estudio de las interacciones emociones-conocimiento-valor en función del género	307
5.5.9.2 Discusión	308
<b>5.6. CONCLUSIONES</b>	<b>312</b>
<b>5.7 IMPLICACIONES EN LA ENSEÑANZA DE LA BIOLOGÍA EN EDUCACIÓN PRIMARIA</b>	<b>314</b>
<b>CONCLUSIONES GENERALES / GENERAL CONCLUSIONS</b>	<b>317</b>
<b>LIMITACIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN</b>	<b>325</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>329</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>355</b>

## **Introducción general**

### **Marco teórico y problema de investigación**

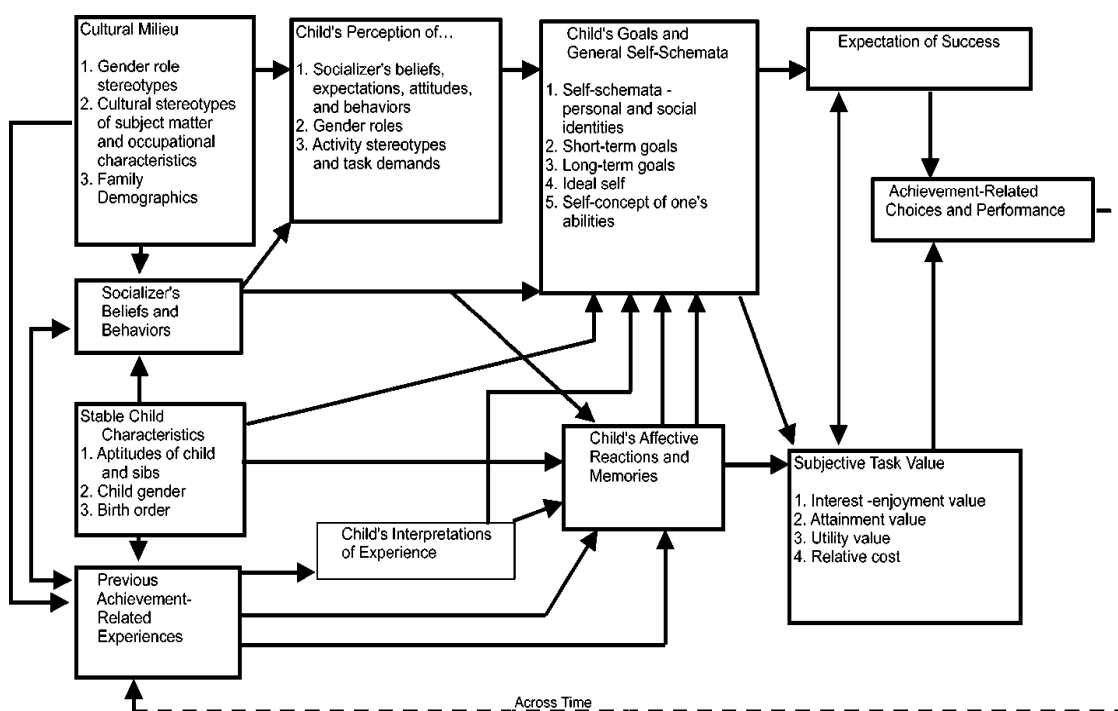
La presente Tesis Doctoral se encuadra dentro de la línea de investigación sobre las emociones y su papel en la enseñanza-aprendizaje de las ciencias que desarrolla el Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales y Matemáticas de la Universidad de Extremadura. Los trabajos anteriores han mostrado, de manera consistente, y en concordancia con numerosos estudios a nivel internacional, que la motivación de los estudiantes hacia las ciencias tiende a disminuir durante la escolarización (sobre todo a partir de la Educación Secundaria y, también, en los futuros maestros). Esta disminución en los niveles de motivación se expresa en: i) un aumento en la frecuencia de las emociones negativas (así como en un descenso de las emociones positivas), ii) un descenso del valor que atribuyen a la ciencia y iii) una reducción en la autoeficacia docente (Brígido, 2014; Borrachero, 2015; Dávila, 2018; Mellado *et al.*, 2014). Respecto a los resultados de estas investigaciones, en relación al profesorado en formación, se ha detectado una falta de motivación hacia las ciencias de los futuros docentes de Educación Primaria (Brígido, 2014) y de Educación Secundaria (Borrachero, 2015); cuyas emociones negativas hacia las ciencias experimentales, y hacia la enseñanza de las mismas en su futuro desempeño profesional, están ligadas a las que sintieron a lo largo de su etapa de Educación Secundaria. Una de las causas de dichas emociones es la metodología implementada, constituyendo el trabajo práctico y experimental una fuente de emociones positivas y motivación para los alumnos de Educación Secundaria (Dávila, 2018).

El estudio de las emociones (uno de los componentes afectivos del comportamiento humano) en los procesos de enseñanza-aprendizaje de las ciencias es muy relevante dado que, de acuerdo con las teorías actuales sobre el rendimiento académico, teoría de la expectativa-valor de Eccles y Wigfield (2002) y teoría del control-valor de Pekrun (2006), las emociones son un predictor importante del logro académico. Ambas teorías constituyen los principales marcos teóricos en los que se relacionan los diferentes elementos de la motivación (entre los que se encuentran las emociones) con el logro académico.

La teoría de la expectativa-valor propone un modelo para explicar el comportamiento hacia un objetivo a partir de las expectativas de lograrlo y del valor que se le atribuye al resultado. Esta teoría fue desarrollada inicialmente por Atkinson (1957) en uno de los primeros esfuerzos para comprender la motivación que tenían los individuos hacia un determinado logro. La teoría fue adaptada por Eccles y Wigfield (2002) hacia el campo de la educación. Según esta teoría, los logros académicos y las decisiones que toman los alumnos en relación a ellos están determinados de una manera más inmediata por dos factores: la expectativa de éxito y el valor

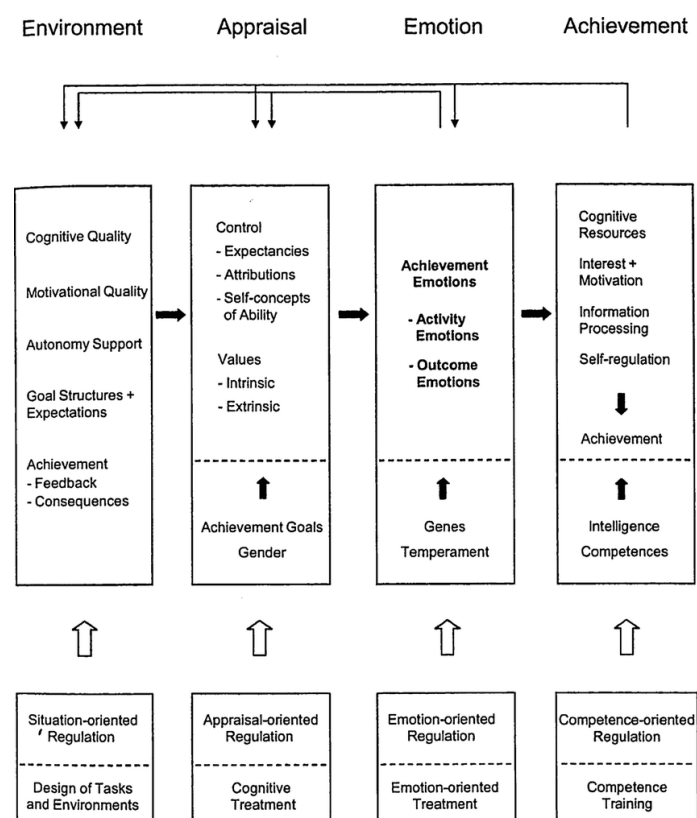
subjetivo de los logros. La expectativa de éxito se refiere a la confianza que tiene el individuo en sus habilidades para alcanzar el éxito en la tarea, mientras que el valor subjetivo del logro se refiere a la importancia de este, su utilidad y lo divertido/agradable que puede resultar para el individuo.

De acuerdo con trabajos teóricos y empíricos, las expectativas y los valores interactúan para producir importantes resultados como el compromiso con la tarea hacia el logro, el interés y los resultados académicos. Según esta teoría, el valor subjetivo viene modulado por las emociones de los alumnos, lo que en el modelo se denomina reacciones afectivas y recuerdos (figura 0.1).



**Figura 0.1.** Modelo de la teoría de la expectativa-valor (Eccles y Wigfield, 2002)

Más recientemente, en base a esta teoría de la expectativa-valor, Pekrun (2006) desarrolla la teoría del control-valor para crear un marco teórico en el que se relacionan las emociones experimentadas durante las actividades concretas orientadas a un logro con el valor (figura 0.2). Según Pekrun (2006), las emociones son el antecedente de los logros y surgen como resultado de una valoración subjetiva del control que el individuo cree tener sobre una actividad (sus habilidades para alcanzar el éxito en la tarea) y del valor subjetivo que le atribuye a esta. La principal diferencia entre ambas teorías es que Pekrun (2006) propone que las emociones académicas, aquellas experimentadas durante las actividades y con los resultados obtenidos, tienen una influencia directa sobre los resultados de aprendizaje.



**Figura 0.2.** Modelo de la teoría control-valor (Pekrun, 2006)

A pesar de que ambas teorías sostienen que las emociones y el valor subjetivo hacia una tarea son los antecedentes del logro académico, son escasos los estudios que abordan la interacción de emociones distintas a la ansiedad con el rendimiento académico (Valiente *et al.*, 2012), centrándose la mayoría de ellos en analizar el efecto negativo de la ansiedad sobre el logro en Matemáticas (Murphy *et al.*, 2019). Así, distintos metaanálisis han indicado que la ansiedad y el rendimiento académico en Matemáticas se relacionan negativa y significativamente (Goetz y Hall, 2013; Gogol *et al.*, 2014). Los resultados de estas investigaciones han demostrado ser muy útiles a la hora de diseñar intervenciones educativas más eficaces con las que mejorar, a través de programas de intervención emocional, los resultados de aprendizaje de los alumnos en esta materia (Ramírez y Beilock, 2011; Rozek *et al.*, 2019). Más escasos son los estudios que abordan el efecto de otras emociones académicas en el rendimiento académico o su influencia sobre otros dominios distintos a las Matemáticas (Itzek-Greulich *et al.*, 2017; Lichtenfeld *et al.*, 2012; Pekrun *et al.*, 2017; Putwain *et al.*, 2018 a y b; Steinmayret *et al.*, 2016), siendo la Biología una disciplina ausente en estas investigaciones. Recientemente, en una revisión bibliográfica realizada sobre emociones académicas, Murphy *et al.* (2019) han señalado la necesidad de abordar la interacción de estas con el rendimiento académico en ciencias.

Por otro lado, la mayor parte de los trabajos citados analizan las emociones de los alumnos sin especificar tareas o contextos educativos concretos. Una excepción es el trabajo de Goetz *et al.*

(2012), en el que se estudian las emociones hacia cuatro dominios (Matemáticas, Física y los idiomas alemán e inglés) en dos contextos educativos (en clase y durante el trabajo autónomo en casa). Hasta el momento solo se ha desarrollado un trabajo que estudia la interacción entre el dominio afectivo y el rendimiento académico durante la enseñanza práctica de las ciencias, en concreto con prácticas de laboratorio de Química en Educación Secundaria (Itzek-Greulich *et al.*, 2017). Respecto a los niveles educativos en los que se ha analizado la interacción emociones-rendimiento académico, los estudios mencionados anteriormente comprenden un intervalo de edad desde los 9 (Lichtenfeld *et al.*, 2012) a los 24 años (Pekrun *et al.*, 2011) y se refieren a estudios que abordan esta interacción en Educación Primaria, Educación Secundaria, Bachillerato y diferentes carreras universitarias como Psicología (Pekrun *et al.*, 2011) o Medicina (Artino *et al.*, 2010). Finalmente, las investigaciones anteriormente mencionadas estudian la influencia del dominio afectivo sobre el rendimiento académico, es decir, con los resultados de aprendizaje o nivel de conocimientos de los alumnos. La mayoría de estos estudios miden el rendimiento académico mediante la nota media de una o varias asignaturas al finalizar el curso, o mediante la calificación de un examen. Pocos estudios emplean un cuestionario de conocimientos diseñado para estimar los resultados de aprendizaje de una actividad concreta (Itzek-Greulich *et al.*, 2017). Además, la investigación desarrollada hasta la fecha ha indagado en el papel de las emociones en el nivel de conocimientos posteriores a un determinado proceso educativo o actividad de enseñanza, pero no con los conocimientos adquiridos con los mismos (es decir, con el aprendizaje o diferencia entre el conocimiento final y el conocimiento previo de los alumnos). Por tanto, es necesario analizar las asociaciones de las emociones y el valor subjetivo con el aprendizaje.

Teniendo en cuenta los resultados de esta revisión bibliográfica, ningún estudio hasta el momento estudia la relación de las emociones y el valor subjetivo con el rendimiento académico: i) en Biología y ii) con maestros en formación inicial (estudiantes del Grado en Educación Primaria); así como sólo existe una investigación que aborde esta interacción durante las actividades prácticas, tan relevantes en la enseñanza de las ciencias experimentales. Además, no se ha analizado la interacción de ambos factores afectivos con el aprendizaje o nivel de conocimientos adquiridos en un determinado proceso educativo. Por ello, en la presente Tesis Doctoral se estudian las emociones y el valor subjetivo como antecedentes del logro en Biología (estudiándose las interacciones de ambos factores tanto con el rendimiento académico como con el aprendizaje). Estas asociaciones se analizan: i) durante la enseñanza práctica activa, ya que numerosas investigaciones han mostrado su influencia positiva tanto en el aprendizaje de las ciencias (Dolan y Collins, 2015; Freeman *et al.*, 2014; Gormally *et al.*, 2009; Haak *et al.*, 2011; Wieman, 2014) como en el dominio afectivo (Gormally *et al.*, 2009; Itzek-Greulich *et al.*, 2017; Llach y Vila, 2017; Minkley *et al.*, 2017; Retana-Alvarado, 2018), y ii) con maestros en



formación inicial (estudiantes del Grado en Educación Primaria, de las Facultades de Educación de Badajoz y de Formación del Profesorado de Cáceres, de la Universidad de Extremadura), ya que la investigación ha demostrado que sus emociones se pueden transferir a sus alumnos (Beilock *et al.*, 2010; Frenzel *et al.*, 2009) y pueden influir en su desempeño profesional (Mellado *et al.*, 2014). Además, dado que en la Educación Primaria se empiezan a forjar las emociones y el valor hacia la ciencia, las interacciones de las emociones y el valor subjetivo con el rendimiento académico y el aprendizaje también se analizan con muestras de alumnos de Educación Primaria (alumnos de 6º de Educación Primaria de colegios de la ciudad de Badajoz y alrededores), replicando con estos algunos de los estudios realizados con los alumnos universitarios.

## **Objetivos generales**

De acuerdo con la justificación anterior, el objetivo de la presente Tesis Doctoral es determinar la interacción entre las emociones, el valor subjetivo y el aprendizaje de Biología, durante la enseñanza práctica de la misma, con maestros en formación inicial y con alumnos de Educación Primaria. Los objetivos generales planteados en esta investigación son:

- Objetivo general 1. Diseñar tres intervenciones prácticas activas para la enseñanza de Biología a maestros en formación inicial, así como determinar su efectividad respecto al aprendizaje de las ciencias.
- Objetivo general 2. Determinar las emociones académicas retrospectivas de los maestros en formación inicial durante sus clases de Biología de Educación Secundaria, así como las experimentadas antes y durante la implementación de las prácticas activas de Biología diseñadas.
- Objetivo general 3. Determinar las interacciones de las emociones académicas experimentadas por los maestros en formación inicial con su nivel de conocimientos de Biología y con el aprendizaje de Biología; tanto en las sesiones de Biología de su etapa como estudiantes de Educación Secundaria como antes y durante la implementación de las prácticas activas de Biología diseñadas.
- Objetivo general 4. Determinar el valor subjetivo otorgado, por los maestros en formación inicial, a las prácticas activas de Biología diseñadas; así como las interacciones de este con las emociones académicas, el nivel de conocimientos de Biología y el aprendizaje de Biología.
- Objetivo general 5. Determinar las interacciones entre las emociones académicas experimentadas hacia la Biología por alumnos de 6º de Educación Primaria, el aprendizaje de Biología y el valor subjetivo que otorgan a la Biología; tanto para las sesiones de Ciencias Naturales que han recibido en la etapa de Educación Primaria como con la implementación de una actividad práctica de Biología diseñada.

## **Estructura de la Tesis Doctoral**

En base a los objetivos generales planteados, la Tesis Doctoral se estructura en 5 capítulos, en los que se llevan a cabo los análisis con muestras de maestros en formación inicial (capítulos 1-4) y de alumnos de 6º de Educación Primaria (capítulo 5) (figura 0.3). Se incluyen, además, una serie de apartados generales, antes (introducción y metodología) y después de los capítulos (conclusiones, limitaciones y futuras líneas de investigación), con los que dar una visión global de la investigación desarrollada en la Tesis Doctoral.

En el capítulo 1 se describen las tres prácticas activas de Biología diseñadas (Biología Celular, Microbiología y Biología Evolutiva) y los resultados de su implementación sobre el nivel de conocimientos de Biología de los maestros en formación inicial participantes, comparando estos antes (mediante un pretest) y después (mediante un postest). En este capítulo se realizan otros análisis: i) determinación del efecto del pretest en la nota del postest, ii) determinación del efecto de las intervenciones en el nivel de conocimientos de Biología a largo plazo (mediante un retest), iii) detección de concepciones alternativas de Biología Celular y Microbiología y iv) análisis de las analogías propuestas para la enseñanza de conceptos de Ciencias Naturales en Educación Primaria.

En el capítulo 2 se describe el diseño y la validación de un cuestionario autoinforme cuantitativo de ítems sencillos para estimar emociones académicas, así como los datos obtenidos con este para determinar: i) las emociones retrospectivas de los maestros en formación inicial participantes en clases de Biología de Educación Secundaria, ii) las emociones anticipatorias esperadas ante la implementación de las prácticas activas de Biología y iii) las emociones sentidas durante el desarrollo de estas intervenciones. Otros análisis realizados en este capítulo son: i) análisis en función del género de las emociones de los participantes, ii) análisis de la discriminación, con un test autoinforme de emociones, de las emociones retrospectivas, en clases prácticas de Biología de Educación Secundaria, y las emociones anticipatorias previas a una actividad práctica de Biología y iii) análisis de las interacciones entre las emociones retrospectivas, en clases prácticas de Biología de Educación Secundaria, y las emociones anticipatorias previas a una actividad práctica de Biología.

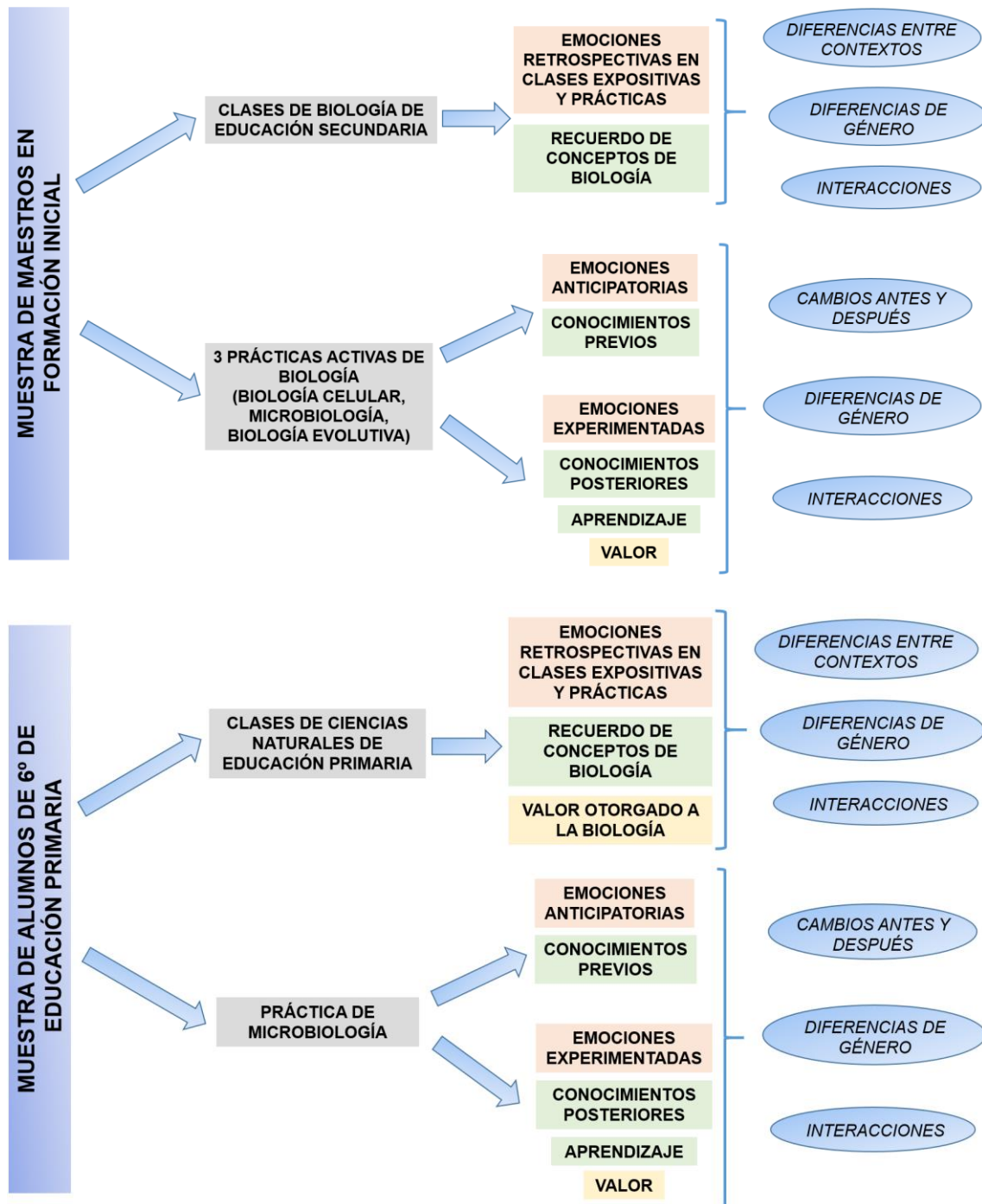
En el capítulo 3 se analizan las interacciones entre las emociones de los participantes, su nivel de conocimientos de Biología y el aprendizaje de Biología logrado con las prácticas activas de Biología. En concreto, se analizan las interacciones entre: i) las emociones retrospectivas en Educación Secundaria y el aprendizaje duradero de Biología de esta etapa educativa, ii) las emociones anticipatorias previas a las prácticas activas de Biología y los conocimientos de Biología previos a la intervenciones (nota del pretest, nivel Educación Secundaria), iii) las emociones sentidas con las prácticas activas de Biología y los conocimientos posteriores de

Biología (nota del postest y de un retest a largo plazo), iv) las emociones sentidas con las prácticas activas de Biología y el aprendizaje de Biología (estimado como la diferencia entre la nota del postest y la nota del pretest, es decir, conocimientos adquiridos con la intervención), y v) las emociones anticipatorias previas a las prácticas activas de Biología con los conocimientos posteriores de Biología (notas del postest y del retest) y con el aprendizaje de Biología. Además, se analizan estas interacciones en función del género de los participantes.

En el capítulo 4 se analiza el valor subjetivo (determinado a través de un único ítem) otorgado por los maestros en formación inicial participantes a las prácticas activas de Biología, así como las interacciones de este con: i) las emociones sentidas durante el desarrollo de las intervenciones, ii) los conocimientos de Biología posteriores a estas (nota del postest) y iii) el aprendizaje de Biología. En este capítulo se realizan otros análisis: i) determinación del valor subjetivo (a través de varios ítems positivos y negativos: interés, utilidad y coste) otorgado por los maestros en formación inicial al uso de Matemáticas en Biología y su relación con las emociones de estos hacia el uso integrado de ambas disciplinas, ii) análisis de los cambios en el interés, la utilidad y el coste de los maestros en formación inicial con la enseñanza activa interdisciplinar de Biología (con Matemáticas y con Química), iii) análisis de las interacciones de las emociones de los maestros en formación inicial con el interés, la utilidad y el coste otorgados por estos a la enseñanza activa interdisciplinar de Biología (con Matemáticas y con Química), iv) análisis de las interacciones del interés, la utilidad y el coste otorgados por los maestros en formación inicial a la enseñanza activa interdisciplinar de Biología (con Matemáticas y con Química) con la nota del postest y el aprendizaje de Biología, y v) estudio de todos los análisis anteriormente enumerados en función del género.

En el capítulo 5 se recogen los análisis realizados con los alumnos de 6º de Educación Primaria. En primer lugar, se determinan: i) sus emociones retrospectivas en clases de Ciencias Naturales de Educación Primaria, ii) su grado de recuerdo de conceptos biológicos básicos impartidos en esta etapa, y iii) el valor subjetivo (determinado a través de un único ítem) que otorgan a los contenidos de Biología en relación a su vida cotidiana. Además, se analizan las interacciones entre estas tres variables, así como su estudio en función del género. En segundo lugar, se describe una intervención práctica diseñada en esta investigación para la enseñanza de Microbiología a alumnos de esta etapa educativa, así como los resultados de su implementación sobre: i) el nivel de conocimientos de Microbiología de los participantes (mediante un pretest y un postest) y ii) sus emociones. Se determina, además, el valor subjetivo (determinado a través de un único ítem) otorgado a la Microbiología tras esta actividad. Se realizan otros análisis como: i) detección de concepciones alternativas de Microbiología, ii) análisis de las interacciones de las emociones, el valor, el nivel de conocimientos de Biología posterior a la

intervención (nota del postest) y el aprendizaje, y iii) estudio de todos los análisis anteriormente descritos en función del género.



**Figura 0.3.** Resumen de las variables estudiadas (emociones -en naranja-, conocimientos de Biología y aprendizaje de Biología -en verde- y valor -en amarillo-) y los análisis realizados en esta investigación (en azul) con muestras de maestros en formación inicial de la Universidad de Extremadura y de alumnos de 6º de Educación Primaria de Badajoz.

## **Aspectos metodológicos generales**

En este apartado se recogen los aspectos metodológicos generales de la presente Tesis Doctoral. Cada capítulo incorpora un apartado específico de metodología en el que se describen, con más detalle, las características de las muestras, los instrumentos y los análisis estadísticos empleados.

### **Muestras**

Los análisis realizados en la presente Tesis Doctoral se llevan a cabo con muestras de:

- Maestros en formación inicial: 1.045 estudiantes del Grado en Educación Primaria de la Universidad de Extremadura, de las Facultades de Educación en Badajoz y de Formación del Profesorado en Cáceres; durante 5 cursos académicos, desde el curso 2014-2015 al curso 2018-2019 (capítulos 1-4).
- Alumnos de 6º de Educación Primaria: 740 alumnos de 6º de Educación Primaria de varios colegios de Badajoz y alrededores, durante los cursos académicos 2016-2017 y 2017-2018 (capítulo 5).

En relación a la muestra de maestros en formación inicial, la investigación se desarrolla durante 5 años académicos, en los que se implementan varias intervenciones (prácticas activas de Biología Celular, Microbiología y Biología Evolutiva). Antes y después de las mismas se emplean distintos instrumentos con los que determinar el conocimiento de Biología de los participantes, sus emociones académicas y el valor subjetivo atribuido a las prácticas implementadas. Además, se estudian su recuerdo de emociones y conocimientos de Biología en clases de Biología de Educación Secundaria, así como sus emociones y valor subjetivo hacia el uso integrado de Matemáticas y Biología (figura 0.4).

En relación a la muestra de alumnos de Educación Primaria, la investigación se desarrolla durante 2 años académicos en los que se emplean instrumentos con los que determinar el conocimiento de Biología de los participantes, sus emociones académicas y el valor subjetivo atribuido a la Biología; tanto para las clases de Ciencias Naturales habituales de Educación Primaria como para la implementación de una actividad práctica de Microbiología (figura 0.4).

Estas muestras se desglosan en la tabla 0.1 para los distintos análisis realizados en la Tesis Doctoral (que se corresponden con los objetivos específicos planteados en cada capítulo).

En todos los casos, los alumnos fueron informados del carácter anónimo y voluntario de su participación.

## **Instrumentos**

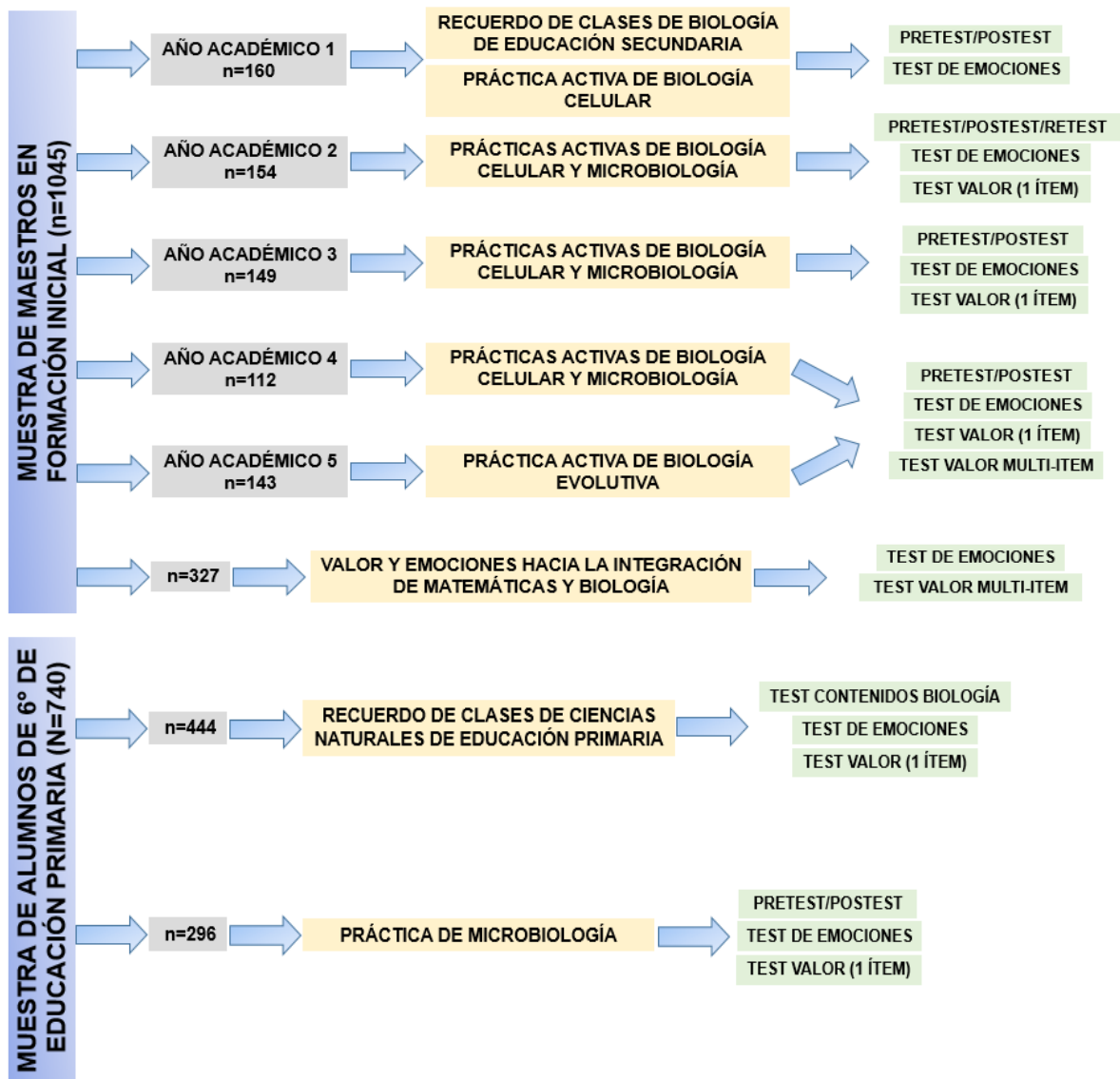
En la presente investigación se diseñan y emplean diferentes instrumentos para:

- Determinar el nivel de conocimientos de Biología de los participantes:
  - o Conocimientos científicos previos a las intervenciones (pretest).
  - o Conocimientos científicos posteriores a las intervenciones (postest).
  - o Conocimientos científicos a largo plazo (retest).
  - o Aprendizaje de contenidos científicos, determinado como la diferencia entre la nota del postest y la del pretest.
- Determinar las emociones académicas de los participantes hacia la enseñanza de la Biología (test autoinformes cuantitativos de ítems sencillos):
  - o Emociones retrospectivas (recordadas en contextos académicos pasados): se determinan a través de un cuestionario implementado antes de las intervenciones.
  - o Emociones anticipatorias (expectativa de emociones previa a las prácticas activas implementadas): se determinan a través de un cuestionario implementado antes de las intervenciones.
  - o Emociones experimentadas durante las prácticas activas: se determinan a través de un cuestionario implementado tras las intervenciones.
- Determinar el valor subjetivo atribuido por los participantes a la Biología:
  - o Valor subjetivo determinado a través de un test de un solo ítem.
  - o Componentes del valor subjetivo (interés, utilidad y coste) determinados a través de un test test multi-ítem.

En función del año académico y muestra se emplean diferentes instrumentos (figura 0.4).

## **Análisis estadísticos**

Dado que los datos no se ajustan a una distribución normal ( $p$ -valor $<0,05$ , test de normalidad Kolmogoro-Smirnov y Shapiro-Wilk), a lo largo de la Tesis Doctoral se utiliza estadística no paramétrica (test de Wilcoxon para comparar medianas y correlación de Spearman para analizar las interacciones entre las diferentes variables). Para agrupar los distintos ítems de los test de emociones y del valor se realizan análisis factoriales. Estos análisis estadísticos se realizan con los programas SPSS (IBM software) y Kaleidagraph (Synergy software).



**Figura 0.4.** Resumen de los instrumentos empleados (en verde) y los análisis y prácticas implementadas (en amarillo) con muestras de maestros en formación inicial de la Universidad de Extremadura y de alumnos de 6º de Educación Primaria de Badajoz. En gris se indica el número de participantes en cada estudio (incluyendo el año académico en el caso de los maestros en formación inicial).

**Tabla 0.1.** Conjunto de los análisis realizados en esta investigación (capítulos 1-4 con muestras de maestros en formación inicial de la Universidad de Extremadura, capítulo 5 con muestras de alumnos de 6º de Educación Primaria de Badajoz). Para cada análisis, se indica el número de muestra (n) empleado.

<b>Capítulo (muestra)</b>	<b>Análisis</b>	<b>n</b>
<b>1</b>  <i>(maestros en formación inicial)</i>	Eficacia de la intervención diseñada para la enseñanza de Biología Celular	575
	Eficacia de la intervención diseñada para la enseñanza de Microbiología	415
	Eficacia de la intervención diseñada para la enseñanza de Biología Evolutiva	143
	Efecto del pretest en el nivel de conocimientos de Biología posteriores (nota del postest)	154
	Efecto de las intervenciones en el nivel de conocimientos de Biología Celular y Microbiología a largo plazo (nota del retest)	107
	Detección de concepciones alternativas de Biología Celular y Microbiología	154
	Analogías propuestas para la enseñanza de Ciencias Naturales en Educación Primaria	125
<b>2</b>  <i>(maestros en formación inicial)</i>	Validación del cuestionario autoinforme cuantitativo de emociones	718
	Emociones retrospectivas en clases expositivas y prácticas de Biología de Educación Secundaria. Análisis en función del género	160
	Discriminación de las emociones retrospectivas y anticipatorias ante la enseñanza práctica de Biología con un test autoinforme de emociones. . Análisis en función del género	160
	Asociación de las emociones retrospectivas en clases prácticas de Biología de Educación Secundaria y las emociones anticipatorias a la enseñanza práctica de Biología. Análisis en función del género	160
	Efecto de la intervención de Biología Celular sobre las emociones. Análisis en función del género	575
	Efecto de la intervención de Microbiología sobre las emociones. Análisis en función del género	415
	Efecto de la intervención de Biología Evolutiva sobre las emociones. Análisis en función del género	143
<b>3</b>  <i>(maestros en formación inicial)</i>	Interacciones entre las emociones retrospectivas en clases de Biología de Educación Secundaria y el aprendizaje de Biología de Educación Secundaria. Análisis en función del género	160
	Interacciones entre el nivel de conocimientos de Biología de Educación Secundaria y las emociones anticipatorias previas a la práctica activa de Biología Celular. Análisis en función del género	575
	Interacciones entre el nivel de conocimientos de Biología de Educación Secundaria y las emociones anticipatorias previas a la práctica activa de Microbiología. Análisis en función del género	415
	Interacciones entre el nivel de conocimientos de Biología de Educación Secundaria y las emociones anticipatorias previas a la práctica activa de Biología Evolutiva. Análisis en función del género	143
	Interacciones entre las emociones sentidas con la práctica activa de Biología Celular y el nivel de conocimientos de Biología posteriores a esta (nota del postest). Análisis en función del género	575
	Interacciones entre las emociones sentidas con la práctica activa de Microbiología y el nivel de conocimientos de Biología posteriores a esta (nota del postest). Análisis en función del género	415
	Interacciones entre las emociones sentidas con la práctica activa de Biología Evolutiva y el nivel de conocimientos de Biología posteriores a esta (nota del postest). Análisis en función del género	143



	Interacciones entre las emociones sentidas con las prácticas activas de Biología Celular y Microbiología y el nivel de conocimientos de Biología a largo plazo (nota del retest). Análisis en función del género	107
	Interacciones entre las emociones sentidas con la práctica activa de Biología Celular y el aprendizaje de Biología. Análisis en función del género	261
	Interacciones entre las emociones sentidas con la práctica activa de Microbiología y el aprendizaje de Biología. Análisis en función del género	415
	Interacciones entre las emociones sentidas con la práctica activa de Biología Evolutiva y el aprendizaje de Biología. Análisis en función del género	143
	Interacciones entre las emociones anticipatorias previas a la práctica activa de Biología Celular y el nivel de conocimientos de Biología posteriores a esta (nota del postest). Análisis en función del género	415
	Interacciones entre las emociones anticipatorias previas a la práctica activa de Microbiología y el nivel de conocimientos de Biología posteriores a esta (nota del postest). Análisis en función del género	415
	Interacciones entre las emociones anticipatorias previas a la práctica activa de Biología Evolutiva y el nivel de conocimientos de Biología posteriores a esta (nota del postest). Análisis en función del género	143
	Interacciones entre las emociones anticipatorias previas a las prácticas activas de Biología Celular y Microbiología y el nivel de conocimientos de Biología a largo plazo (nota del retest). Análisis en función del género	107
	Interacciones entre las emociones anticipatorias previas a la práctica activa de Biología Celular y el aprendizaje de Biología. Análisis en función del género	261
	Interacciones entre las emociones anticipatorias previas a la práctica activa de Microbiología y el aprendizaje de Biología. Análisis en función del género	415
	Interacciones entre las emociones anticipatorias previas a la práctica activa de Biología Evolutiva y el aprendizaje de Biología. Análisis en función del género	143
4 <i>(maestros en formación inicial)</i>	Valor subjetivo otorgado a la práctica activa de Biología Celular. Análisis en función del género	261
	Valor subjetivo otorgado a la práctica activa de Microbiología. Análisis en función del género	415
	Valor subjetivo otorgado a la práctica activa de Biología Evolutiva. Análisis en función del género	143
	Interacciones del valor otorgado a la práctica activa de Biología Celular con las emociones sentidas durante su implementación. Análisis en función del género	261
	Interacciones del valor otorgado a la práctica activa de Microbiología con las emociones sentidas durante su implementación. Análisis en función del género	415
	Interacciones del valor otorgado a la práctica activa de Biología Evolutiva con las emociones sentidas durante su implementación. Análisis en función del género	143
	Interacciones del valor otorgado a la práctica activa de Biología Celular con el nivel de conocimientos de Biología posteriores a esta (nota del postest) y el aprendizaje de Biología. Análisis en función del género	261
	Interacciones del valor otorgado a la práctica activa de Microbiología con el nivel de conocimientos de Biología posteriores a esta (nota del postest) y el aprendizaje de Biología. Análisis en función del género	415
	Interacciones del valor otorgado a la práctica activa de Biología Evolutiva con el nivel de conocimientos de Biología posteriores a esta (nota del postest) y el aprendizaje de Biología. Análisis en función del género	143
	Interés, utilidad y coste otorgados al uso de Matemáticas en Biología, e interacciones de estos constructos de valor con las emociones hacia esta integración Análisis en función del género	327

	Efecto de la práctica activa de Biología Evolutiva en el interés, la utilidad y el coste hacia el uso integrado de Matemáticas y Biología. Análisis en función del género	143
	Efecto de la práctica activa de Biología Celular en el interés, la utilidad y el coste hacia el uso integrado de Química y Biología. Análisis en función del género	112
	Interacciones del interés, la utilidad y el coste otorgados tras la práctica activa de Biología Evolutiva con las emociones sentidas con su implementación. Análisis en función del género	143
	Interacciones del interés, la utilidad y el coste otorgados tras la práctica activa de Biología Celular con las emociones sentidas con su implementación. Análisis en función del género	112
	Interacciones del interés, la utilidad y el coste otorgados tras la práctica activa de Biología Evolutiva con el nivel de conocimientos de Biología posteriores a esta (nota del postest) y el aprendizaje de Biología. Análisis en función del género	143
	Interacciones del interés, la utilidad y el coste otorgados tras la práctica activa de Biología Celular con el nivel de conocimientos de Biología posteriores a esta (nota del postest) y el aprendizaje de Biología. Análisis en función del género	112
5 <i>(alumnos de Educación Primaria)</i>	Recuerdo de conceptos básicos de Biología impartidos en Educación Primaria	444
	Emociones retrospectivas en clases expositivas y prácticas de Ciencias Naturales de Educación Primaria. Análisis en función del género	444
	Valor subjetivo otorgado a la Biología. Análisis en función del género	444
	Interacciones entre las emociones retrospectivas en clases de Ciencias Naturales de Educación Primaria, el grado de recuerdo de conceptos de Biología y el valor subjetivo otorgado a la Biología. Análisis en función del género	444
	Detección de concepciones alternativas de Microbiología	296
	Eficacia de la intervención diseñada para la enseñanza de Microbiología	296
	Efecto de la intervención de Microbiología sobre las emociones. Análisis en función del género	296
	Valor subjetivo otorgado a la Microbiología tras la intervención. Análisis en función del género	296
	Interacciones entre las emociones sentidas con la intervención de Microbiología, el nivel de conocimientos de Biología posteriores a esta (nota del postest), el aprendizaje de Biología y el valor subjetivo otorgado a la Microbiología. Análisis en función del género	296

**CAPÍTULO 1. PRÁCTICAS ACTIVAS DE BIOLOGÍA Y  
SU EFECTIVIDAD EN EL APRENDIZAJE DE LAS  
CIENCIAS DE MAESTROS EN FORMACIÓN INICIAL**



## **1.1 Introducción**

La enseñanza práctica activa constituye uno de los pilares esenciales de la enseñanza actual de las ciencias. Por tanto, es necesario abordarla durante los procesos de formación inicial del profesorado. En este capítulo se exponen tres prácticas activas, diseñadas en la presente Tesis Doctoral, para la enseñanza de conceptos científicos a maestros en formación inicial; así como los resultados de su implementación con muestras de estudiantes del Grado en Educación Primaria de la Universidad de Extremadura. Estas prácticas se basan en el uso de dos metodologías didácticas (la investigación dirigida y las analogías), a la vez que tratan la importancia de abordar la interdisciplinariedad, las concepciones alternativas y las interacciones entre Ciencia, Tecnología y Sociedad. En base a esto, en primer lugar se recogen los resultados de investigaciones previas relativas a estos aspectos anteriormente mencionados. Posteriormente se detallan pormenorizadamente las intervenciones diseñadas, a la vez que se recogen los aspectos metodológicos precisos para determinar su efectividad respecto al aprendizaje de conceptos científicos (muestra, instrumentos y análisis de datos). Finalmente, se incluyen los resultados de estos análisis, así como su discusión y sus implicaciones en la formación inicial de maestros.

### **1.1.1 La investigación dirigida como metodología para el desarrollo de prácticas activas de ciencias**

Los trabajos prácticos en el área de ciencias mejoran las actitudes y el interés de los alumnos, a la vez que los motivan a aprender ciencias (Hofstein y Lunetta, 2004). Además, favorecen un conocimiento vivencial de los conceptos científicos, ayudan a la comprensión de los fenómenos naturales y permiten el desarrollo de numerosas habilidades relacionadas con la metodología científica (Caamaño, 2014). Sin embargo, a pesar de su importancia para la enseñanza de las ciencias, los maestros en ejercicio reconocen que realizan pocas actividades prácticas de Ciencias Naturales (García-Barros y Martínez-Losada, 2001). Por otro lado, los resultados de las prácticas de laboratorio que habitualmente se realizan en colegios, institutos y facultades, basadas en seguir paso a paso una serie de instrucciones cerradas proporcionadas previamente por el profesor en un protocolo; no son satisfactorios (Carrascosa *et al.*, 2006; Hodson, 1994; Reigosa y Jiménez, 2000). Estas prácticas tradicionales generan poca motivación, favorecen un número muy limitado de competencias en el alumnado, contribuyen a extender una visión distorsionada y empobrecida de la actividad científica (Carrascosa *et al.*, 2006) e inhiben el aprendizaje de las ciencias (Abrahams y Millar, 2008; Hofstein y Lunetta, 2004). Según estos autores porque la mayoría de estas actividades prácticas tradicionales plantean a los alumnos seguir “ritualmente” listas de tareas, de tipo “receta de cocina”. Estos autores defienden que

utilizar correctamente el laboratorio es especialmente importante en la era actual, en la cual la investigación ha resurgido como un enfoque central en la enseñanza de las ciencias.

Ante esta situación, la enseñanza constructivista propone desarrollar prácticas activas que sigan un enfoque investigativo, a través de la implementación del modelo didáctico de enseñanza mediante investigación dirigida (también llamada indagación guiada). Este modelo didáctico defiende que para provocar cambios conceptuales, metodológicos y actitudinales profundos en los alumnos es necesario considerar a estos como investigadores nóveles, situándolos en contextos similares a los que vive un científico. Esto debe realizarse siempre bajo la dirección del profesor, considerado como un director de investigaciones (Gil y Valdés, 1996). La eficacia de este modelo ha sido descrita en diferentes investigaciones previas (Gormally *et al.*, 2009; Luckie *et al.*, 2004; Schneider *et al.*, 2002; Von Secker y Lissitz, 1999), que han mostrado que las actividades experimentales concebidas como pequeñas investigaciones: i) proporcionan mejores situaciones de aprendizaje y el mismo tiene un efecto duradero (Derting y Ebert-May, 2010; Kogan y Laursen, 2014), ii) favorecen un mejor rendimiento académico en comparación con las sesiones expositivas (Freeman *et al.*, 2014; Wieman, 2014), iii) aumentan la atención del estudiante en clase y su compromiso con las materias (Deslauriers *et al.*, 2011), iv) en el plano afectivo, tienen un efecto positivo en la motivación de los alumnos ya que generan, respecto a la expectativa inicial de los alumnos, una mayor frecuencia de emociones positivas y una disminución en la frecuencia de las negativas (Dávila *et al.*, 2015; Retana-Alvarado *et al.*, 2018), y v) reducen la diferencia entre los alumnos con niveles formativos dispares (Dolan y Collins, 2015; Freeman *et al.*, 2014; Haak *et al.*, 2011).

Así, la investigación dirigida es considerada actualmente una valiosa herramienta didáctica en todos los niveles educativos; especialmente en la formación inicial de los docentes (Chernicoff y Echevarría, 2012), donde también se han hallado indicios de su efectividad en relación al aprendizaje de conceptos científicos (Ann y Zembal-Saul, 2004; Crawford *et al.*, 2005).

Las secuencias de enseñanza-aprendizaje bajo este modelo didáctico se basan en el planteamiento y resolución de problemas, consistentes en situaciones abiertas que exigen al alumno la búsqueda de respuestas mediante pequeñas investigaciones bajo la supervisión del profesor (Abd-El-Khalick *et al.*, 2004; Caamaño, 2014; Chinn y Malhotra, 2002; Garritz, 2010). Para fomentar la participación de los alumnos es necesario que los problemas planteados estén relacionados con la cotidianidad (Pozuelos, 2001) y con los intereses del alumnado (Carrascosa *et al.*, 2006; Luce y Hsi, 2015). Además, los problemas planteados 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 guiar a sus alumnos y ayudarlos a avanzar en sus conocimientos (Pozo y Gómez, 2013). El profesor debe orientar la investigación de los

alumnos y reforzar, ampliar, matizar y/o cuestionar las conclusiones obtenidas por los mismos (Buck *et al.*, 2008; Pozo y Gómez, 2013). Además, debe fomentar la comunicación y el diálogo entre los alumnos y entre estos y él mismo, poniendo así énfasis en el carácter social de este tipo de enseñanza. Este carácter social es especialmente relevante, dado que se ha comprobado que el aprendizaje social es más eficiente que el aprendizaje individual, ya que favorece la memoria a largo plazo (Edelson *et al.*, 2011) y mejora la comprensión (Smith *et al.*, 2009b). Para favorecer la interacción entre los alumnos se recomienda el trabajo en pequeños grupos (de un máximo de 4 alumnos), potenciando así la dimensión colectiva y cooperativa del trabajo científico. Otro aspecto importante para mejorar los resultados de las actividades prácticas es solicitar a los alumnos una recapitulación de los aspectos más destacados del trabajo realizado. En este sentido, es necesario potenciar la elaboración de memorias que reflejen el trabajo realizado en estas sesiones, a modo de informes científicos. Además, autores como Moskowitz y Kellogg (2011) defienden que realizar informes científicos vincula y engancha más al alumno con la asignatura.

Implementar sesiones de enseñanza-aprendizaje a través de investigación dirigida requiere un alto nivel de exigencia para el profesorado, que debe cambiar su forma de concebir los métodos de enseñanza y su gestión del aula respecto a una lección expositiva o una actividad práctica tradicional. Por ello, la implementación de la investigación dirigida en las aulas de Educación Primaria es escasa (Osborne y Dillon, 2008). Además, la aplicación de este modelo didáctico no suele verse favorecida por la estructura organizativa de los centros y por su tradición educativa (Pozo y Gómez, 2013); suele estar inhibida por limitaciones en los recursos, así como por la falta de tiempo suficiente para que los docentes se formen y desarrollen este tipo de actividades (Hofstein y Lunetta, 2004); y la gestión de los grupos y la atención a la diversidad de los mismos también pueden ser problemáticas para algunos docentes. Wallace y Brooks (2015) afirman que el profesor de Educación Primaria tiene que tener seguridad en las actividades que lleva a cabo en el aula, para poder aplicar un enfoque constructivista así como integrar la actividad con otros aspectos de la formación de sus alumnos (autonomía, trabajo en equipo, colaboración...). De este modo, es necesaria una formación específica del profesorado en la adquisición de estrategias para el desarrollo de actividades prácticas activas (García *et al.*, 1995). Ante estas limitaciones, es necesario desarrollar prácticas activas diseñadas bajo el modelo didáctico de enseñanza mediante investigación dirigida, basadas en sólidos fundamentos científicos y que requieran pocos recursos materiales; así como implementar estas en los procesos de formación inicial del profesorado.

### **1.1.2 Las analogías como recurso didáctico en la enseñanza de las ciencias**

Las analogías, comparaciones entre dominios de conocimiento que mantienen una cierta relación de semejanza entre sí, ayudan a los estudiantes a entender los fenómenos naturales mediante la comparación de un concepto científico (denominado diana o blanco) con un objeto o evento familiar (llamado análogo), que es conocido y bien comprendido por los alumnos (Coll, 2015). Las analogías constituyen una valiosa herramienta pedagógica (Harrison y Treagust, 2006; Oliva *et al.*, 2001), ya que permiten la visualización de conceptos científicos que son, en su mayoría, abstractos; hacen que la información nueva sea más concreta y fácil de imaginar (Aubusson *et al.*, 2005), y permiten que el docente promueva la interdisciplinariedad (Richland y Simms, 2015), ya que los conceptos relacionados pueden pertenecer a diferentes áreas.

De acuerdo con Phillips (2014), la capacidad de pensamiento analógico es una forma de optimización de los recursos cognitivos, ya que permite a los seres humanos la construcción de estructuras conceptuales desconocidas mediante la utilización de estructuras de conocimiento ya elaboradas. Así, el pensamiento analógico es una práctica sofisticada de razonamiento que fortalece la estructura mental (Marcelos y Nagem, 2012) y que sirve para promover el aprendizaje conceptual flexible en lugar de la memorización (Richland *et al.*, 2007; Richland y Simms 2015). En definitiva, como afirman Abusson *et al.* (2005), las analogías ofrecen “*un modo de pensamiento diferente con el que reforzar la enseñanza de las ciencias, la formación del profesorado y su desempeño profesional*” (p. 8).

La efectividad de las analogías en el proceso de enseñanza-aprendizaje depende de sus características y del tipo de implementación de la misma. Según Oliva *et al.* (2001), el análogo utilizado tiene que ser más accesible que el concepto científico objeto de estudio y debe referirse a una situación cotidiana, ya que la referencia a temas familiares ayuda a dividir los conceptos en unidades comprensibles para los estudiantes. Se ha demostrado que los estudiantes a menudo no se benefician de las analogías cuando el análogo no es tan familiar como pensaban los docentes que lo implementaron (Marcelos y Nagem, 2012). También debe ser concreto y específico, capaz de ser representado a través de una imagen o de algo que sea tangible. Además, la semejanza entre el análogo y el fenómeno que se compara no debe ser ni demasiado grande (las semejanzas muy grandes no resultan estimulantes para el alumnado) ni demasiado pequeña (ya que los alumnos pueden tener dificultades a la hora de encontrar las similitudes). Finalmente, los análogos no deben estar relacionados con concepciones alternativas y actitudes negativas o poco favorables, a fin de evitar la transferencia de dichas concepciones o actitudes a través de la analogía.



Otro aspecto relevante a tener en cuenta es cómo se implementan las analogías en el aula. Mayoritariamente estas suelen presentarse, mediante modelos didácticos de transmisión-recepción, como productos ya acabados que los alumnos deben asimilar y entender en la dirección pretendida por el docente (Oliva *et al.*, 2007). Las analogías, así implementadas, han resultado ineficaces en el aprendizaje de las ciencias (Brown y Salter, 2010; Richland y Simms 2015). La implementación de una analogía eficaz requiere la creación de un modelo para la transformación del conocimiento sobre un fenómeno cotidiano en conocimiento para la enseñanza de un concepto científico. “*Teaching With Analogies*” ha sido ampliamente descrito como un modelo apropiado para presentar sistemáticamente analogías en la enseñanza de las ciencias (Glynn, 1991). Según este modelo, los pasos a seguir para enseñar ciencias mediante analogías son:

1. Presentar el concepto científico a aprender (no familiar).
2. Presentar a los estudiantes la situación análoga, que debe ser familiar para estos y lo suficientemente novedosa como para captar su interés.
3. Identificar las características relevantes (fácticas y no engañosas) del concepto diana y del análogo.
4. Trazar las similitudes entre el blanco y el análogo, realizando extrapolaciones correctas basadas en la comprensión por parte de los alumnos del dominio familiar.
5. Indicar dónde se rompe la analogía presentada, presentando sus limitaciones o diferencias entre el blanco y el análogo.
6. Concluir sobre el concepto científico.

En este sentido, Oliva *et al.* (2001, p. 457) defienden que, coherentemente con el planteamiento constructivista, el docente debe plantear la analogía “*no como un producto prefabricado que ha de ser aprendido, sino como un proceso en el que los alumnos puedan y deban aportar sus opiniones, tomar decisiones y, en definitiva, contribuir abiertamente en su construcción*”. Una manera de ello es concebir la analogía como algo que se genera a través de actividades de distinto tipo a realizar por los alumnos, como actividades de aplicación de la analogía para la resolución de problemas.

Cuando una analogía es apropiada y se implementa según el modelo constructivista, puede fomentar el aprendizaje significativo y evitar el desarrollo de ideas erróneas (Glynn, 2008), ya que alienta a los estudiantes a construir vínculos entre el conocimiento familiar y las experiencias pasadas y los nuevos contextos y problemas planteados. Diferentes estudios previos han indicado que las analogías son un recurso efectivo para la enseñanza de distintos conceptos biológicos (Bean *et al.*, 1990; Rothhaar *et al.*, 2006; Srivastava y Ramada, 2013), también con maestros en formación inicial (Paris y Glynn, 2004). Así, el uso de analogías se ha

recomendado para hacer de ciertas disciplinas científicas, como la Biología Evolutiva, materias más accesibles para los alumnos (Hertweck, 2014).

A pesar de que las analogías pueden ser una herramienta didáctica eficaz, la investigación ha revelado una escasa implementación correcta de las mismas en el aula. Durante su ejercicio profesional, la mayoría de los docentes usa pocas analogías, emplea analogías muy simples, confunde las analogías con los ejemplos (Mastrilli, 1997; Ordóñez *et al.*, 2013; Treagust *et al.*, 1992) o plantea analogías incorrectas que dificultan el aprendizaje y generan errores conceptuales (Glynn, 2008). Respecto al uso de analogías por docentes en formación inicial, existen pocos estudios previos (Baysen y Baysen, 2013; Davis y Petish, 2005; Nottis y McFarland, 2001; Yerrick *et al.*, 2003) que apuntan a errores en la construcción de analogías por parte de estos, constituyendo una línea de investigación aún por explorar. Dada esta situación, sería recomendable incluir, en los procesos de formación inicial del profesorado, secuencias de enseñanza-aprendizaje con las que abordar las analogías como herramientas en la enseñanza de las ciencias (Aubusson *et al.*, 2005); por ejemplo empleándolas como recurso en la enseñanza de conceptos concretos de ciencias incluidos en su programa formativo.

### **1.1.3 Tratamiento de la interdisciplinariedad y de las interacciones Ciencia, Tecnología y Sociedad en la enseñanza de las ciencias**

La ciencia trata de explicar el mundo que nos rodea y, para ello, se divide en distintas disciplinas y subdisciplinas científicas. En el sistema educativo actual predomina esta visión reduccionista, en la que cada disciplina explica solo los contenidos que le competen, adoleciendo de ejemplos de actividades interdisciplinares en las que se integren conocimientos diversos y con las que se desarrolle una perspectiva global o sistémica (Brewer y Smith, 2011; Milare y Alves Filho, 2008; Stone, 2014). Esta perspectiva sistémica es fundamental, ya que los principales problemas a los que se enfrenta la sociedad actual no pueden ser resueltos por disciplinas independientes (McCright *et al.*, 2013). Uno de los principales retos educativos actuales es la integración de los aspectos de Ciencia, Tecnología y Sociedad (CTS). La introducción de estas interrelaciones en las clases de las ciencias requiere de un conocimiento científico transversal, que engloba desde los fundamentos científicos experimentales hasta los recientes desarrollos tecnológicos y su impacto social (Gutlerner, 2015). Por ello, es necesario que la enseñanza de las ciencias adopte un nuevo enfoque más integrador, que ofrezca a los estudiantes experiencias en las que sea necesaria la aplicación de principios interdisciplinares y que vincule estos con problemas del mundo real (Labov *et al.*, 2010). Así, la enseñanza de las ciencias debe avanzar hacia perspectivas que permitan que el alumnado perciba el beneficio y la utilidad que les proporciona la ciencia. Hulleman y Harackiewicz (2009) indican que realizar actividades en las que se resalta la aplicabilidad de los contenidos teóricos y en las que se

conectan estos con problemas reales del entorno de los alumnos, mejora su rendimiento; en particular de aquellos con menos expectativas. Esta enseñanza es más efectiva si se hace partícipe al alumno, de forma activa, en la búsqueda de posibles soluciones (Membiela, 2005, Serrano *et al.*, 2016), a través de la implementación de diferentes innovaciones educativas que se alejen de los modelos transmisivos tradicionales. La investigación dirigida es una de estas metodologías que favorece el tratamiento de las interacciones CTS (Carrascosa *et al.*, 2006).

Una de las prioridades actuales de la enseñanza de las ciencias es preparar a los alumnos como ciudadanos responsables, que tienen que tomar decisiones en asuntos relacionados con la ciencia y la tecnología en la sociedad actual (Real Decreto 126/2014, de 28 de febrero, por el que se establece el currículo básico de Educación Primaria; Decreto 103/2014, de 10 de junio, por el que se establece el currículo de Educación Primaria para la Comunidad Autónoma de Extremadura; Membiela, 2005; *Next Generation Science Standards Lead States*, 2013; Prieto *et al.*, 2012; Timmis *et al.*, 2019). Los alumnos, futuros ciudadanos, deben estar preparados para enfrentarse a distintas controversias socio-científicas presentes en su entorno, para lo cual es necesaria una sólida alfabetización científica y una perspectiva sistémica. Temas como el cambio climático, la contaminación, las nuevas epidemias, las pseudociencias o la Biotecnología permiten a los docentes enseñar a los estudiantes a integrar principios científicos con sus implicaciones éticas y sociales. Estas experiencias constituyen al mismo tiempo una oportunidad para integrar educación e investigación, ya que frecuentemente no se contempla una única solución a los problemas planteados (Van Hecke *et al.*, 2002). Esta situación posibilita la inclusión de la investigación dirigida como enfoque para el desarrollo de las actividades en las que se aborden estos temas.

El currículo de Educación Primaria, en su área de Ciencias de la Naturaleza, recoge esta necesidad de integrar las diferentes disciplinas científicas de manera que el alumnado tome conciencia del estrecho vínculo entre Ciencia, Tecnología y Sociedad (Real Decreto 126/2014, de 28 de febrero, por el que se establece el currículo básico de Educación Primaria); explicitando la necesidad de “*desarrollar una visión integral y holística de la naturaleza*” y de “*proporcionar a todos los alumnos 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*” (Decreto 103/2014, de 10 de junio, por el que se establece el currículo de Educación Primaria para la Comunidad Autónoma de Extremadura, pp. 18984). Para que esto sea transmitido de manera adecuada en las aulas es fundamental que los docentes, tanto en ejercicio como en formación inicial, comprendan la importancia de la interacción entre las diferentes ciencias, a la vez que sepan plantear proyectos interdisciplinares y sean capaces de comunicarlos de manera efectiva. Esta competencia es particularmente importante en los maestros de Educación Primaria, ya que es en esta etapa educativa cuando las materias

comienzan a separarse y se alejan de una visión global de la ciencia. Por otro lado, cuando los maestros deben formar a sus alumnos para que sean capaces de desenvolverse en una sociedad que avanza rápidamente en conocimiento científico y tecnológico, la dificultad de su enseñanza es aún mayor, ya que la ciencia moderna incluye avances tecnológicos muy recientes que están transformando la sociedad mediante el desarrollo de nuevas técnicas y procesos en diversos campos (como en la Biotecnología con el análisis forense, la producción de alimentos, el diagnóstico de enfermedades, el desarrollo de nuevas fuentes de energía o la creación de nuevos perfiles profesionales). Este avance permanente hace que el profesorado de Educación Primaria tenga una formación limitada sobre la aplicación del conocimiento científico a la tecnología. Como consecuencia, algunos profesores se sienten inseguros, faltos de material y preocupados por la frustración del alumno a la hora de comprender ciertas disciplinas, como la Biotecnología (Borgerding *et al.*, 2013; Fonseca *et al.*, 2012). Esta circunstancia puede influir negativamente en el rendimiento educativo de los alumnos y deteriorar el bienestar emocional en el aula (Lucariello *et al.*, 2016). Por todo ello, es necesario formar a los futuros maestros en la introducción de la interdisciplinariedad y de las interrelaciones CTS en la enseñanza de las ciencias.

#### **1.1.4 Concepciones alternativas de Biología Celular y Microbiología: papel de los docentes en su transmisión**

El alumnado de los distintos niveles educativos posee un conocimiento previo fruto de su experiencia personal y social. En ocasiones, este conocimiento es erróneo, mostrando ideas o concepciones alternativas. La investigación en Didáctica de las Ciencias Experimentales comenzó a estudiar las concepciones alternativas de los alumnos motivada, en gran parte, por la recomendación de Ausubel *et al.* (1978). Estos autores defendieron la importancia de detectar los conocimientos previos del sujeto que aprende como punto de partida para los procesos de instrucción ya que, desde el enfoque constructivista, el aprendizaje se concibe como un proceso de construcción de nuevos conocimientos a partir de los conocimientos previos; más que como una simple asimilación de contenidos. De este modo, diagnosticar las concepciones alternativas de los alumnos sobre los temas que se van a trabajar en el aula, e interpretar su origen y naturaleza, constituye el punto de partida que permite al profesor ayudar al alumno a promover cambios en su estructura conceptual. Este proceso es básico para el aprendizaje de los alumnos, entendiendo el mismo como una reconstrucción de su conocimiento. Como consecuencia de esto, el papel del profesor no es el del tradicional transmisor de contenidos científicos, sino el de facilitador y guía en dicho proceso de reconstrucción del conocimiento, mediante el diseño y puesta en práctica de secuencias de enseñanza-aprendizaje que parten de la detección y corrección de las concepciones alternativas.

Desde la década de los ochenta se han realizado numerosas investigaciones sobre las concepciones alternativas de los alumnos ante numerosos conceptos científicos y fenómenos naturales, así como sus causas y principales características (Aramburu, 2004; Carrascosa, 2005; Chi, 2005; Driver, 1988; Furió, 1996; Flores y Ruiz, 2011; Oliva, 1999; Pozo, 1996; Prieto y Blanco, 1997; Roth, 2008). Las principales conclusiones de estos estudios señalan que las concepciones alternativas:

- Están asociadas a una determinada interpretación, diferente a la aceptada por la comunidad científica, de un concepto científico determinado.
- No suelen ser ideas aisladas sino que están relacionadas, presentando una cierta coherencia interna que las refuerza.
- Son comunes a estudiantes de diferentes edades y niveles educativos, género, cultura o nivel socio-cultural.
- Son muy resistentes al cambio y no se modifican fácilmente con estrategias de enseñanza convencionales. Se observa que, después de numerosos años de escolaridad, los alumnos continúan teniendo concepciones alternativas que no se corresponden con las concepciones científicamente aceptadas.
- En muchas ocasiones, coinciden con ideas vigentes a lo largo de la historia del pensamiento científico.
- Tienen su origen en la experiencia personal y social de los alumnos (incluyendo la influencia del lenguaje o los medios de comunicación como la televisión, la prensa, la radio, internet o las redes sociales), ya que son construcciones personales con las que el sujeto explica la realidad que conoce de un modo coherente con su entorno y con las experiencias que ha vivido.

Diversos estudios han señalado que los futuros maestros y los alumnos de Educación Secundaria tienen concepciones alternativas sobre contenidos relacionados con las áreas de Biología Celular y Microbiología. En relación a las concepciones alternativas sobre los contenidos de Biología Celular, algunas de las descritas en la bibliografía son:

- El desconocimiento de la célula como unidad funcional y estructural de todos los seres vivos. Muchos alumnos no consideran a los seres pluricelulares como entes formados por el conjunto de muchas células y, en otros casos, identifican las células como unidades independientes localizadas en lugares específicos del cuerpo (por ejemplo las neuronas o los glóbulos rojos), sin relacionarlas con las características más visibles de los seres vivos. Así, muchos alumnos carecen de una visión sistémica que identifique a las células como uno de los niveles de organización de los seres vivos pluricelulares (Caballer y Giménez, 1992; Camacho *et al.*, 2012; González-Weil y Harms, 2012; Storey, 1990).

- Falta de conocimiento de las estructuras celulares básicas (membrana plasmática, citoplasma, orgánulos, núcleo o pared) y del funcionamiento de las mismas. La visión de los alumnos de la célula se reduce, en la mayoría de los casos, a considerarla como una celda que carece de estructuras pero que está limitada con el exterior, una imagen similar a 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 eucariota (Caballero, 2008), quedando restringido al núcleo celular y obviando, por tanto, localizaciones extranucleares como las mitocondrias y los cloroplastos.
- Confusión sobre la presencia de los cloroplastos y las mitocondrias en las células vegetales, reconociendo a los primeros como estructuras propias de los vegetales y a las segundas, en contraposición, como estructuras exclusivas de los animales (García, 1991).
- Desconocimiento de la presencia de cromosomas en células vegetales y de que todas las células de un mismo organismo poseen la misma información genética, así como la situación de los cromosomas sexuales exclusivamente en los gametos (Banet y Ayuso, 1995).
- Falta de reconocimiento del ADN (ácido desoxirribonucleico) como atributo común de todos los seres vivos, sobre todo en grupos como bacterias y hongos (Shaw *et al.*, 2008)

Con respecto a las concepciones alternativas sobre Microbiología, algunas de las descritas en la bibliografía son:

- Falta de identificación de los microorganismos como seres vivos que realizan las funciones vitales de nutrición, relación y reproducción (Teodoro y Chambel, 2013).
- Reconocimiento de los virus como seres vivos (Jones *et al.*, 2013; Simonneaux, 2010).
- Confusión en relación al tamaño microscópico de los microorganismos, asemejando este al nivel atómico. Así, entre el alumnado está muy extendida la idea de que los microorganismos nunca pueden verse a simple vista, ni aunque se junten muchos (Teodoro y Chambel, 2013), lo cual evidencia un desconocimiento de los procesos de cultivo de microorganismos. Además, se relaciona el tamaño microscópico con una mayor simplicidad metabólica (Hilge, 2001).
- Identificación de todos los microorganismos como agentes patógenos (Jones y Rua, 2006; Rachman, 2004; Teodoro y Chambel, 2013).

- Desconocimiento de la diversidad de los microorganismos (bacterias, virus, protoctistas y hongos), asemejando de manera genérica el concepto de microorganismo al de bacteria (Teodoro y Chambel, 2013).
- Desconocimiento de la presencia de bacterias beneficiosas o inocuas en el cuerpo humano (Byrne, 2011; Teodoro y Chambel, 2013).
- Incapacidad para diferenciar los conceptos de esterilización y asepsia (Teodoro y Chambel, 2013) y confusión entre los métodos utilizados para conseguir estas condiciones.
- Falta de reconocimiento de la importancia de los microorganismos en procesos beneficiosos y útiles para los seres humanos, como las transformaciones alimentarias (Díaz *et al.*, 1996; Gardner y Jones, 2011; Simonneaux, 2010), o para el medio ambiente (Jones *et al.*, 2013), por ejemplo mediante su intervención clave en los ciclos biogeoquímicos.
- Identificación de los antibióticos como remedio común para tratar todas las enfermedades causadas por microorganismos, tanto bacterianas como víricas (Prout, 1985; Romine *et al.*, 2013; Teodoro y Chambel, 2013), asimilándolos con las vacunas (Jones y Rua, 2008).

Muchas de las concepciones alternativas relacionadas con distintos conceptos biológicos (como las anteriormente expuestas relativas a Biología Celular o Microbiología) no pueden haber sido originadas por las experiencias personales de los alumnos, sino que tienen su origen en una enseñanza inadecuada, influida por las concepciones alternativas de los docentes y/o por las presentes en los libros de texto y otros materiales educativos utilizados (Aguilar *et al.*, 2007; Carrascosa, 2005; Cho *et al.*, 1985; Flores y Ruiz, 2011; Kajander y Lovric, 2009; King, 2010; Owens, 2003). Esto ha sido corroborado por investigaciones previas que han señalado que las concepciones alternativas, sobre conceptos científicos, de los maestros son uno de los principales orígenes de las concepciones alternativas que presentan los alumnos sobre estos temas (Kikas, 2004; Schoon, 1995; Trundle *et al.*, 2002). Por tanto, los errores conceptuales pueden surgir en la enseñanza reglada, sobre todo los referentes a conceptos científicos complejos, en los que los docentes de Educación Primaria tienen formación superficial (Barke *et al.*, 2009). Así, la detección de concepciones alternativas sobre conceptos científicos, que presentan tanto los futuros maestros (estudiantes de los Grados en Educación Primaria) como los maestros en ejercicio, junto al desarrollo de programas formativos para tratar de erradicarlas, constituyen una línea de investigación muy relevante.

## **1.2. Objetivos**

El objetivo general del presente capítulo es diseñar tres intervenciones prácticas activas para la enseñanza de Biología a maestros en formación inicial, así como determinar su efectividad respecto al aprendizaje de las ciencias (objetivo general 1 de la Tesis Doctoral). Para ello se plantean los siguientes objetivos específicos con muestras de estudiantes del Grado en Educación Primaria de la Universidad de Extremadura:

- Objetivo específico 1.1. Determinar la efectividad de una intervención práctica activa, basada en la investigación dirigida, para la enseñanza de conceptos de Biología Celular, Física y Química.
- Objetivo específico 1.2. Determinar la efectividad de una intervención práctica activa, basada en la investigación dirigida, para la enseñanza de conceptos de Microbiología.
- Objetivo específico 1.3. Determinar la efectividad de una intervención práctica activa, basada en el uso de analogías, para la enseñanza de conceptos de Biología Evolutiva.
- Objetivo específico 1.4. Determinar el potencial efecto del pretest en el nivel de conocimientos de Biología posteriores a la implementación de las intervenciones (nota del postest).
- Objetivo específico 1.5. Determinar el efecto de las intervenciones diseñadas en el nivel de conocimientos de Biología a largo plazo.
- Objetivo específico 1.6. Detectar el grado de presencia de las concepciones alternativas más extendidas de Biología Celular y Microbiología en una submuestra de maestros en formación inicial.
- Objetivo específico 1.7. Describir y analizar las analogías propuestas por una submuestra de maestros en formación inicial para la enseñanza de una serie de conceptos de Ciencias Naturales en Educación Primaria.



## **1.3. Metodología**

Las intervenciones diseñadas (descritas pormenorizadamente en el próximo apartado) han sido implementadas durante 5 cursos académicos consecutivos (desde el 2014-2015 hasta el 2018-2019) con muestras de alumnos del Grado en Educación Primaria de la Universidad de Extremadura. Las intervenciones se han desarrollado progresivamente a lo largo del transcurso de la Tesis Doctoral, razón por la cual se han implementado en diferente número de ocasiones (tabla 1.1). Así, en primer lugar se desarrolló una práctica diseñada bajo investigación dirigida con la que abordar contenidos de Biología Celular, Física y Química (implementada durante 4 cursos académicos). Posteriormente, se diseñó una práctica basada en la investigación dirigida para la enseñanza de conceptos de Microbiología (implementada durante 3 cursos académicos). Finalmente, se desarrolló una actividad práctica para la enseñanza de conceptos evolutivos mediante el uso de analogías (implementada durante un curso académico).

### **1.3.1 Muestra**

Las intervenciones desarrolladas en la presente Tesis Doctoral se han implementado con una muestra no probabilística de futuros maestros, estudiantes del Grado en Educación Primaria de la Universidad de Extremadura, tanto de la Facultad de Educación (campus de Badajoz) como de la Facultad de Formación del Profesorado (campus de Cáceres). El análisis descriptivo de la muestra empleada en cada curso académico (número de participantes, género y acceso a los estudios de grado), así como las intervenciones implementadas en cada año, se recoge en la tabla 1.1.

Dichas intervenciones se han realizado como parte de los seminarios (prácticas de laboratorio) de la asignatura de Didáctica del Medio Físico y Seres Vivos (6 créditos ECTS), del tercer curso de dicho grado, en grupos de entre 20 y 25 alumnos y con una duración de unas 3 horas. Los estudiantes fueron informados de los objetivos de la investigación, del procedimiento a seguir y del carácter voluntario y anónimo de su participación. En cada año académico, los datos de los distintos grupos de estudiantes se agruparon en un único conjunto de datos, tras comprobar la ausencia de diferencias significativas entre ellos. La muestra no es aleatoria, ya que se han elegido los representantes de la población a los que se ha tenido acceso. Por tanto, los resultados no son extrapolables más allá del contexto local que representan: una muestra diversa de futuros maestros de Extremadura.

**Tabla 1.1.** Análisis descriptivo de las muestras de estudiantes del Grado en Educación Primaria de la Universidad de Extremadura participantes en la presente Tesis Doctoral. Por cada curso académico se incluye el número de alumnos participantes (n), su género y su modalidad de acceso a la Universidad.

<i>Año académico</i>	<i>n</i>	<i>Género (porcentaje mujeres)</i>	<i>Acceso a los estudios de grado</i>	<i>Intervenciones implementadas</i>
<i>Año académico 1 (2014/2015)</i>	160	63,75 %	57,8 % (Bachillerato de Ciencias Sociales) 31 % (Bachillerato de Ciencias) 2,6 % (Bachillerato de Artes) 6,6 % (Formación Profesional)	Práctica sobre Biología Celular (investigación dirigida)
<i>Año académico 2 (2015/2016)</i>	154	65,58 %	56,1 % (Bachillerato de Ciencias Sociales) 30,6 % (Bachillerato de Ciencias) 2,3 % (Bachillerato de Artes) 6,9 % (Formación Profesional)	Práctica sobre Biología Celular (investigación dirigida) Práctica sobre Microbiología (investigación dirigida)
<i>Año académico 3 (2016/2017)</i>	149	54,36 %	66,5 % (Bachillerato de Ciencias Sociales) 20,3 % (Bachillerato de Ciencias) 1,2 % (Bachillerato de Artes) 10,1 % (Formación Profesional)	Práctica sobre Biología Celular (investigación dirigida) Práctica sobre Microbiología (investigación dirigida)
<i>Año académico 4 (2017/2018)</i>	112	55,36 %	64,6 % (Bachillerato de Ciencias Sociales) 23 % (Bachillerato de Ciencias) 0,9 % (Bachillerato de Artes) 9,7 % (Formación Profesional)	Práctica sobre Biología Celular (investigación dirigida) Práctica sobre Microbiología (investigación dirigida)
<i>Año académico 5 (2018/2019)</i>	143	62,64 %	66,6 % (Bachillerato de Ciencias Sociales) 20,6 % (Bachillerato de Ciencias) 2,5 % (Bachillerato de Artes) 10,3 % (Formación Profesional)	Práctica sobre evolución (analogías)

## 1.3.2 Instrumentos y análisis de datos

### 1.3.2.1 Determinación de la eficacia de las intervenciones

Para determinar la eficacia de las intervenciones diseñadas, respecto al aprendizaje de los distintos contenidos científicos abordados en las mismas (objetivos específicos 1.1, 1.2 y 1.3), se han diseñado tres cuestionarios (anexos 1, 2 y 3) de preguntas cerradas de tipo test (uno para cada actividad práctica). Dichos cuestionarios han sido aplicados antes de cada intervención (pretest) y 15 días después de su realización (postest). La efectividad de las intervenciones se determina comparando el nivel de conocimientos de la muestra de alumnos antes (nota del pretest) y después (nota del postest) de las mismas. El postest se aplica en un corto periodo de tiempo para disminuir, a la hora de estimar la efectividad de las intervenciones, el efecto de otros factores como el aprendizaje autónomo de los participantes (debido al estudio de los

contenidos de la asignatura) y otros métodos de aprendizaje (como las clases teóricas de la asignatura).

Salvo en el año académico 1 (en el que se realizó un estudio prospectivo), la autoría de los cuestionarios se identifica con una clave anónima (formada por la inicial del nombre de la madre, la inicial del nombre del padre, los dos últimos números y la letra del DNI de cada participante) que permite emparejar el pretest y el postest de cada alumno (estudio longitudinal).

El procedimiento de elaboración y validación de estos instrumentos sigue los pasos indicados por Smith *et al.* (2008):

- En primer lugar, se realizó una revisión bibliográfica sobre concepciones alternativas relacionadas con las distintas áreas biológicas en las que incide cada intervención (Biología Celular, Microbiología y evolución) en Educación Secundaria Obligatoria (ESO) y en maestros en formación inicial. En base a dichas concepciones (recogidas en el apartado 1.2.4 del presente capítulo para Biología Celular y Microbiología y en el apartado 1.4.3 para evolución), se elaboraron algunas preguntas. La razón por la cual se emplean concepciones alternativas comunes entre alumnos de ESO es que esta etapa educativa es la última en la cual la mayoría de los participantes cursaron asignaturas de ciencias, debido a la modalidad de Bachillerato cursada (ver análisis descriptivo de la muestra, apartado 1.3.1).
- En segundo lugar, y teniendo en cuenta esta circunstancia, se seleccionaron los objetivos de aprendizaje de ESO que están relacionados con estas disciplinas biológicas. En base a ellos, se elaboraron algunas preguntas, a la vez que se extrajeron preguntas relacionadas del TIMSS (*Trends in International Mathematics and Science Study*) para 8º grado, 2º de ESO en el caso de España (Foy *et al.*, 2013).
- Finalmente, todas las preguntas fueron revisadas por profesores universitarios de Didáctica de las Ciencias Experimentales, expertos en las respectivas áreas.

Para determinar si la práctica activa diseñada para la enseñanza de conceptos de Biología Celular favorece el aprendizaje de contenidos de Física y Química (objetivo específico 1.1), el cuestionario empleado en la misma se modificó a lo largo de los años académicos en los que se ha implementado. De este modo, durante las dos primeras intervenciones (años académicos 1 y 2), el cuestionario se elaboró, siguiendo los pasos anteriormente descritos, para evaluar exclusivamente contenidos de Biología Celular (anexo 1). Mientras, en el cuestionario empleado en los cursos posteriores (años académicos 3 y 4), se introdujeron preguntas relativas a conceptos de Química y Física relacionados con la intervención (densidad, pH, solvatación, cargas eléctricas y su distribución en las moléculas), con el objetivo de evaluar si se producía un aprendizaje interdisciplinar (anexo 1). Para ello, con el objetivo de no alargar el cuestionario, se

suprimieron algunas preguntas relativas a conceptos biológicos; en concreto aquellas que fueron contestadas correctamente en el pretest en un porcentaje de muestra superior al 80 %, así como las que no mostraban una variación superior al 10 % entre pretest y postest (tomando como referencia los datos obtenidos en los dos cursos académicos previos).

Dado que los datos no se ajustan a una distribución normal ( $p$ -valor $<0,05$ , test de normalidad Kolmogoro-Smirnov y Shapiro-Wilk) se utiliza estadística no paramétrica (test de Wilcoxon para datos no apareados en el año académico 1 y para datos apareados en los años académicos 2, 3, 4 y 5). Las gráficas se realizan con el programa Kaleidagraph (Synergy software).

### **1.3.2.2 Determinación del efecto del pretest en la nota del postest**

Con el objetivo de conocer el efecto del pretest en el nivel de conocimientos posteriores (objetivo específico 1.4), estimados mediante el postest, durante el año académico 2 ( $n=154$ ) y en la implementación de la práctica activa diseñada para la enseñanza de conceptos de Biología Celular, Física y Química; cada grupo de alumnos fue dividido, al azar, en un subgrupo control (75 alumnos) que solo realiza el postest; y en un subgrupo experimental (79 alumnos) que realiza tanto el pretest como el postest. Dado que los datos no se ajustan a una distribución normal ( $p$ -valor $<0,05$ , test de normalidad Kolmogoro-Smirnov y Shapiro-Wilk), para comparar el efecto del pretest en la nota del postest, se compara la nota del postest del subgrupo control y del subgrupo experimental mediante el test de Wilcoxon (datos no apareados, ya que son diferentes individuos). Las gráficas se realizan con el programa Kaleidagraph (Synergy software).

### **1.3.2.3 Determinación del efecto de las intervenciones en el nivel de conocimientos de Biología a largo plazo**

Con el objetivo de determinar el efecto de las prácticas activas diseñadas en el nivel de conocimientos de Biología a largo plazo (objetivo específico 1.5), durante el año académico 2 (y con una submuestra de 107 alumnos), se aplicó un retest sobre algunos de los conceptos de Biología Celular y Microbiología abordados en las dos intervenciones diseñadas para la enseñanza de estos contenidos. Dicho retest (anexo 4) se aplicó entre 2 y 3 meses después de la realización del postest (periodo de tiempo que varía en función del grupo de alumnos y de la intervención), y contiene 13 preguntas (6 sobre Microbiología y 7 sobre Biología Celular). Para seleccionar las preguntas del retest se eliminaron aquellas preguntas, del postest, que fueron contestadas correctamente en el pretest por más del 80 % de los participantes, así como las que no mostraban una diferencia mayor del 10 % entre pretest y postest. Para determinar la efectividad de las intervenciones en el aprendizaje duradero se compara el nivel de conocimientos de la muestra de alumnos a los 15 días de la intervención (nota del postest, calculada teniendo en cuenta solo las preguntas seleccionadas para el retest) y a los 2-3 meses

de la realización del postest (nota del retest). Dado que los datos no se ajustan a una distribución normal ( $p$ -valor $<0,05$ , test de normalidad Kolmogoro-Smirnov y Shapiro-Wilk) se utiliza estadística no paramétrica (test de Wilcoxon para datos apareados). Las gráficas se realizan con el programa Kaleidagraph (Synergy software).

#### **1.3.2.4 Detección de concepciones alternativas de Biología Celular y Microbiología**

Según Carrascosa (2005), el cuestionario es el instrumento más utilizado cuando se conoce ya la existencia de determinadas concepciones alternativas y se desea estudiar su incidencia en un determinado colectivo en un momento dado. Por ello, para conocer el grado de presencia en la muestra de las concepciones alternativas descritas en la bibliografía sobre Biología Celular y Microbiología (objetivo específico 1.6); se analizan las respuestas dadas por la muestra en el pretest de las intervenciones diseñadas para la enseñanza de estos contenidos en el año académico 2 ( $n=154$ ). Para el análisis de los resultados, se ha establecido como criterio que una concepción alternativa está extendida en la muestra estudiada cuando más del 50 % de los alumnos contesta mal a la pregunta relacionada con dicha concepción.

#### **1.3.2.5 Análisis de las analogías propuestas para la enseñanza de conceptos de Ciencias Naturales en Educación Primaria**

Con el objetivo de examinar el uso de analogías en la enseñanza de Ciencias Naturales de los maestros en formación inicial (objetivo específico 1.7), se analizan las analogías propuestas para la enseñanza de una serie de conceptos científicos por parte de una submuestra de los futuros maestros participantes en el año académico 3 (125 participantes). Estos alumnos cumplieron un cuestionario de preguntas abiertas en el que se plantea: “Imagina que eres profesor de Ciencias Naturales en un centro de Educación Primaria. ¿Qué analogías emplearías para introducir y/o explicar los siguientes conceptos?”. Tras esto, se presenta un listado de 10 contenidos de Ciencias Naturales impartidos a lo largo de esta etapa (volcán, sonidos animales croar y balar, piara, aleta como órgano de locomoción de los peces, tubérculo, funcionamiento del corazón, funcionamiento del riñón, respuesta inmune, célula y transmisión del impulso nervioso).

Para el análisis de los resultados se ha empleado una modificación de las categorías seguidas por Ordoñez *et al.* (2013). Estos autores clasifican las analogías propuestas por maestros en ejercicio en dos categorías: analogías propuestas y ausencia de analogías. En la presente investigación, la categoría analogías propuestas se divide en analogías correctas y analogías incorrectas. Así, las propuestas de la muestra se clasifican en 3 categorías: analogías correctas (se menciona un análogo que presenta similitudes con las características del concepto diana o con alguna de ellas), analogías incorrectas (el análogo descrito no presenta características similares al blanco o no se emplea una analogía sino otro recurso didáctico basado en la

comparación como metáforas, símiles y ejemplos) y ausencia de analogía propuesta (no concreta o menciona ninguna analogía). Las propuestas de los alumnos fueron analizadas por tres profesores universitarios (Universidad de Extremadura), licenciados/graduados en Biología y con experiencia docente e investigadora en el área de Didáctica de la Ciencias Experimentales, quienes decidieron, por consenso, su inclusión en cada categoría.

## **1.4. Descripción de las intervenciones diseñadas**

### **1.4.1 Enseñanza de conceptos de Biología Celular, Química y Física a través de una práctica activa basada en la extracción de ADN con materiales cotidianos**

La extracción de ADN con material cotidiano es una actividad práctica muy atractiva que se realiza en numerosos eventos de divulgación científica, como la Noche de los Investigadores o la Semana de la Ciencia, y que forma parte de las prácticas de Biología realizadas en institutos y facultades. Habitualmente esta actividad se centra en mostrar la sencillez de uno de los métodos clave de la Biotecnología, así como en resaltar su importancia actual en servicios biotecnológicos, como el diagnóstico de enfermedades o el análisis forense. Se trata de una práctica interdisciplinar, ya que comprender por qué y cómo se puede extraer ADN de un organismo implica relacionar conceptos pertenecientes a Química, Física y Biología. Además, a través de la introducción de las técnicas de Ingeniería Genética y las aplicaciones biotecnológicas, esta práctica sirve como punto de partida para abordar con el alumnado las interacciones CTS. La extracción de ADN con materiales cotidianos permite, por tanto, poner en práctica conceptos básicos de Química, Física y Biología mostrando la naturaleza interdisciplinar de la ciencia, al mismo tiempo que constituye una oportunidad para transmitir de manera transversal el conocimiento científico, desde sus fundamentos científicos hasta los recientes desarrollos biotecnológicos, su impacto social y sus implicaciones éticas.

Sin embargo, no se suele explicar en detalle, ni se encuentra en la literatura, información sobre el fundamento biológico, químico y físico en el que se basa el procedimiento de extracción. Además, normalmente esta es realizada siguiendo un sencillo protocolo proporcionado por los docentes, por lo que se ejecuta sin apenas discutir sus fundamentos. Esto trae como consecuencia que la actividad sea interpretada más como una muestra de pericia que de educación científica. De este modo, se limita su eficacia potencial en el proceso de enseñanza-aprendizaje, ya que el alumno no aprecia la aplicación interdisciplinar de conceptos científicos clave. Por ello, en este apartado se diseña una intervención didáctica interdisciplinar con la que tratar, con maestros en formación inicial, tanto los fundamentos químicos, físicos y biológicos de la extracción de ADN con material cotidiano como las relaciones CTS, partiendo de las interacciones de la Biotecnología con la vida cotidiana de los alumnos. Para ello, en primer lugar, se detalla el procedimiento de extracción de ADN (materiales necesarios y pasos a seguir) y se identifican los conceptos físicos, químicos, biológicos y las interacciones CTS relacionadas con dicha actividad. Posteriormente, se describe una intervención didáctica desarrollada bajo investigación dirigida, para lo cual se ha seleccionado una sucesión de preguntas clave con las

que abordar progresivamente los conceptos químicos, físicos y biológicos necesarios para extraer ADN, y discutir las relaciones CTS relacionadas con dichos contenidos.

### 1.4.1.1 Desarrollo de una estrategia didáctica interdisciplinar a partir de los fundamentos científicos de la extracción de ADN

#### 1.4.1.1.1 Procedimiento de extracción de ADN

Aunque existen diferentes variantes del protocolo de extracción de ADN con materiales cotidianos, en este trabajo se recoge uno de los más sencillos y comúnmente utilizados (tabla 1.2). Un ejemplo de este protocolo de extracción puede encontrarse en el siguiente vídeo:

[https://www.youtube.com/watch?v=PkjtFM\\_UVxk](https://www.youtube.com/watch?v=PkjtFM_UVxk)

**Tabla 1.2.** Protocolo de extracción de ADN con materiales cotidianos.

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

#### 1.4.1.1.2 Fundamento científico de la extracción de ADN con material cotidiano

##### 1.4.1.1.2.1 Identificación de los conceptos del área de Biología

La actividad comienza con la selección y troceado de una muestra biológica, que puede ser un vegetal (como un tomate), un hongo (por ejemplo champiñones), una muestra animal (como la saliva humana) o bacteriana. Este paso sirve para recordar que el material hereditario, ADN, es



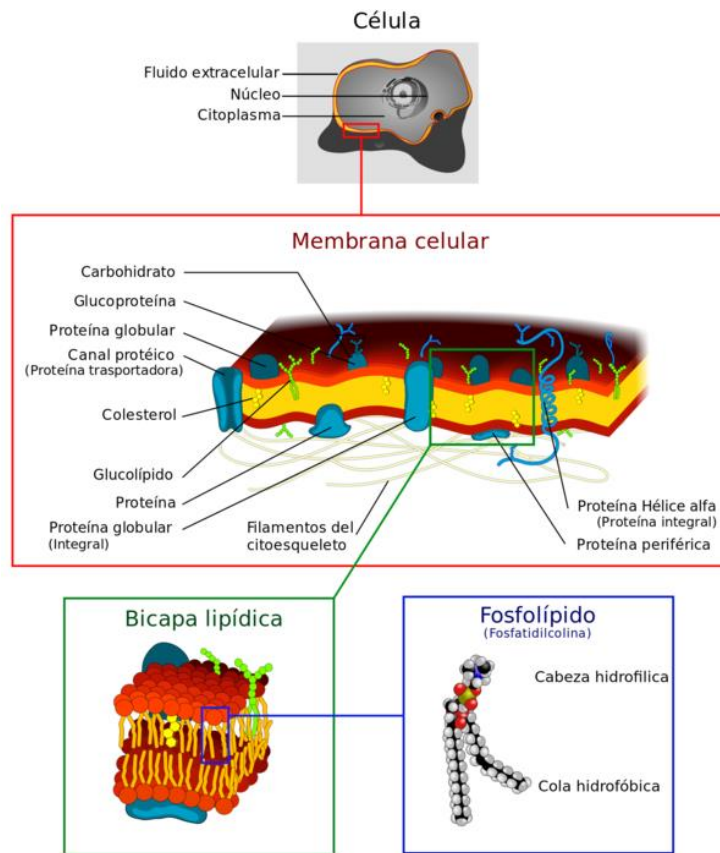
un atributo común a todos los seres vivos y a algunos agentes acelulares, como los virus. Esto permite abordar la diversidad de los seres vivos y sus niveles de organización (órgano –como el tomate completo–, tejidos –como los observados a partir del tomate en trozos– y células) e introducir el concepto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

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

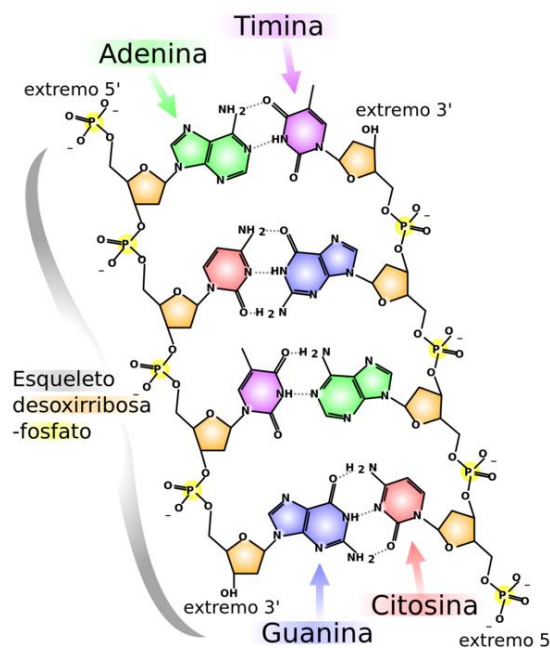
Las membranas biológicas, tanto la citoplasmática como las de los orgánulos celulares, están formadas fundamentalmente por lípidos que se organizan en forma de bicapa (figura 1.1) debido a su carácter anfipático, concepto químico que se aborda en el siguiente apartado. Esta característica grasa de las membranas hace que un detergente sea una sustancia adecuada para disgregarlas. La homogeneidad en la composición química de las membranas no se mantiene en las paredes celulares, aunque sí su carácter rígido. Así, diferentes organismos presentan distinto componente principal en sus paredes celulares: quitina en el caso de los hongos, peptidoglicano o mureína en las bacterias y celulosa con lignina en los vegetales.

Otros conceptos biológicos a desarrollar durante la práctica son dos aspectos muy relevantes de la molécula de ADN: su localización intracelular y su estructura. El ADN se encuentra localizado principalmente en el núcleo celular, pero, en los organismos eucariotas, también está en las mitocondrias de animales, plantas y hongos, y en los cloroplastos de las plantas. Estos tres compartimentos celulares también están delimitados por membranas grasas, por lo que se pueden disolver utilizando detergente. Respecto a su estructura, el ADN tiene carga neta negativa, debido a que los fosfatos, que forman parte de los nucleótidos que lo componen,

quedan dispuestos hacia el exterior de la doble hélice (figura 1.2). Conocer esta característica es esencial para comprender por qué el ADN es soluble en agua.



**Figura 1.1.** Estructura de la bicapa lipídica que constituye las membranas biológicas (Gu, 2015).



**Figura 1.2.** Estructura de la doble hélice de ADN. Los aniones fosfato quedan dispuestos hacia el exterior de la molécula, confiriéndole carga negativa (Richards, 2016).

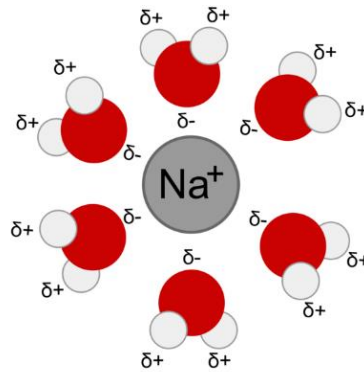
Finalmente, otro concepto biológico a comentar es el de enzima, o proteína que cataliza las reacciones químicas en los sistemas biológicos. La actividad enzimática es sensible a la temperatura y al pH, entre otros factores, por lo que ambos deben ser tenidos en cuenta en el proceso de extracción. Para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

#### ***1.4.1.1.2 Identificación de los conceptos del área de Química***

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

En la disolución de la sal el agua actúa como disolvente, formando una mezcla homogénea, ya que las moléculas polares que la forman establecen interacciones electrostáticas (a través de puentes de hidrógeno) unas con otras y con todas las moléculas cargadas o polares. Para explicar el concepto de disolución polar se puede recurrir a la disolución de cloruro sódico (NaCl) o sal común en agua. La sal es una red cristalina formada por átomos de  $\text{Cl}^-$  y  $\text{Na}^+$ , unidos mediante un enlace iónico (atracción electrostática entre los iones de distinto signo). El agua actúa sobre la sal estableciendo puentes de hidrógeno con el  $\text{Cl}^-$  y el  $\text{Na}^+$ , venciendo las fuerzas intermoleculares que los mantienen unidos e hidratándolos (figura 1.3). Lo mismo ocurre con el ADN, que forma puentes de hidrógeno con el agua a través de las cargas negativas de sus fosfatos. De esta manera, se puede comprender que el ADN y los iones  $\text{Cl}^-$  y  $\text{Na}^+$  permanecerán disueltos mientras estén interaccionado electrostáticamente con el agua, y dejarán de estar disueltos si, en lugar de interaccionar con el agua, lo hacen con los iones opuestos (el  $\text{Cl}^-$  con el  $\text{Na}^+$  y el ADN con elementos con carga positiva como el  $\text{Na}^+$ ), formado de nuevo una

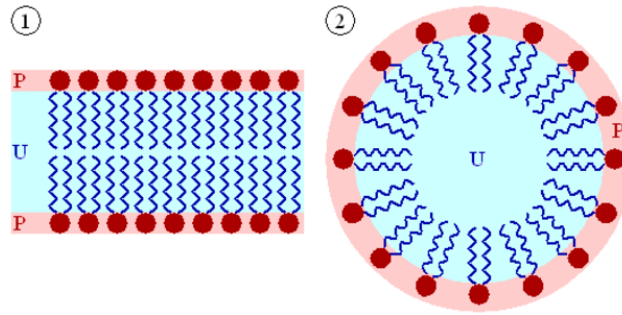
red cristalina. Este proceso es necesario para comprender por qué el ADN es soluble en agua y cómo, posteriormente, se altera su solubilidad al añadir alcohol.



**Figura 1.3.** Disolución polar de  $\text{Na}^+$  en agua. Cada catión  $\text{Na}^+$  queda rodeado de moléculas de agua debido a la ligera carga negativa de estas (Keall, 2008).

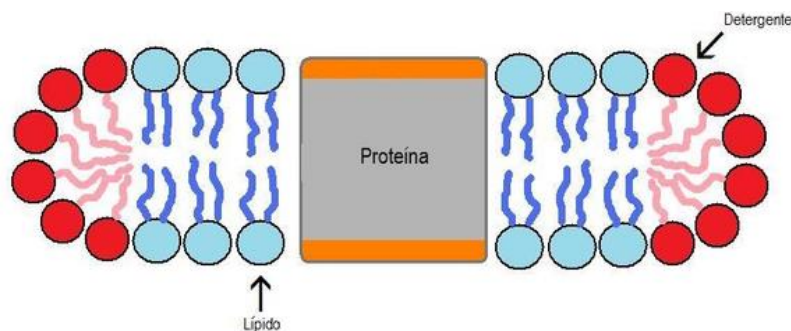
En la disolución de lisis, la sal común se encuentra en una concentración saturante (en exceso respecto al disolvente), lo que aumenta la fuerza iónica: debilita las interacciones iónicas entre biomoléculas (como entre el ADN y las proteínas asociadas a él) y aumenta las interacciones hidrofóbicas entre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

Continuando con el concepto de polaridad química, los fosfolípidos de las membranas celulares son el ejemplo de molécula anfipática más característico de los sistemas biológicos. Las moléculas anfipáticas en agua forman micelas o bicapas debido a la unión de sus partes apolares (hidrofóbicas) entre ellas y de sus partes polares con el agua (figura 1.4). Estas bicapas lipídicas constituyen la estructura básica de las membranas biológicas. El detergente lavavajillas, otro de los componentes de la disolución de lisis, también está formado por moléculas anfipáticas.



**Figura 1.4.** Estructuras formadas por moléculas anfipáticas en medio acuoso: bicapa (1) y micela (2). En ambos casos las regiones polares (P) se mantienen en contacto con el agua, mientras que las regiones apolares (U) contactan entre ellas (Gilbert, 2003).

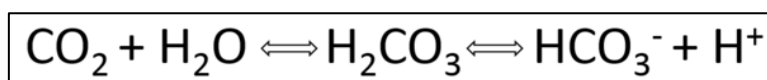
Esta característica le permite solubilizar la grasa a través de la formación de micelas: estructuras moleculares en las que las partes apolares de las moléculas de detergente interactúan con la grasa, disolviéndola y manteniéndola en suspensión, mientras que las partes polares interactúan con el agua. Cuando el detergente disuelve las membranas biológicas, se introduce entre los fosfolípidos de las membranas, rompiéndolas y formando micelas solubles (figura 1.5). Con esta explicación, se comprende cómo se lisan las membranas grasas y se liberan las biomoléculas, entre ellas el ADN.



**Figura 1.5.** Micela formada por el detergente al disolver los lípidos de una membrana biológica (Krcarras, 2008).

La disolución de lisis también contiene bicarbonato sódico. Para comprender su papel en el proceso de extracción de ADN es necesario abordar dos conceptos químicos clave: el concepto de pH y el concepto de *buffer*, tampón o amortiguador químico. El pH es la medida de la concentración de protones de una disolución acuosa, que determina el grado de acidez o alcalinidad de esta: las soluciones ácidas (pH=1-7) presentan una mayor concentración de protones que las básicas o alcalinas (pH=7-14). En las células, es muy importante mantener el pH dentro de un intervalo para preservar la estabilidad y funcionalidad de sus biomoléculas. Por esta razón, los líquidos fisiológicos contienen tampones que mantienen el pH constante ante la formación o adición de ácidos o bases. Los tampones son mezclas de un ácido débil (una sustancia que disocia protones pero no se ioniza por completo, como el ácido carbónico,  $H_2CO_3$ ) y su base conjugada (esta misma sustancia ionizada, como el anión bicarbonato,  $HCO_3^-$ ), que

permiten estabilizar el pH en valores próximos a su pKa (una medida de la constante de disociación del ácido). El pKa del H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> es 6.1 a temperatura fisiológica. Esta mezcla de H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> y HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> constituye el tampón bicarbonato sódico (figura 1.6), que juega un papel importante en el mantenimiento del pH de diferentes sistemas biológicos, desde los océanos a la sangre y otros fluidos fisiológicos. Así, en la práctica de extracción, el bicarbonato sódico actúa manteniendo el pH constante (pH=6.5, aproximadamente), evitando la degradación de las biomoléculas como el ADN. El intervalo de pH que regula un amortiguador depende de su cantidad (por eso se añade a la disolución de lisis bicarbonato sódico en exceso).



**Figura 1.6.** Disociación del ácido carbónico dando lugar al anión bicarbonato y un protón (derecha) y a dióxido de carbono y agua (izquierda).

#### ***1.4.1.1.2.3 Identificación de los conceptos del área de Física***

Un concepto clave en Física es el de densidad o cantidad de masa en un determinado volumen de sustancia. Cuando se juntan compuestos inmiscibles de diferentes densidades, los compuestos menos densos quedan encima de los más densos. Si los compuestos son miscibles, es necesario que no se mezclen al juntarlos, para que queden separados por densidades. Conocer esto permite entender por qué, al añadir el alcohol en la última fase del proceso de extracción, este queda por encima del caldo molecular. El alcohol es menos denso que el agua, por lo que si se añade alcohol con delicadeza sobre el agua para evitar que se mezclen, el alcohol se mantendrá flotando sobre el agua. Es muy importante dejar resbalar lentamente el alcohol por la cara interna del recipiente, para que quede en la superficie del agua y no se mezcle con ella, ya que ambos compuestos son miscibles. Además, en general, la densidad de una sustancia aumenta a medida que la temperatura disminuye. Así, el alcohol añadido debe estar frío (a -20 °C, temperatura de un congelador), ya que al contactar con el agua la enfriará, haciendo que ésta sea más densa y evitando, por tanto, que se mezclen el alcohol y el agua. Mencionar este fenómeno da pie a discutir una característica fundamental del agua para la biosfera: aunque su densidad aumenta a medida que desciende la temperatura hasta los 2-4 °C, su densidad disminuye a medida que la temperatura desciende hasta su punto de congelación (0 °C). Por esta razón el hielo flota sobre el agua líquida, permitiendo el desarrollo de la vida bajo ríos, lagos y mares con superficies heladas.

Otro concepto necesario para comprender el fundamento científico de la extracción de ADN es la clasificación de los fenómenos físico-químicos en función de si liberan o absorben energía. Así, aquellos procesos, generalmente espontáneos, en los que se libera energía en forma de luz o calor se denominan exotérmicos, como la combustión o la disolución de ácido sulfúrico en agua; mientras que en los procesos endotérmicos el sistema absorbe energía, como en la

fotosíntesis. Además, es preciso abordar cómo varía la solubilidad de los gases disueltos en líquidos en relación a la temperatura: conforme aumenta la temperatura disminuye la solubilidad de éstos. La formación de una red cristalina de sal y ADN, y su consiguiente precipitación, es un proceso exotérmico. El calor liberado hace que aumente ligeramente la temperatura, lo que resulta en una disminución de la solubilidad del oxígeno del agua y en la formación de burbujas. Estas burbujas se observan junto a los filamentos blancos en los que precipitan la sal y el ADN (en la zona en la que se produce la reacción exotérmica), haciendo que los filamentos de ADN floten.

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

El estudio del ADN es uno de los campos de la enseñanza en los que más se pueden resaltar las interacciones CTS, ya que las múltiples aplicaciones biotecnológicas y las técnicas de Ingeniería Genética están presentes en la vida diaria de los alumnos, fundamentalmente a través de los medios de comunicación. Así, son frecuentes noticias sobre alimentos transgénicos de mayor calidad nutrimental, plantas resistentes a plagas, enfermedades o a variaciones extremas en las condiciones ambientales (temperatura, salinidad o sequía); sobre diagnóstico prenatal, terapia génica, pruebas de paternidad, investigación forense, control de calidad alimentaria, generación de organismos modificados genéticamente para producir sustancias químicas (fármacos, vacunas o antibióticos) o que recuperen ambientes naturales contaminados... Además, abordar estos temas en el aula permite tratar algunas implicaciones éticas que conlleva el uso de estas técnicas, y que también llegan al entorno de los alumnos, como los límites de la clonación, la generación de embriones modificados genéticamente, la privacidad de la información genética o el aumento del control del mercado alimentario por las grandes multinacionales biotecnológicas.

#### **1.4.1.2 Diseño de una intervención activa interdisciplinar desarrollada bajo investigación dirigida y basada en la extracción de ADN con materiales cotidianos con maestros en formación inicial**

La intervención didáctica ha sido diseñada siguiendo una metodología de investigación dirigida. El profesor plantea varios problemas mediante la formulación de una serie de preguntas abiertas (tabla 1.3). Los alumnos resuelven dichos problemas a través de debates guiados por el docente y, como resultado, elaboran y ejecutan dos protocolos de extracción de ADN con muestras de origen vegetal y animal. El profesor conduce los debates planteando las preguntas necesarias (recogidas en la tabla 1.3) para que las respuestas proporcionen a los alumnos todos los conceptos científicos esenciales para comprender el fundamento científico de la práctica, así como para resaltar la importancia social del proceso de extracción de ADN y sus implicaciones éticas. Además, los dirige con el objetivo de potenciar la activación de los conocimientos previos, el aprendizaje entre iguales y la corrección de las posibles ideas alternativas. Los

alumnos, organizados en pequeños grupos de 2 a 4 alumnos, responden a las preguntas utilizando sus conocimientos previos y realizando búsquedas bibliográficas con sus dispositivos móviles. El docente reconduce las respuestas de los distintos grupos de alumnos (matizando, avalando, ampliando y/o cuestionando estas), hasta que la clase en su conjunto consensúa una respuesta para cada pregunta. Utilizando estas repuestas los alumnos establecen, mediante un nuevo debate guiado por el profesor, los pasos necesarios para ambos protocolos de extracción, que ejecutan por parejas (figura 1.7).

**Tabla 1.3.** Secuencia de problemas, actividades y debates planteados en relación con la práctica de extracción de ADN con materiales cotidianos. Cada problema se relaciona con un objetivo, con preguntas para conducir el debate y con algunos contenidos teóricos a tratar.

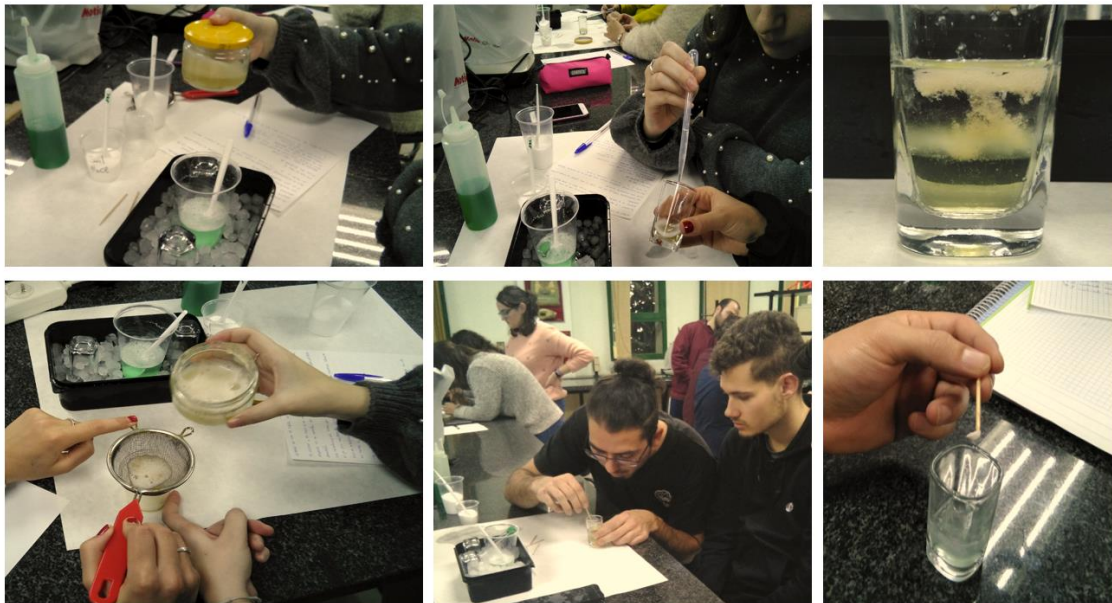
<b>Problema 1: ¿Puedo saber si la carne de una hamburguesa es de ternera, cerdo, pollo...?</b>	
<i>Objetivo</i>	Identificar al ADN como un atributo común de los seres vivos y específico de cada especie e individuo
<i>Posibles preguntas para el debate</i>	¿Quién o qué tiene ADN: las plantas, los animales,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



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

Tanto las preguntas formuladas, como los conceptos abordados en las mismas y la profundidad con la que se tratan, pueden variar en función de la edad de los alumnos y de su nivel de

conocimientos previos. Los conceptos científicos necesarios para comprender esta práctica corresponden a los adquiridos durante la Educación Secundaria. Por ello, su desarrollo es viable en los últimos cursos de ESO, en Bachillerato o con alumnos que cursan asignaturas científicas en grados de Ciencias Sociales, como los estudiantes del Grado en Educación Primaria objeto de la presente investigación. En este caso concreto, para el diseño de la intervención se tuvo en cuenta que la mayoría de los alumnos de la muestra no había cursado Bachillerato de Ciencias.



**Figura 1.7.** Extracción de ADN con materiales cotidianos con maestros en formación inicial.

Una vez finalizada la extracción, el profesor genera dos debates, formulando una serie de preguntas (tabla 1.3). El primero con el objetivo de que los alumnos reflexionen sobre la relación entre los compuestos y procedimientos utilizados durante la extracción y los conceptos químicos, físicos y biológicos que fundamentan su uso; favoreciendo así la integración de los distintos contenidos tratados. Con esto se recalca la importancia que la interdisciplinariedad tiene actualmente para la ciencia, así como la necesidad de ponerla de manifiesto en las clases de ciencias de Educación Primaria. El segundo debate sirve para tratar las aplicaciones que tiene la extracción de ADN actualmente en la sociedad, resaltando así las interacciones CTS y sus implicaciones sociales y éticas. Esto se vincula a su futuro desempeño profesional, subrayando la importancia de mostrar la utilidad de los contenidos científicos impartidos y su relación con la vida cotidiana con los alumnos de Educación Primaria. Además, a modo de reflexión final, el docente resalta la metodología empleada en el seminario (investigación dirigida) como la metodología básica a emplear en las actividades prácticas de ciencias de Educación Primaria. La actividad finaliza con la petición de un informe individual (a entregar en 15 días), en el que describir razonadamente qué productos han utilizado y qué procesos han seguido para extraer ADN; con el fin de establecer una relación entre los contenidos biológicos, físicos y químicos abordados y el método de extracción.

#### **1.4.2 Enseñanza de conceptos de Microbiología a través de una práctica activa basada en el cultivo de microorganismos**

El mundo microbiano no constituye un contenido motivante para la mayoría de la población, tampoco para el alumnado de Educación Primaria. Como afirman Vicente *et al.* (2010), “*los microbios no son tan llamativos como los tigres, las ballenas o los árboles de la selva, y no suelen aparecer casi nunca como héroes de películas, cuentos o cómics*” (p. 65). Como consecuencia de esto, los alumnos de Educación Primaria tienen un conocimiento muy limitado del mundo microbiano (Ballesteros *et al.*, 2018), situación que hace necesaria su alfabetización en Microbiología (Timmis *et al.*, 2019). Según estos investigadores, es necesario formar a los alumnos en conceptos microbiológicos clave ya que, en el futuro, se convertirán en ciudadanos que deberán tomar decisiones relacionadas con la Microbiología. Ante esta circunstancia, se ha recomendado implementar actividades de tipo práctico (Faccio *et al.*, 2013) con las que abordar la relación de los microorganismos con la vida cotidiana de los alumnos, así como conceptos microbiológicos tales como la ubicuidad y diversidad de los microorganismos (Bandiera, 2007; Rico y Díez, 2014), su relación con la higiene mediante experiencias cotidianas como el lavado de manos (Byrne, 2011; Lopez-Perez, 2009; Mafra *et al.*, 2015) y su papel en la producción de alimentos (Byrne, 2011; Harms, 2002; Rico y Díez, 2014). A pesar de que las actividades prácticas son más eficaces que las sesiones expositivas en relación al aprendizaje de Microbiología (Faccio *et al.*, 2013; Redfern *et al.*, 2013), los maestros en ejercicio realizan

pocas actividades prácticas de Microbiología, aduciendo falta de conocimiento, dificultad técnica y temor ante posibles problemas de salud y/o seguridad (Redfern *et al.*, 2013). Ante esta situación, es necesario formar a los futuros maestros en la enseñanza práctica de Microbiología.

Según Harms (2002), el procedimiento básico a incluir en la enseñanza práctica de los microorganismos es su cultivo, proceso sencillo que permite poner de manifiesto la presencia de microorganismos en colonias (López-Pérez, 2009) y abordar su rápida multiplicación celular. En este apartado se describe una intervención didáctica práctica basada en el cultivo de microorganismos, con la que enseñar conceptos de Microbiología a maestros en formación inicial. La intervención consiste en una práctica de laboratorio y consta de dos fases. En la primera fase, se abordan, mediante el cultivo de microorganismos, una serie de conceptos microbiológicos (conceptos de microorganismo, su ubicuidad y diversidad, concepto de colonia, conceptos y mecanismos de asepsia y esterilización). En la segunda parte se trabaja, mediante investigación dirigida, cómo elaborar, con productos y utensilios cotidianos, un medio de cultivo microbiano, a fin de relacionar las actividades prácticas implementadas en la primera fase con el futuro desempeño profesional de los alumnos participantes.

#### **1.4.2.1 Primera fase de la intervención: abordando los conceptos de ubicuidad, diversidad, asepsia y esterilización mediante cultivo microbiano con maestros en formación inicial**

Esta fase comienza con la lectura y discusión del artículo de prensa “Si se ha caído al suelo, ¿me lo puedo comer?” ([https://elpais.com/elpais/2015/01/07/buenavida/1420628686\\_169625.html](https://elpais.com/elpais/2015/01/07/buenavida/1420628686_169625.html)), con el que se introducen contenidos como ubicuidad y diversidad de los microorganismos, su patogenicidad, su adhesión, su presencia en el cuerpo, las defensas de este o su papel beneficioso para la salud. El docente genera un debate en el cual, en primer lugar, los alumnos exponen sus conocimientos previos de Microbiología y lo que han comprendido de la lectura, a la vez que corrige, matiza o confirma las opiniones que surgen; y, posteriormente, se debate sobre qué es una fuente de información científica, qué es una fuente de información divulgativa, la fiabilidad de las diferentes fuentes de información... Tras esto, el profesor evidencia cómo se preparan los medios de cultivo, presentando los materiales fungibles e instrumentos empleados en los laboratorios (placa de Petri, agar nutritivo, agua destilada, autoclave, mecheros Bunsen...). Para ello, enumera los elementos que componen el agar nutritivo (extracto de levadura y carne, agar, peptona y cloruro sódico) explicitando el papel de cada uno en la formación del medio, y justifica por qué este se disuelve en agua destilada (y no en agua del grifo, debido a la presencia de cloro en esta última). Seguidamente, expone qué es un autoclave, su funcionamiento y cómo se emplea para esterilizar el medio. A continuación, aborda cómo repartir el medio nutritivo estéril (una vez extraído del autoclave) en placas de Petri (también estériles) sin la utilización de una campana de flujo laminar, en un ambiente, el laboratorio, que

contiene microorganismos. En este momento se profundiza en el trabajo en condiciones de asepsia: limpiar con alcohol la poyata del laboratorio, encender mecheros alrededor del área de trabajo, cerrar puertas y ventanas para evitar corrientes de aire, trabajar pocas personas, lavarse las manos antes de comenzar, no hablar durante el proceso... Finalmente, comenta las condiciones de almacenaje de los medios de cultivo hasta su utilización: una vez repartido en las placas, se deja enfriar hasta que solidifique y, cuando esto ocurre, las placas se guardan en la nevera en bolsas cerradas.

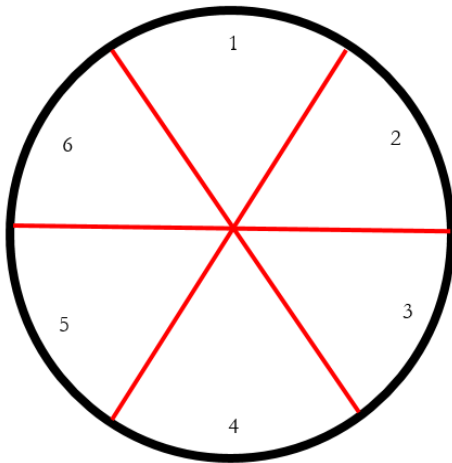
Tras esta explicación se procede a la actividad práctica. Se reparte a los alumnos, organizados en parejas, 3 placas de Petri con medio nutritivo, con las que proceden a realizar los siguientes experimentos:

- Experimento 1 (¿Dónde viven los microorganismos?). Para mostrar la ubicuidad de los microorganismos y discutir su diversidad (fundamentalmente diferenciar entre bacterias y hongos), los alumnos dejan abiertas, durante 20 minutos, placas de Petri en distintos lugares de la facultad (aulas, biblioteca, cafetería, baños, laboratorio, salón de actos, pasillo, secretaría, jardín, reprografía, aparcamientos...).
- Experimento 2 (¿Cuántas veces me lavo las manos?). Para comprobar que lavarse las manos es un método aséptico (elimina solo a algunos microorganismos, hasta el nivel que evita la infección), los alumnos dividen, con un rotulador, una placa de Petri en 6 porciones (figura 1.8A), que tocan con el dedo sin lavar (1), lavado solo con agua (2), lavado con agua y jabón una, dos y tres veces (3, 4, 5) y tras tocar una superficie cualquiera (6). Es muy importante advertir que el experimento debe realizarlo siempre el mismo alumno, para poder observar el efecto del lavado de manos en la microbiota de las manos; así como indicar la necesidad de escurrir el dedo antes de tocar el medio, para evitar que el agua se transfiera de una porción a otra.
- Experimento 3 (¿Esterilización o asepsia?). Con el fin de comprobar que el alcohol mata a todos los microorganismos, los alumnos dividen, con un rotulador, una placa de Petri en 3 porciones (figura 1.8B), que tocan con el dedo lavado solo con agua (S), limpiado con alcohol (OH) y tras tocar una superficie cualquiera (M).

Una vez realizados los experimentos (figura 1.9), los alumnos cierran las placas utilizando Parafilm M, y los dejan crecer (durante una semana) en un área reservada del laboratorio. Una semana después vuelven al laboratorio para interpretar y discutir, bajo la guía del docente, los resultados. En la figura 1.10 se recogen algunos ejemplos de los resultados obtenidos en cada uno de estos experimentos.

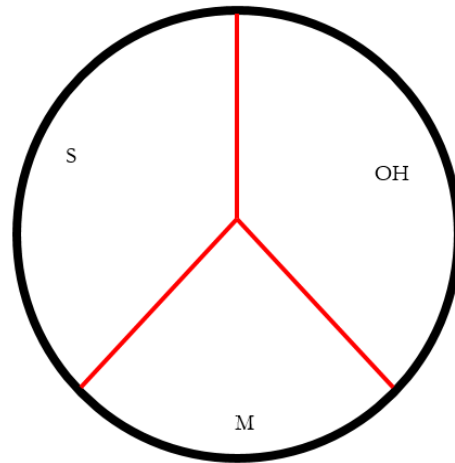


A)



1 Dedo sin lavar  
2 Dedo lavado solo con agua  
3,4,5 Dedo lavado con agua y jabón  
6 Dedo tras tocar una superficie

B)

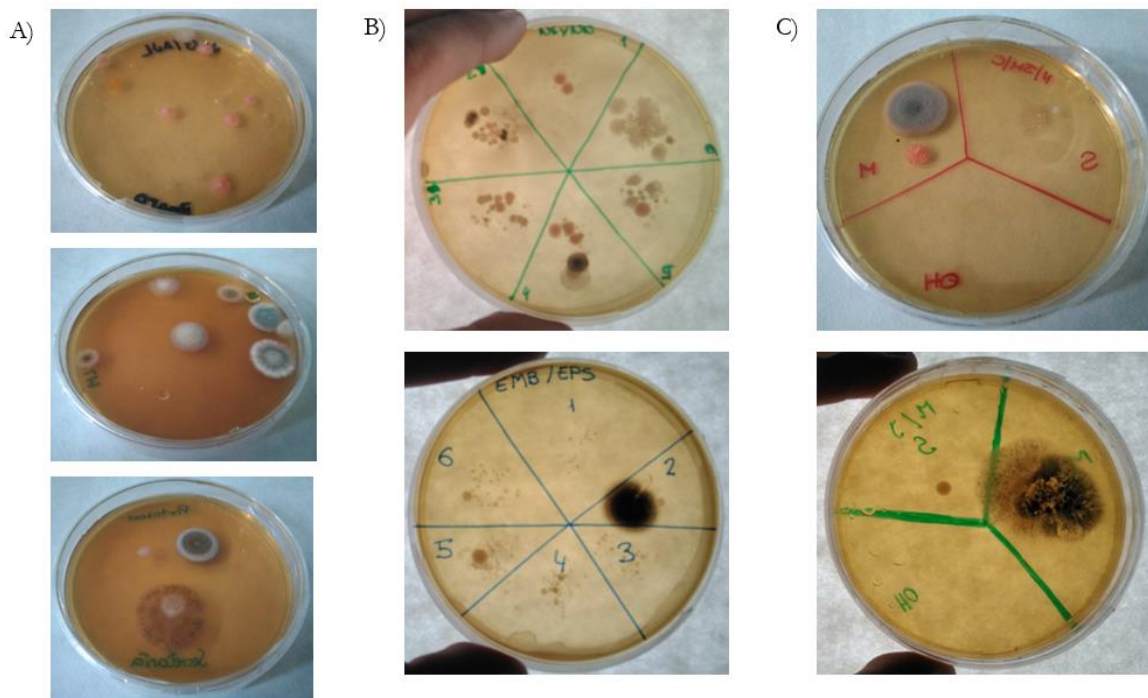


S Dedo lavado solo con agua  
OH Dedo limpiado con alcohol  
M Dedo tras tocar una superficie

**Figura 1.8.** Pasos a seguir en los experimentos 2 y 3



**Figura 1.9.** Cultivo de microorganismos con maestros en formación inicial.



**Figura 1.10.** Ejemplos de resultados obtenidos en los experimentos sobre ubicuidad y diversidad (A), asepsia (B) y esterilización (C).

#### **1.4.2.2 Segunda fase de la intervención: diseño de un medio de cultivo microbiano con materiales cotidianos bajo investigación dirigida con maestros en formación inicial**

La segunda fase de la intervención se implementa a través de investigación dirigida, y tiene como objetivo que los alumnos elaboren un protocolo para realizar la práctica desarrollada en la primera fase con alumnos de Educación Primaria y únicamente con productos cotidianos. El profesor plantea la siguiente situación: “En la actualidad existen una gran diversidad de medios nutritivos comerciales para crecer microorganismos. Sin embargo, habitualmente los maestros no tienen acceso a ellos ni al resto de materiales necesarios para desarrollar una práctica como la implementada en este seminario (placas de Petri, autoclave...). No obstante, históricamente los microbiólogos han sido capaces de crecer microorganismos con medios nutritivos caseros. Por tanto, el objetivo es diseñar un protocolo para crecer microorganismos en el cual solo se utilicen productos que se puedan obtener en un supermercado. Se debe indicar, además, los procedimientos de esterilización del medio y los materiales, así como las condiciones asépticas de trabajo”. Tras esto, el profesor formula una serie de preguntas abiertas (tabla 1.4), cuyas respuestas proporcionan a los alumnos la información necesaria para elaborar un medio de cultivo con materiales cotidianos.

**Tabla 1.4.** Preguntas planteadas para iniciar los debates, intervenciones para guiar a los alumnos y respuestas proporcionadas por estos al final del proceso.

<i>Pregunta inicial planteada por el docente</i>	<i>Intervenciones para guiar el debate</i>	<i>Respuesta consensuada por los alumnos</i>
<i>¿Qué recipiente casero emplearías en lugar de una placa de Petri?</i>	Debe compartir las características de una placa de Petri: recipiente transparente con base y tapa	Caja de agujas, alfileres, bastoncillos, bombones, golosinas, abalorios para pulseras...
<i>¿Qué productos caseros emplearías para fabricar el medio de cultivo?</i>  <i>¿Qué pasos seguirías para fabricarlo?</i>	Se necesitan productos caseros que cumplan las siguientes funciones:  a) Fuente de nutrientes Recordar los componentes del agar nutritivo. Entre ellos está el extracto de carne. ¿A qué producto casero te recuerda?  b) Capacidad de crear un gel Ante la respuesta gelatina, ¿existe otro producto que cumpla esta función? ¿Qué ventajas tiene sobre la gelatina?  Al abordar la mezcla de los componentes, ¿es posible utilizar agua del grifo?	Pastillas de caldo de carne (sustitutivo de extracto de carne y levadura, peptona y cloruro sódico)  Agar-agar para repostería. Es más recomendable que la gelatina (ambos son gelificantes pero el agar es un carbohidrato y tarda más en degradarse que la gelatina, que es una proteína y se desnaturaliza en unos 3 días)  Agua destilada (agua para plancha), no del grifo porque contiene cloro  Pasos a seguir: disolver las pastillas de caldo de carne (2) y láminas de agar-agar (10 gramos, 5 láminas) en agua destilada (1 litro)
<i>¿Qué procedimiento seguirías para esterilizar el medio de cultivo?</i>	Observa el autoclave, ¿a qué objeto casero te recuerda?  En un autoclave se aumenta la temperatura y la presión durante un tiempo, ¿al funcionamiento de qué utensilio casero te recuerda?	Introducir la disolución en un bote de cristal con tapa, cubriéndolo pero sin cerrarlo del todo  Introducir y cocer dicho bote en una olla a presión con algo de agua (al estilo del método “baño María”), durante unos 20 minutos
<i>¿Qué procedimiento seguirías para esterilizar el recipiente?</i>	En nuestro caso, compramos las placas de Petri estériles. ¿Qué puedes hacer para esterilizar el recipiente? ¿Qué procedimientos puedes utilizar para eliminar todos los microorganismos?	Hervir el recipiente  Limpiar el recipiente con alcohol
<i>¿Qué medidas asépticas tomarías para repartir el medio nutritivo esterilizado en los recipientes esterilizados?</i>	Imagina que produces el medio en tu casa, ¿en qué lugar llevarías a cabo este proceso? ¿Qué pasos seguirías?  Recuerda las medidas asépticas tomadas en un laboratorio ¿Cuáles pueden aplicarse en un contexto cotidiano?	El lugar idóneo para realizar este proceso es una cocina. Pueden tomarse las siguientes medidas: lavarse las manos antes de comenzar, trabajar cerca del fuego de la cocina o de una llama (como una vela), limpiar bien la encimera con alcohol, trabajar pocas personas, cerrar puertas y ventanas para evitar corrientes de aire, no hablar durante el proceso...
<i>¿Qué debes hacer una vez has repartido el medio en los recipientes?</i>	Recuerda los pasos seguidos en un laboratorio	Esperar a que el medio se enfríe y solidifique  Guardar los recipientes en una bolsa cerrada en la nevera hasta su utilización



Los alumnos resuelven dichos problemas a través de debates guiados por el docente, en los que emplean sus conocimientos previos, lo aprendido en la primera fase de la práctica e información que obtienen al realizar búsquedas bibliográficas con sus dispositivos móviles. Esta situación permite reflexionar sobre la corrección de las respuestas encontradas en la red y relacionarlo con la fuente de información utilizada. El profesor reconduce las respuestas de los grupos de alumnos (matizando, reforzando, ampliando y/o cuestionándolas), a la vez que realiza distintas intervenciones con las que guiar a los alumnos (algunas de las cuales se recogen en la tabla 1.4). Este proceso continúa hasta que la clase en su conjunto consensúa una respuesta para cada una de las preguntas formuladas (tabla 1.4). Utilizando estas repuestas, los alumnos proponen, de nuevo mediante un debate guiado, los pasos necesarios para elaborar un medio de cultivo microbiano con materiales cotidianos.

Para finalizar el seminario, a modo de reflexión final, el docente resalta la importancia de emplear la investigación dirigida (como en la segunda parte del seminario) a la hora de implementar actividades prácticas en su futuro como maestros. Igualmente, subraya la necesidad de trabajar la Microbiología mediante actividades prácticas, como las desarrolladas en el seminario. Además, recalca la importancia de mostrar la utilidad de los contenidos impartidos y su relación con la vida cotidiana; a la vez que reflexiona sobre la utilización de las fuentes de información que hacen los alumnos y la fiabilidad de las mismas.

### **1.4.3 Enseñanza de conceptos de filogenia molecular mediante una analogía lingüística**

La evolución es uno de los pilares esenciales de la Biología moderna, resulta fundamental para entender la unidad y la diversidad de la vida y para adquirir una visión sistémica de todas las ciencias biológicas (Wei *et al.*, 2012; Tansey *et al.*, 2013). Por ello, se ha recomendado organizar los currículos de Ciencias Naturales en base a este concepto clave, desde la Educación Primaria hasta los niveles educativos post-obligatorios (Nadelson *et al.*, 2009; Quinn *et al.*, 2012). Sin embargo, la enseñanza actual de la evolución se realiza a través de un conjunto de conceptos aislados e inconexos sobre herencia, variación, diversidad y selección (Price y Perez, 2016). En los sistemas educativos europeos, la enseñanza de la filogenia se inicia en la etapa de Educación Secundaria y se basa en la comparación de caracteres anatómicos, embriológicos y fisiológicos, mientras que el estudio de la filogenia molecular, esencial para comprender la evolución de dichos caracteres, no se aborda hasta el Bachillerato (Mead *et al.*, 2017; Moore, 2008; White *et al.*, 2013; Yamanoi *et al.*, 2012). Como consecuencia, los conceptos relativos a la filogenia molecular suelen estar asociados a numerosas ideas alternativas (Nadelson *et al.*, 2009; Meir *et al.*, 2007; Ryan, 2008), como las asociadas a la interpretación de los árboles filogenéticos (Baum *et al.*, 2005; Kong *et al.*, 2016; Meisel, 2010; Nee, 2005). La interpretación

correcta de los mismos resulta clave para una comprensión completa de la evolución desde un ancestro común (los árboles filogenéticos se usan para representar las relaciones evolutivas entre los seres vivos: las ramas representan los diferentes organismos, los nudos en los que se agrupan dos o más ramas representan el ancestro común de estas, y la raíz representa al ancestro común de todos los organismos incluidos en el árbol). Por ello, los estudiantes que carecen de una correcta comprensión estos y de otros conceptos de filogenia molecular probablemente tengan dificultades para relacionar distintas áreas biológicas a través del pensamiento evolutivo (Baum *et al.*, 2005).

En el caso concreto del sistema educativo español, no se profundiza en la enseñanza de la evolución hasta 4º de ESO. El alumnado de estas edades (15-16 años) encuentra grandes dificultades para asimilar este contenido ya que, en muchos casos, posee ideas previas que, con un tratamiento gradual y sistemático desde edades más tempranas, podrían haberse evitado y, por lo tanto, se permitiría el aprendizaje de conceptos evolutivos más complejos (Vázquez-Ben, 2015). Por ello, y dada la importancia de la evolución y su carácter vertebrador, sería conveniente iniciar su estudio en edades más tempranas a través de un enfoque integrador. Concretamente, diferentes investigaciones e informes internacionales han recomendado introducir conceptos evolutivos básicos desde la Educación Primaria (Moore, 2008; *Next Generation Science Standards Lead States*, 2013, White *et al.*, 2013; Yamanoi *et al.*, 2012).

La falta sustancial de tratamiento de los conceptos relevantes relativos a la evolución molecular en las aulas ha sido vinculada a la ausencia de materiales y herramientas disponibles para ello (Moore, 2008). Ante esto, es necesario el desarrollo de secuencias de enseñanza-aprendizaje de filogenia, y en concreto de filogenia molecular, que sean eficaces y accesibles desde los últimos cursos de Educación Primaria y los inicios de la Educación Secundaria. Asimismo, es preciso formar a los futuros docentes para la enseñanza de estos contenidos. Una herramienta eficaz para ello es el uso de analogías (Hertweck, 2014), como las analogías lingüísticas empleadas para explicar varios procesos celulares (Sereno, 1991). Las similitudes entre la diversidad lingüística y la diversidad biológica, y la conveniencia de representar ambas mediante árboles filogenéticos, ya fueron observadas por Darwin y sus contemporáneos. Trabajos más recientes han mostrado que la herencia cultural y la herencia genética pueden ser analizadas siguiendo la misma metodología (Bouckaert *et al.*, 2012; Pagel, 2009). En el presente apartado se detalla una analogía entre la evolución molecular y la evolución lingüística, que puede ser empleada para facilitar la comprensión de conceptos de Biología Evolutiva y de algunas de las metodologías empleadas en los análisis de filogenia molecular. Dicha analogía lingüística podría facilitar la comprensión del concepto general de evolución a partir de los últimos cursos de Educación Primaria, así como los mecanismos por los cuales se produce (herencia, variación y selección); y, en cursos superiores (Educación Secundaria y en asignaturas científicas de grados de Ciencias

Sociales, como las cursadas por futuros maestros), podría permitir la enseñanza de conceptos complejos de evolución molecular como mutación, homología, alineamiento, reconstrucción filogenética y filogeografía. Asimismo, se describe una intervención didáctica basada en esta analogía para la enseñanza de algunos conceptos de filogenia molecular a maestros en formación inicial.

#### **1.4.3.1 La filogenia molecular mediante una analogía lingüística**

Una característica común de las palabras, los genes, y la traducción molecular de estos, las proteínas, es que evolucionan siguiendo pautas similares: i) se heredan, ii) varían a medida que se heredan y iii) algunas de estas variantes son seleccionadas. Este proceso da como resultado una gran diversidad de palabras, por ejemplo las diferentes formas de decir “hecho” en Europa; y una gran diversidad de genes y proteínas, por ejemplo, las diferentes formas de hemoglobina en humanos. Además, la historia común de los genes y la de las palabras puede servir para representar la distribución geográfica de las poblaciones humanas: su filogeografía. Por ejemplo, a lo largo de la historia los pueblos se han dispersado sobre la Tierra colonizando nuevos territorios, como ocurrió con el Imperio romano, que se expandió desde la actual Italia por gran parte de Europa. Asociado a la migración de las poblaciones, y a su establecimiento en regiones distintas, se produjeron variaciones en su acervo genético y en las lenguas que utilizaban, surgiendo distintas versiones de los genes y de las palabras. El uso de estas nuevas palabras, y la proporción de algunos genes, prevaleció sobre el uso y la proporción de sus predecesores, con lo que fueron seleccionados y dieron lugar a nuevas lenguas y acervos genéticos.

En contextos educativos, el genoma humano se compara habitualmente con un libro que contiene las instrucciones para la vida en forma de genes (cada frase del libro) compuestos por nucleótidos (las letras de las palabras). Esta comparación se basa en otra característica análoga de las palabras, los genes y las proteínas: todos se representan con letras. El alfabeto de la lengua española comprende 27 letras, la secuencia del ADN se representa con 4 nucleótidos (A, T, G y C) y la estructura primaria de las proteínas con 20 aminoácidos (G, A, I, L, V, R, N, K, D, E, Q, C, M, S, T, F, W, Y, H y P). De la misma manera que dentro de las lenguas se distinguen grupos de palabras con un presumible origen común, denominadas cognados, caracterizadas por ser fonéticamente similares y tener el mismo significado en diferentes lenguas; dentro de los seres vivos se distinguen tanto genes como proteínas con un presumible origen común, denominados homólogos, que se caracterizan por tener secuencias primarias similares y la misma función. Por ejemplo, la palabra castellana “hecho” mantiene su significado desde su raíz latina “factu” y se conserva en distintos idiomas europeos, tanto actuales como pasados (como la palabra inglesa “fact” o la francesa “fait”), con el mismo

significado en todos ellos. De forma similar, a medida que los seres vivos se diversifican, ciertos genes y proteínas evolucionan hacia estructuras primarias distintas que conservan una identidad apreciable y la misma función. Por ejemplo, en el linaje de los mamíferos, la secuencia de la insulina muestra una gran similitud y la misma función. Utilizando estos dos ejemplos (palabras y genes/proteínas), se puede introducir en el aula los 3 mecanismos básicos de la evolución: herencia, variación y selección, así como otros conceptos y metodologías de estudio de filogenia molecular descritas en los siguientes apartados.

#### 1.4.3.1.1 Las mutaciones a nivel molecular

Los cambios que la evolución produce en las secuencias de nucleótidos que constituyen los genes, y que se traducen en cambios en las proteínas, son los mismos que se producen en la evolución de las palabras. Estos cambios pueden ser de tres tipos: i) inserciones, incorporación de uno o más nucleótidos/aminoácidos/letras nuevos en la secuencia original, ii) deleciones, pérdida de uno o más nucleótidos/aminoácidos/letras originales y, iii) sustituciones, cambio de uno o más elementos originales por otros nuevos. Así, la evolución de la palabra “hecho” permite a los profesores explicar los tres tipos de mutaciones genéticas: la evolución de “factu” (latín vulgar) a “factum” (latín culto) es un ejemplo de inserción; y, el cambio de “facto” (romance) a “fait” (francés) muestra una sustitución y una deleción (figura 1.11). Esta analogía lingüística puede emplearse también para abordar cómo las mutaciones afectan a la traducción o síntesis de proteínas y explicar los cambios en el marco de lectura. Dicha analogía consiste en presentar a los alumnos frases compuestas por palabras de tres letras (por ejemplo “Haz mal uno”), análogo a los tripletes de nucleótidos del ARN (ácido ribonucleico) mensajero; y observar cómo las mutaciones modifican el mensaje (siguiendo con el ejemplo anterior la deleción de la “h” genera la frase “Azm alu no-”).

Lengua	Alineamiento	Grado de identidad	Genes (nucleótidos)	Proteínas (aminoácidos)
Latín culto	FACTUM	100%	AAU ACG	NT
Latín vulgar	FACTU-	83%	AAU AC-	N-
Inglés	FACT--	66%	AAU A--	N-
Romance	FACTO-	66%	AAU AU-	N-
Francés	FAIT--	50%	AAG A--	K-
Italiano	FATTO-	50%	AAA AU-	K-
Portugués/Gallego	FEITO-	33%	AGG AU-	R-
Castellano antiguo	FECHO-	33%	AGU UU-	S-
Castellano	HECHO-	17%	CGU UU-	R-
Catalán	FE-T--	17%	AGA ---	R-

**Figura 1.11.** Alineamiento de cognados de la palabra “hecho” y su similitud con los cambios observados en los genes. Se muestra la lengua a la que pertenece el cognado y el porcentaje de identidad de cada palabra y cada gen con respecto a la palabra “factum” y la secuencia de nucleótidos (AAU ACG) respectivamente. La columna de la derecha muestra la traducción de la secuencia de nucleótidos a proteínas.

#### ***1.4.3.1.2 Alineamiento y homología***

El alineamiento de secuencias en genética es una forma de comparar secuencias de nucleótidos, o aminoácidos, para resaltar las similitudes entre ellas. Cuando las secuencias comparadas presentan un alto grado de similitud se considera que son homólogas, es decir, los genes o proteínas correspondientes tienen un origen común y podrían desempeñar funciones relacionadas. Normalmente este proceso se lleva a cabo usando programas bioinformáticos que colocan las secuencias unas debajo de otras y resaltan las diferencias. En el caso de secuencias cortas o muy similares (como es el caso de las secuencias de nucleótidos o los cognados de la figura 1.11) puede realizarse manualmente. En el aula, utilizando cognados, los docentes pueden explicar a los alumnos los conceptos de alineamiento y homología de una secuencia genética. Tanto el alineamiento de genes (secuencias de nucleótidos) como de una palabra en distintas lenguas, permiten inferir un origen común de los genes y las palabras, respectivamente (figura 1.11). Por ejemplo la palabra inglesa “fact”, la italiana “fatto” y la portuguesa “feito” tienen un alto grado de identidad y significan lo mismo, lo que permite deducir que tienen un posible origen común.

#### ***1.4.3.1.3 Árboles filogenéticos, reconstrucción filogenética, filogeografía y transferencia genética lateral***

La analogía lingüística, presentada para explicar el alineamiento de secuencias, se puede utilizar, en el contexto educativo, para abordar la reconstrucción de árboles filogenéticos. Primero, es necesario calcular la distancia genética entre los pares de secuencias y construir una matriz de distancias (figura 1.12). Esta distancia se calcula como la proporción de diferencias entre pares de secuencias (de nucleótidos o de letras), es decir, la fracción del número de diferencias puntuales (inserciones, deleciones o sustituciones de nucleótidos/letras) entre el número de caracteres totales (número de nucleótidos/letras de la secuencia o palabra más larga). Por ejemplo, entre la palabra “factum” (de 6 letras) y “factu” (de 5 letras) hay 1 diferencia (la deleción de la letra m), por lo tanto, hay una distancia evolutiva de  $1/6$  (0,17). Esta misma matriz se obtendría si se utilizaran las secuencias de nucleótidos recogidas en la figura 1.11.

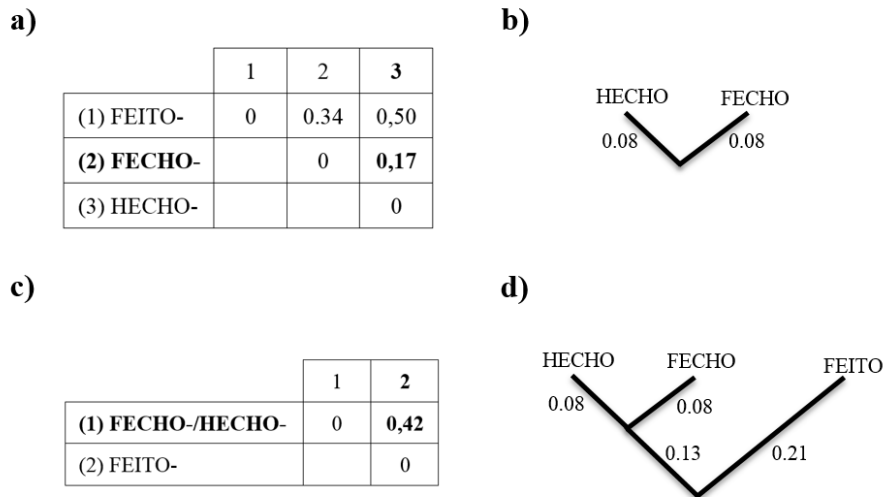
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>(1) FACTUM</b>	0	<b>0,17</b>	0,34	0,34	0,50	0,50	0,67	0,67	0,83	0,83
(2) FACTU-		0	0,17	0,17	0,34	0,34	0,50	0,50	0,67	0,83
(3) FACT--			0	0,17	0,17	0,34	0,50	0,50	0,67	0,50
<b>(4) FACTO-</b>				0	0,34	<b>0,17</b>	0,34	0,50	0,50	0,83
(5) FAIT--					0	0,34	0,34	0,67	0,83	0,50
(6) FATTO-						0	0,34	0,50	0,67	0,50
(7) FEITO-							0	0,34	0,50	0,50
<b>(8) FECHO-</b>								0	<b>0,17</b>	0,50
(9) HECHO-									0	0,67
(10) FET---										0

**Figura 1.12.** Matriz de distancias de los cognados de la palabra hecho en distintos idiomas europeos. En negrita se señalan las distancias más cortas entre las palabras con un único vecino próximo.

La construcción del árbol filogenético a partir de estas distancias evolutivas (de genes o palabras) puede realizarse utilizando el método *neighbor-joining* o unión de vecinos más próximos. Este proceso es fácil de explicar cuando se aplica a la construcción de un árbol con pocas secuencias cortas. Así, para abordarlo con los alumnos se propone plantear la construcción de un árbol filogenético de pocas palabras (por ejemplo tres palabras: “hecho”, “fecho” y “feito”). Los pasos a seguir son los siguientes:

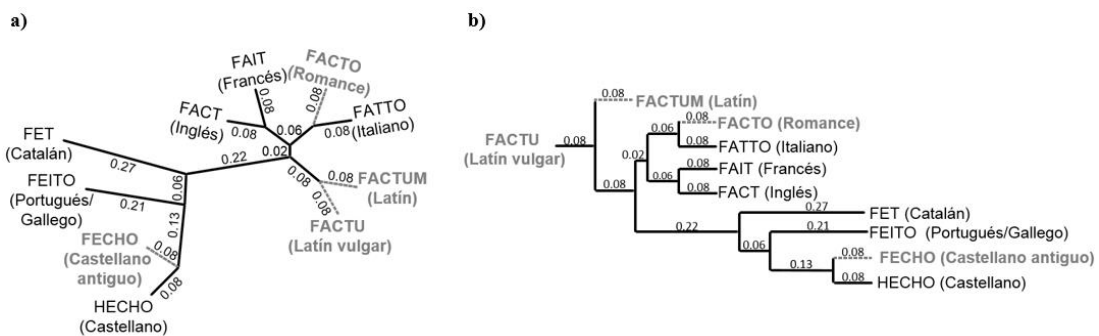
- Una vez construida la matriz de distancias, se buscan los vecinos más próximos en la matriz (figura 1.13a), o parejas de palabras que tengan la distancia mínima entre ellas.
- Se representan las ramas de cada una de estas palabras con un tamaño proporcional a la mitad de la distancia evolutiva que las separa, y se unen en el nudo (punto medio de la distancia) que define el ancestro común de ambas (figura 1.13b).
- Posteriormente se construye otra matriz considerando ambas palabras como una sola, se calculan las distancias evolutivas entre esta nueva pareja y el resto de las palabras (figura 1.13c) y se continúa representando el árbol filogenético (figura 1.13d).

Éste mismo árbol se obtendría si se utilizan las secuencias de nucleótidos recogidas en la figura 1.11 (CGU UU-; AGU UU- y AGG AU-).



**Figura 1.13.** Construcción de un árbol filogenético entre las palabras “hecho”, “fecho” y “feito” siguiendo el algoritmo de unión de vecinos más próximos.

Para construir un árbol filogenético de un conjunto más amplio de secuencias (como la palabra “hecho” en distintas lenguas europeas o de más secuencias de nucleótidos) se repite este proceso el número de veces necesario hasta deducir las distancias evolutivas entre todos los componentes. Al unir los resultados de las matrices en una figura se construye un árbol filogenético de grupos (figura 1.14a), en el que se representan las relaciones entre las secuencias de nucleótidos/palabras sin asumir un origen determinado. Para representar la evolución de las palabras desde un ancestro común es necesario enraizar el árbol con la palabra preexistente antes de la diversificación, en este caso, la variante de latín vulgar “factu” (figura 1.14b).



**Figura 1.14.** a) Árbol filogenético reconstruido a partir de las distancias evolutivas de los cognados de la palabra hecho en distintos idiomas europeos. b) Árbol filogenético de estos mismos cognados enraizado desde el latín vulgar “factu”. Las lenguas extintas se representan en gris.

Esta analogía también permite introducir el concepto de filogeografía, disciplina que se encarga del estudio de las distribuciones geográficas contemporáneas de los individuos en función de la genealogía de sus genes. Así, si se superpone el árbol filogenético anteriormente realizado de los cognados europeos de la palabra “hecho” sobre el mapa de Europa, se puede explicar la actual distribución de las lenguas europeas en términos evolutivos (figura 1.15). Además, la

analogía permite abordar en el aula otros conceptos evolutivos más complejos, como la transferencia genética lateral entre organismos, fenómeno que se puede explicar a través del análogo de la transferencia lateral de la palabra inglesa “fact”, palabra de origen latino que se transfiere a una lengua de origen germánico como el inglés.



**Figura 1.15.** Filogeografía de los cognados de la palabra hecho en distintos idiomas europeos. Las lenguas extintas se representan en gris.

#### ***1.4.3.1.4 Teoría neutralista de la evolución molecular y relojes moleculares***

El descubrimiento de que, a nivel molecular, algunos cambios evolutivos pueden ser neutrales, acumulados a una velocidad constante y seleccionados por deriva genética, y no por selección natural, llevaron a enunciar la teoría neutralista de la evolución molecular (Kimura, 1983), según la cual la mayor parte de la variación a nivel molecular ocurre de manera aleatoria y no es explicada por la selección natural. Dicha teoría permitió comprender un hecho observado previamente: que el tiempo correspondiente a la divergencia de dos especies, estimado según el registro fósil, es proporcional a la diferencia entre dos secuencias de proteínas. Esto llevó a desarrollar los relojes moleculares. Un reloj molecular es una técnica que permite datar cuando divergieron dos especies basándose en el número de diferencias entre secuencias concretas de sus moléculas de ADN, ARN o proteínas. Esta técnica parte de la idea de que algunos cambios evolutivos, como las mutaciones neutras, suceden regularmente en el tiempo, de forma similar al funcionamiento de un reloj. La utilización de un reloj molecular requiere de su calibración previa con otras técnicas de datación como el registro fósil. El proceso de calibración del reloj, que permite calcular la velocidad a la que cambia una secuencia de ADN, es relativamente sencillo y consta de dos etapas. Primero, observando el registro fósil, se puede estimar cuándo surgieron algunas especies, por ejemplo cuándo empezaron a diferenciarse los humanos de otros grandes simios como orangutanes y gorilas. Después, observando los genes de dichas especies, puede encontrarse alguno en el que las mutaciones se acumulen a una velocidad fiable durante el transcurso de millones de años. La calibración del reloj es la representación de la relación



entre la fecha de divergencia de varias especies y su diferencia genética, y puede emplearse para datar la divergencia de otras especies de las que no hay registro fósil a partir de sus genes. Así, los relojes moleculares permiten estimar el origen y divergencia de eventos pasados difíciles de estudiar de otro modo, como el origen y migración de los humanos, la domesticación de plantas y animales o la aparición de epidemias como el VIH o la gripe A (Ho y Larson, 2006; Korber *et al.*, 2000; Smith *et al.*, 2009a), utilizando el cambio gradual de moléculas junto a otras técnicas de datación (registro de casos clínicos, fósiles y restos arqueológicos).

Sin embargo, a pesar de su importancia, el tratamiento de la evolución en las aulas de Educación Secundaria obvia la teoría neutralista y los relojes moleculares, centrándose en tratar la selección natural como el principal aspecto de la misma. De este modo, la teoría de la evolución es simplificada en lugar de ser presentada como una sólida teoría científica que es permanentemente refinada y cuestionada, como todas las teorías científicas.

La analogía lingüística anteriormente establecida puede emplearse también para introducir la teoría neutralista de la evolución molecular y los relojes moleculares, a partir de un texto antiguo que cuente con varias ediciones a lo largo del tiempo. Los pasos a seguir para establecer esta analogía son:

1. Seleccionar un texto antiguo que conste de varias ediciones (análogos de los descendientes de un ancestro común), las cuales hayan sido publicadas en fechas distintas (análogos de las dataciones a través de fósiles) y en las que se puedan observar variaciones en las palabras (análogos de las mutaciones) como consecuencia de la evolución de la lengua (análogo de la evolución biológica).
2. Escoger una o más frases (análogos de las secuencia de nucleótidos) que experimenten cambios en sus palabras en las diferentes ediciones.
3. Analizar estos cambios a lo largo del tiempo respecto al texto original (análogo del ancestro común de varios linajes).
4. Representar el número de variaciones frente a los años de publicación de las diferentes ediciones en una gráfica (análogo de un reloj molecular).

En el presente trabajo se utiliza la novela de Miguel de Cervantes “*Segunda parte del ingenioso caballero don Quijote*”, publicada en 1615; obra ampliamente conocida por el alumnado y de la que se han publicado numerosas ediciones desde el siglo XVII, muchas de las cuales pueden encontrarse accesibles, públicas y digitalizadas en la página web de la Biblioteca Nacional de España (<http://www.bne.es/es/quijote/>). En el ejemplo que se muestra se ha seleccionado una frase del comienzo de la obra que, como se observa en la figura 1.16, ha sufrido variaciones fruto de la evolución de la lengua castellana desde su publicación en 1615 hasta la última edición estudiada (1980).

**V**ENTA. Zide Hamete Benengeli en la segunda parte desta Historia, y tercera salida de don Quixote, que el Cura y el Barbero se estuviéron casi un mes sin verle, por no renovarle, y traerle á la memoria las cosas passadas. Pero no por esto dexaron de visitar á su sobrina y á su ama, encargándolas, tuuiesien cuenta con regalarle, dándole a comer cosas confortatiuas, y apropiadas para el coraçon, y el cerebro, de donde procedia (segun buen discurso) toda su mala ventura. Las quales dixeron, que así lo hazian, y lo harian có la voluntad, y cuydado posible: porque echauan de ver, que fu señor, por momentos yua dando mueftras de eftar en su entero juyzio; de lo qual re

1615

2 D. QUIJOTE DE LA MANCHA.

Cura y el Barbero se estuviéron casi un mes sin verle por no renovarle y traerle á la memoria las cosas pasadas; pero no por esto dejaron de visitar á su sobrina y á su ama, encargándolas tuviesen cuenta con regalarle, dándole á comer cosas confortativas y apropiadas para el corazón y el cerebro, de donde procedía según buen discurso toda su mala ventura; las cuales dijéron que así lo hacian, y lo harian con la voluntad y cuidado posible, porque echaban de ver que su señor por momentos iba dando muestras de estar en su entero juicio: de lo qual recibieron los dos gran contento por

1833

DON QUIXOTE DE LA MANCHA

buen discurso,) toda fu mala ventura: Las quales dixeron, que affi lo hazian, y harian con la voluntad y Cuydado possible; porque echavan de ver, que fu Señor por momentos iba dando mueftras de eftar en su entero Juyzio; de lo qual recibieron los dos gran contento, por parecérles que avian acertado en avérle traydo encantado en el carro de los bueyes, como se contó en la primera parte desta tan grande como puntual hístoria en su ultimo capitulo: Y affi determinaron de visitárle, y hazer experiencia de su mejoría, aunque tenían casi por imposible que la tuvièffe; y acordaron de no tocárle en ningun punto de la andante cavalleria, por no ponerle á

1738

CAPITULO PRIMERO

DE LO QUE EL CURA Y EL BARBERO PASARON CON DON QUIJOTE CERCA DE SU ENFERMEDAD

Cuenta Cide Hamete Benengeli en la segunda parte desta historia y tercera salida de don Quijote que el Cura y el Barbero se estuvieron casi un mes sin verle, por no renovarle y traerle a la memoria las cosas pasadas; pero no por esto dejaron de visitar a su sobrina y a su ama, encargándolas tuviesen cuenta con regalarle, dándole a comer cosas confortativas y apropiadas para el corazón y el cerebro, de donde procedía, según buen discurso, toda su mala ventura. Las cuales dijeron que así lo hacian, y lo harian, con la voluntad y cuidado posible, porque echaban de ver que su señor por momentos iba dando muestras de estar en su entero juicio: de lo qual recibieron los dos gran contento, por parecer-

1980

Figura 1.16. Fragmentos del inicio de “Segunda parte del ingenioso caballero don Quijote” en distintas ediciones (1615, 1738, 1833 y 1980). Se subraya el texto empleado para construir el reloj molecular.

Una vez seleccionada la muestra de texto, se determina el número de cambios que se producen en la misma a través de las distintas ediciones (en el ejemplo se han seleccionado las ediciones de los años 1738, 1797, 1833, 1898 y 1980) respecto a la edición original de 1615. Para evidenciar estas diferencias se realiza un alineamiento de la frase (figura 1.17), que permite identificar las variaciones (inserciones, deleciones o sustituciones) que se han producido en el texto seleccionado en las diferentes ediciones con respecto a la original de 1615.

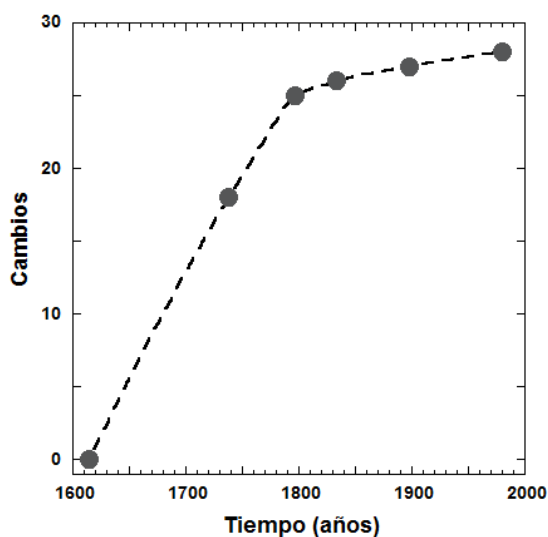
1615: Las quales dixeron, que afsi lo hazian, y lo harian- có- la voluntad, y cuydado possible: porque  
 1738: Las quales dixèron, que affi lo hazian, y lo harian- con la voluntad- y Cuydado possible; porque  
 1797: Las quales dixéron- que a-sí lo hacian- y lo harian- con la voluntad- y cuidado po-sible, porque  
 1833: Las **cuales dijéron-** que a-sí lo hacian, y lo harian- **con** la voluntad- y cuidado po-sible, porque  
 1898: Las **cuales dijeron-** que a-sí lo hacían, y lo harían- **con** la voluntad- y cuidado po-sible, porque  
 1980: Las **cuales dijeron-** que a-sí lo hacían, y lo harían, **con** la voluntad- y cuidado po-sible, porque

1615: echauan de ver, que fu feñor, por momentos yua dando mueftras de eftar en fu entero juyzio;  
 1738: echàvan de ver, que fu **Señor-** por momentos **iva** dando mueftras de eftar en fu entero Juyzio;  
 1797: echaban de ver- que **su señor-** por momentos **iba** dando muestras de estar en **su** entero juicio:  
 1833: echaban de ver- que **su señor-** por momentos **iba** dando muestras de estar en **su** entero juicio:  
 1898: echaban de ver- que **su señor-** por momentos **iba** dando muestras de estar en **su** entero juicio:  
 1980: echaban de ver- que **su señor-** por momentos **iba** dando muestras de estar en **su** entero juicio:

Figura 1.17. Alineamiento de la frase seleccionada en distintas ediciones (1615, 1738, 1797, 1833, 1898, 1980). En negrita se resaltan las variaciones respecto a la edición original de 1615.

La discusión en el aula de las variaciones existentes en los diferentes textos permite evidenciar que estas variaciones han tenido un efecto neutro sobre su significado y que se acumulan regularmente a lo largo del tiempo, posibilitando introducir la teoría neutralista de Kimura. Posteriormente, se representa el análogo del reloj molecular (figura 1.18), gráfica que relaciona el número de variaciones respecto al tiempo. Utilizando dicha gráfica, los docentes pueden trabajar con sus alumnos el concepto de reloj molecular. Los relojes moleculares son lineales y muestran una gran variación en escalas cortas de tiempo mientras que muestran un perfil de saturación en escalas de tiempo mayores (Ho y Larson, 2006). En el caso de la analogía expuesta en este trabajo se observa un patrón similar (figura 1.18), ya que la mayor variación se acumula durante los dos primeros siglos tras la publicación de la obra mientras que durante los dos siglos posteriores el aumento observado en el número de variaciones es menor.

Para evidenciar la utilidad de los relojes moleculares, se puede proponer estimar la fecha de publicación de una edición que se ha encontrado incompleta (análogo de una especie de la que no hay registro fósil). Un ejemplo de problema a plantear a los alumnos es el siguiente: “Se ha encontrado una página de la obra Segunda parte del ingenioso caballero don Quijote de una edición desconocida e incompleta en la que se observa la siguiente frase: «Las cuales dijeron que así lo hacian, y lo harian con la voluntad y cuidado posible; porque echaban de ver que su señor por momentos iba dando muestras de estar en su entero juicio;”. Utilizando la gráfica que representa los cambios sufridos por cada edición de esta novela respecto al tiempo, estima cuándo se publicó esta edición descubierta.»



**Figura 1.18.** Gráfica, análoga a un reloj molecular, que representa el número de cambios de cada edición respecto a la edición original de 1615 frente al tiempo en años.

### **1.4.3.2 Diseño de una intervención didáctica basada en analogías lingüísticas para la enseñanza de conceptos de filogenia molecular a maestros en formación inicial**

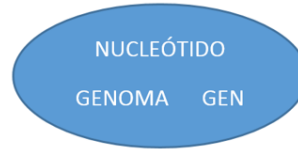
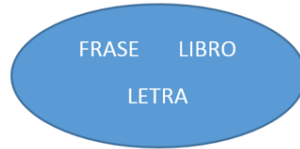
La intervención comienza presentando a las analogías como recurso didáctico para la enseñanza de las ciencias, a través de la lectura y posterior discusión de un texto (anexo 5) basado en el trabajo de Oliva *et al.* (2001). En dicho texto se especifica qué es una analogía (ejemplificándolas mediante la comparación de la estructura atómica con el Sistema Solar), su valor didáctico, qué características debe tener para ser efectiva y cómo implementarla en la enseñanza de las ciencias.

Tras esto, para profundizar en la utilidad de las analogías como recurso educativo para su futuro como maestros, los alumnos trabajan en la elaboración de analogías concretas para emplear en la enseñanza de conceptos científicos en Educación Primaria. Para ello, se proporciona a los alumnos un listado de 10 contenidos de Ciencias Naturales impartidos a lo largo de esta etapa educativa (vulcanismo, sonidos animales como croar o balar, piara, aleta, tubérculo, funcionamiento del corazón, funcionamiento del riñón, respuesta inmune, célula y transmisión del impulso nervioso); presentándoles la siguiente situación: “Imagina que eres profesor de Ciencias Naturales en un centro de Educación Primaria. ¿Qué analogías emplearías para introducir y/o explicar los siguientes conceptos?”. Los alumnos trabajan en primer lugar individualmente sobre esta pregunta. Posteriormente, presentan sus propuestas de analogías al conjunto de la clase; iniciándose un debate, guiado por el docente, sobre la conveniencia de las distintas analogías presentadas.

Tras esta primera parte, el docente informa a los alumnos de que en el seminario se van a abordar conceptos de filogenia molecular mediante una analogía, a través de diferentes actividades prácticas (recogidas en el guion, anexo 5). En primer lugar, se introduce la analogía lingüística en la que se basa la intervención a través de la siguiente comparación: “El ADN es un como un libro que contiene las instrucciones para la vida en forma de genes”. Esta comparación es ampliamente utilizada para explicar el ADN y, por tanto, resulta familiar al alumnado. Para profundizar en esta analogía lingüística, se pide a los alumnos que relacionen los términos “libro”, “frase” y “letra” con “genoma”, “gen” y “nucleótido”, situación que permite introducir la característica análoga de las palabras y los genes: ambas se representan con letras (analogía entre las 27 letras del alfabeto español y los 4 nucleótidos del ADN) (figura 1.19).



"El DNA es un como un libro que contiene las instrucciones para la vida en forma de genes"



Una característica análoga de las palabras y los genes es que ambas se representan con letras

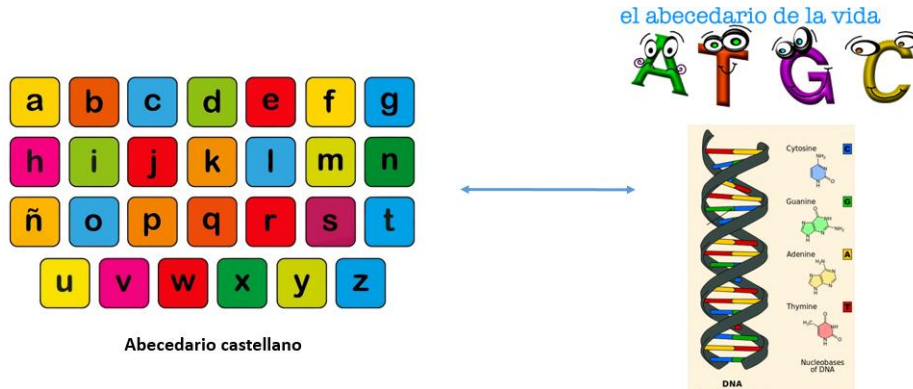
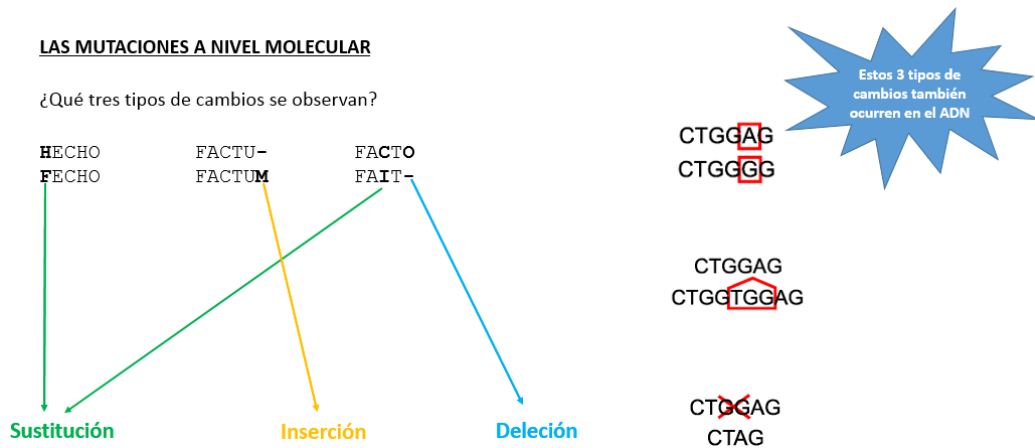


Figura 1.19. Diapositivas empleadas para introducir la analogía lingüística a los participantes.

Tras esto, se comienzan a trabajar conceptos específicos de filogenia:

- Introduciendo los procesos evolutivos básicos, el concepto de homología y la técnica de alineamiento. Para ello se presenta a los alumnos un mapa de Europa, sobre el que se disponen, en diferentes países, la palabra “hecho” en distintos idiomas europeos actuales y pasados. El docente plantea la siguiente pregunta. “¿Qué comparten las palabras que aparecen sobre cada país?”. Tras la formulación de esta se inicia un debate en el aula que, guiado por el docente, concluye en los siguientes aspectos propios de los cognados: palabras con un origen común, fonéticamente similares y con el mismo significado en distintas lenguas. Utilizando los cognados como análogo, el docente explica qué son los genes homólogos y sus características básicas (origen común, secuencia similar y misma función). Tras esto, el docente genera otro debate planteando una nueva cuestión: “¿Cómo se han originado las distintas versiones de esta palabra?”. Los alumnos, guiados por el docente, concluyen el origen común de las distintas versiones de la palabra “hecho” desde el latín; explicando que, con las migraciones de las poblaciones, las lenguas utilizadas por estas cambiaron, surgiendo distintas versiones de las palabras y generándose, por tanto, nuevas lenguas. De este modo, y siempre bajo la dirección del docente, los alumnos concluyen los tres procesos básicos





**Figura 1.21.** Diapositiva empleada para abordar las mutaciones a través de la analogía lingüística.

- Trabajando los cambios en el marco de lectura. Para abordar cómo las mutaciones en el ADN afectan a la expresión de los genes (traducción o síntesis de proteínas), el docente plantea la siguiente situación: “Imagina que para poder entender una frase y poder comunicarnos las palabras siempre tuvieran que estar formadas por tres letras. ¿Qué ocurriría si introduces alguno de los 3 tipos de cambios anteriormente explicados en una de las siguientes frases?”. Se presentan entonces a los alumnos frases formadas por palabras de tres letras como “Haz mal uno”, “Ven sin sus dos” o “The fat cat sat”. Los alumnos, bajo la guía del docente, concluyen que la introducción de inserciones, deleciones o sustituciones modifica el mensaje de las frases originales; exponiendo diferentes ejemplos en los que esto se pone de manifiesto (como la inserción de una “a” en la frase “Ven sin sus dos”, que pasa a ser “Ven asi nsu sdo s--”). Este hecho permite al docente trazar una analogía con la que introducir los tripletes o codones del ADN y cómo cada uno de ellos codifica un aminoácido distinto. Del mismo modo, explica que las inserciones, deleciones y sustituciones pueden alterar el mensaje codificado por un gen, de manera que este genere otra secuencia de aminoácidos y deje de tener una sintaxis correcta (figura 1.22). Tras esto, el docente explica el Dogma Central de la Biología Molecular (replicación del ADN, transcripción del ADN para generar el ARN mensajero y traducción del ARN mensajero a proteínas) y el código genético (correspondencia entre los tripletes del ARN mensajero y los aminoácidos). Esto le permite, además, abordar que los nucleótidos o letras que forman el ARN no son las mismas que forman el ADN (este tiene U en lugar de T). Para trabajar estos conceptos, los alumnos resuelven una serie de ejercicios prácticos (anexo 5) en los que, utilizando el código genético, analizan cómo una serie de mutaciones en el ARN mensajero afectan a la síntesis de proteínas.



<u>H</u> <u>a</u> <u>m</u> <u>a</u> <u>l</u> <u>u</u> <u>n</u> <u>o</u>	<u>V</u> <u>e</u> <u>n</u> <u>s</u> <u>i</u> <u>n</u> <u>s</u> <u>u</u> <u>s</u> <u>d</u> <u>o</u> <u>s</u>	<u>T</u> <u>h</u> <u>e</u> <u>f</u> <u>a</u> <u>t</u> <u>c</u> <u>a</u> <u>t</u> <u>s</u> <u>a</u> <u>t</u>
<u>A</u> <u>z</u> <u>m</u> <u>a</u> <u>l</u> <u>u</u> <u>n</u> <u>o</u> <u>-</u>	<u>V</u> <u>e</u> <u>n</u> <u>a</u> <u>s</u> <u>i</u> <u>n</u> <u>s</u> <u>u</u> <u>s</u> <u>d</u> <u>o</u> <u>s</u> <u>-</u> <u>-</u>	<u>T</u> <u>h</u> <u>e</u> <u>f</u> <u>a</u> <u>t</u> <u>c</u> <u>i</u> <u>t</u> <u>s</u> <u>a</u> <u>t</u>

**Cambio del marco de lectura**

El ADN se divide en grupos de 3 nucleótidos (llamados codones o tripletes), cada uno de los cuales codifica un aminoácido distinto.

Así, las inserciones, deleciones y sustituciones pueden alterar un gen de manera que su mensaje deje de tener una sintaxis correcta.

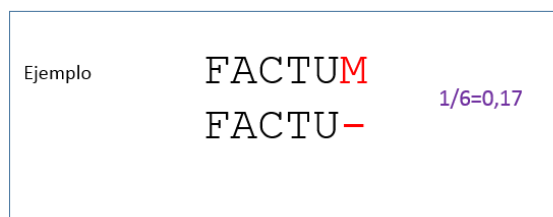


**Figura 1.22.** Diapositiva empleada para abordar los cambios en el marco de lectura mediante la analogía lingüística.

- Construyendo un árbol filogenético de palabras. Para introducir los árboles filogenéticos el docente presenta a los alumnos una diapositiva con varios ejemplos de estos, preguntándoles cómo creen ellos que se construyen. Tras una breve discusión, guiada por el docente, este explica a los alumnos que este proceso de basa en la comparación de las secuencias de ADN de los distintos grupos de seres vivos representados en el árbol. Para explicar este proceso, el docente propone a los alumnos continuar con la analogía lingüística y construir un árbol filogenético de palabras. Para que los alumnos comprendan el proceso a seguir, plantea la construcción de un árbol sencillo, formado solo por tres palabras (“hecho”, “fecho” y “feito”). Los alumnos lo construyen, siguiendo los pasos establecidos en el guion del seminario (anexo 5), y bajo la dirección del docente (figura 1.23). Los pasos seguidos son: i) realizar un alineamiento de las palabras, ii) calcular la distancia entre las palabras, calculada como la fracción de diferencias puntuales entre el número de caracteres totales (para explicar esto pone como ejemplo que entre “factum” y factu” hay una sola diferencia, por lo que la distancia es 1/6 o 0,17) y construir una matriz de distancias, iii) buscar los vecinos más próximos (parejas de palabras que tienen la distancia más pequeña entre ellas), iv) comenzar a construir el árbol, uniendo las dos palabras seleccionadas con ramas que tengan un tamaño proporcional a la mitad de la distancia que las separa (para explicar esto, continuando con el ejemplo anterior, muestra que las ramas que unen “factum” y “factu” son de 0,08 cada una), v) construir una nueva matriz de distancias, para lo cual es necesario determinar la distancia entre la pareja de palabras y el resto, considerando ya a dicha pareja como una sola palabra, y, vi) continuar con el proceso anteriormente



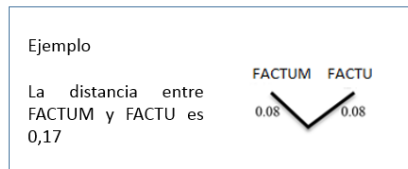
descrito hasta finalizar el árbol. De este modo, empleando una analogía lingüística, se explica el proceso de construcción de árboles filogenéticos mediante el algoritmo de unión de vecinos. Para profundizar en este procedimiento, el docente propone a los alumnos seguir los pasos anteriormente explicados para construir un nuevo árbol de palabras (en este caso entre “fait”, “fact” y “fatto”).



Matriz de distancias

	1	2	3
(1) FEITO-	0	0,40	0,60
(2) FECHO-		0	0,20
(3) HECHO-			0

3. Une ambas palabras con ramas que tengan un tamaño proporcional a la mitad de la distancia que las separa

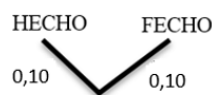


Matriz de distancias

	1	2	3
(1) FEITO-	0	0,40	0,60
(2) FECHO-		0	0,20
(3) HECHO-			0

4. Construye otra matriz considerando a esta pareja como una sola palabra.

	1	2
(1) FEITO-	0	0,50
(2) FECHO-/HECHO-		0



$$\begin{aligned} \text{FEITO} - \text{FECHO} &= 0,40 \\ \text{FEITO} - \text{HECHO} &= 0,60 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 0,40 + 0,60 &= 1 \\ 1 : 2 &= 0,50 \end{aligned}$$

**Figura 1.23.** Diapositivas empleadas para trabajar la construcción de árboles filogenéticos a través de la analogía lingüística.

La figura 1.24 muestra a los alumnos realizando las actividades anteriormente descritas.



**Figura 1.24.** Enseñanza de filogenia mediante una analogía lingüística a maestros en formación inicial.

Un aspecto relevante a tener en cuenta durante el desarrollo de la intervención es la necesidad de poner de manifiesto las limitaciones de la analogía empleada, es decir, las diferencias existentes entre los dos fenómenos comparados (la evolución lingüística y la evolución biológica). Entre las más importantes destacan:

- Aunque en ambos casos la información se almacena en una secuencia de letras, el ADN no está realmente formado por letras. Estas se emplean para representar a las moléculas (nucleótidos) que lo forman. Asimismo, el número de letras que forman las palabras es mayor que el número de nucleótidos que constituyen los genes, por lo que es mayor también el número de combinaciones posibles.
- Mientras que en el lenguaje la información sigue un orden para transmitir un mensaje (en un texto la información referente a un mismo tema está en el mismo párrafo o capítulo), la información genética relativa a un mismo carácter se encuentra en distintos puntos del ADN (incluso en distintos cromosomas).

- Respecto a la herencia, el lenguaje es inmaterial (herencia cultural) mientras que el ADN tiene presencia física, es materia (herencia genética). Además, el lenguaje se puede adquirir en cualquier momento (pudiéndose adquirir incluso varios idiomas) y a través de cualquier individuo (progenitores, otros familiares, no familiares); mientras que el ADN se adquiere en el momento de la fecundación (y es prácticamente el mismo hasta la madurez) y siempre a través de los progenitores (salvo muy raras excepciones en las que se adquiere a través de virus).
- En relación a la selección, los cambios en el lenguaje se seleccionan principalmente como consecuencia del azar (análogo de la deriva genética), mientras que la selección en el ADN se produce tanto por deriva genética como por selección natural (en muchos caracteres, por ejemplo en la selección sexual).
- Otro factor a considerar con los alumnos es el tiempo necesario para que se puedan observar los cambios. En este sentido la evolución de las lenguas es más rápida (las nuevas palabras pueden seleccionarse en unos pocos siglos) que la evolución genética.

Para finalizar el seminario, a modo de conclusión, el docente resalta el papel didáctico de las analogías y la interdisciplinariedad; así como enfatiza la importancia de comenzar a abordar la enseñanza de la evolución desde la Educación Primaria. En primer lugar, recuerda los distintos conceptos filogenéticos abordados mediante la analogía. Con ello explicita que las analogías son un potente recurso didáctico que, además de servir para introducir conceptos científicos individuales y ayudar a su visualización, pueden emplearse para explicar una serie de contenidos relacionados en sesiones basadas exclusivamente en su utilización. Tras esto, resalta la importancia de implementar actividades interdisciplinares con las que trabajar a la vez distintas competencias; como las competencias matemática, lingüística, histórica, geográfica y biológica abordadas en las actividades del seminario. Finalmente, presenta a los alumnos extractos de distintas investigaciones, como la de Vázquez-Ben (2015), que ponen de manifiesto la necesidad de comenzar a impartir conceptos evolutivos básicos desde Educación Primaria. Para trabajar esto, se propone a los alumnos la siguiente actividad (a entregar en un plazo de 15 días): “Diseña una sesión de la asignatura Ciencias Naturales de 6º de Educación Primaria con la que introducir que la información genética se almacena en la secuencia del ADN, que las especies más cercanas tienen un ADN más parecido y los 3 procesos básicos de evolución (herencia, variación y selección). Dicha sesión debe estar basada en la analogía con la evolución del lenguaje y debe constar de una parte expositiva y de actividades prácticas para los alumnos”.

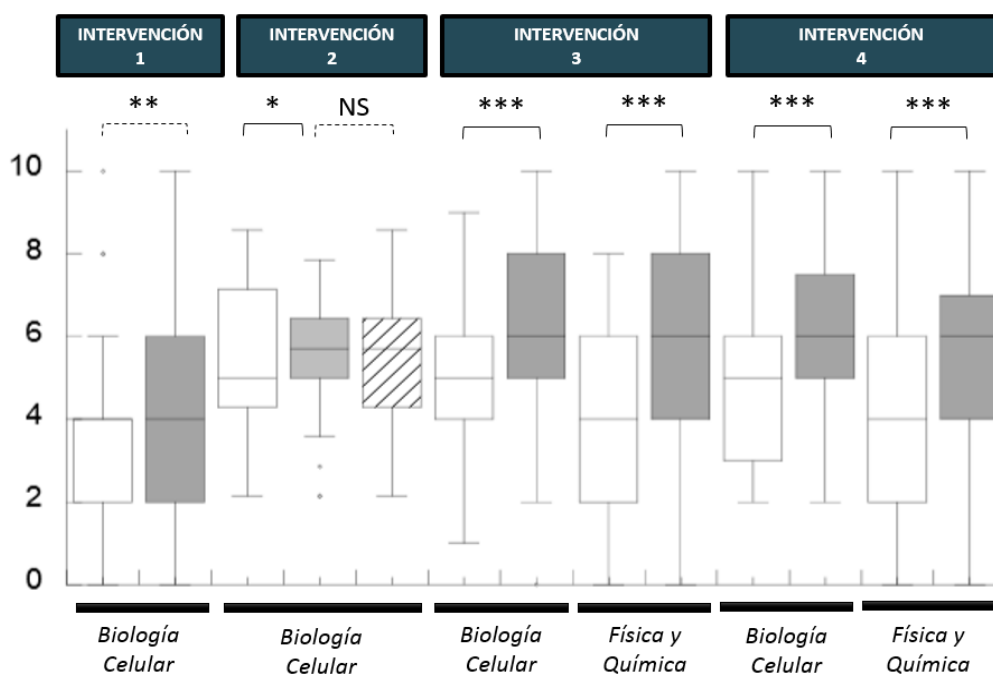
## 1.5. Resultados, discusión e implicaciones formativas

### 1.5.1 Análisis de la eficacia de las intervenciones diseñadas respecto al aprendizaje de ciencias de maestros en formación inicial

La eficacia, en relación al aprendizaje de conceptos científicos, de las tres intervenciones diseñadas se analiza comparando los conocimientos de los alumnos antes y después de las mismas (figuras 1.25, 1.26 y 1.27).

#### 1.5.1.1 Análisis de la eficacia de la práctica activa de Biología Celular

Respecto a la práctica activa basada en la extracción de ADN (investigación dirigida, diseñada para la enseñanza de Biología Celular, Química y Física), esta se implementa durante cuatro cursos académicos (años académicos 1, 2, 3 y 4) en los cuales se evalúa la eficacia de dicha intervención para la enseñanza-aprendizaje de conceptos de Biología Celular (en las 4 intervenciones), Química y Física (en las dos últimas intervenciones, intervenciones 3 y 4) (figura 1.25).



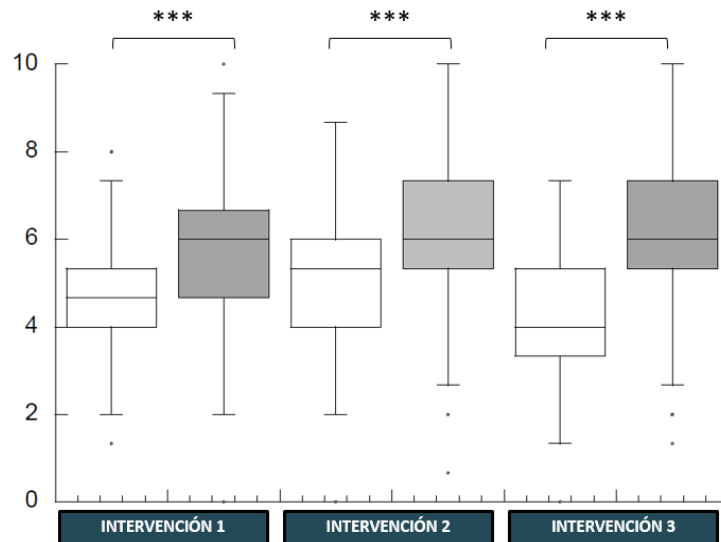
**Figura 1.25.** Resultados obtenidos por los participantes antes, pretest (cajas vacías), y después, postest (cajas grises y rayadas), de la implementación de la práctica activa, basada en la extracción de ADN, durante cuatro años académicos (intervenciones 1, 2, 3 y 4; correspondientes a los años académicos 1, 2, 3 y 4). Los resultados califican la evaluación de contenidos de Biología Celular (en las cuatro intervenciones) y de Química y Física (en las dos últimas intervenciones). En la intervención 2, la caja gris representa los resultados del grupo experimental (realizó tanto el pretest como el postest) y la caja rayada los resultados del grupo control (solo realizó el postest). Las cajas representan la distribución de los resultados. La recta horizontal dentro de cada caja representa la mediana, los límites inferiores y superiores de cada caja corresponden a los percentiles 25 y 75, y la terminación inferior y superior de las líneas verticales se aproximan a los percentiles 5 y 95. La línea horizontal sobre las cajas (continua para datos apareados y discontinua para datos desapareados) une grupos no significativos (NS) y significativamente diferentes (\*p-valor<0,05, \*\*p-valor<0,01, \*\*\*p-valor<0,001, test de Wilcoxon).

Tras su primera implementación (intervención 1, año académico 1, n=160), de carácter prospectivo y en la que los datos no estaban apareados, se observa que la intervención es efectiva para la enseñanza de conceptos de Biología Celular, ya que se produce un aumento significativo de la nota del posttest respecto a la del pretest (p-valor=0,006, test de Wilcoxon). Esto no se debe a un aumento de la mediana (4 en ambos casos), sino a un aumento de la varianza hacia valores superiores. En la segunda implementación de esta práctica (intervención 2, año académico 2, n=154), con el objetivo de analizar la influencia del pretest en el aprendizaje (estos resultados se abordan en el siguiente apartado, apartado 1.5.2), la muestra se divide en un subgrupo control que solo realizaba el posttest y un subgrupo experimental que realizaba el pretest y el posttest. El análisis de los datos apareados del grupo experimental revela un aumento significativo de la calificación (p-valor=0,03, test de Wilcoxon), desde una mediana de 5 en el pretest a una mediana de 5,71 en el posttest. Así, los resultados de la segunda intervención confirman la efectividad, en relación al aprendizaje de conceptos de Biología Celular, de la práctica activa diseñada.

El análisis de los resultados de la implementación de esta práctica durante los dos años académicos posteriores (intervenciones 3 y 4, años académicos 3 y 4, n=149 y 112 respectivamente), corrobora la efectividad de la intervención diseñada respecto al aprendizaje de conceptos biológicos (la mediana aumenta desde 4,67 en el pretest hasta 6 en el posttest en ambos años académicos, p-valor<0,001, test de Wilcoxon). Además, el análisis de las preguntas referentes a contenidos de Física y Química (intervenciones 3 y 4, años académicos 3 y 4) indica que el aprendizaje detectado es de naturaleza interdisciplinar; ya que no sólo se produce un aprendizaje en los conceptos de Biología, sino que también se observa un aumento significativo en la nota de las preguntas relacionadas con conceptos de Química y Física. Dicha calificación aumenta desde una mediana de 4 en el pretest hasta 6 en el posttest en ambos años académicos (p-valor<0,001, test de Wilcoxon).

#### **1.5.1.2 Análisis de la eficacia de la práctica activa de Microbiología**

En cuanto a la práctica basada en el cultivo de microorganismos y en la investigación dirigida, diseñada para la enseñanza de Microbiología; el análisis de los resultados de su implementación (figura 1.26) durante tres cursos académicos (intervenciones 1, 2 y 3; años académicos 2, 3 y 4) muestra la efectividad de esta intervención respecto al aprendizaje de conceptos microbiológicos. En los tres cursos académicos, se observa un aumento significativo de la nota del posttest respecto a la del pretest (la mediana aumenta desde 4,67 en el pretest hasta 6 en el posttest en el año académico 2, p-valor<0,001, test de Wilcoxon; desde 5,33 hasta 6 en el año académico 3, p-valor<0,001, test de Wilcoxon; y desde 4 hasta 6 en el año académico 4, p-valor<0,001, test de Wilcoxon).



**Figura 1.26.** Resultados obtenidos por los participantes antes, pretest (cajas vacías), y después, posttest (cajas grises), de la implementación de la práctica activa, basada en el cultivo de microorganismos, durante tres años académicos (intervenciones 1, 2 y 3; correspondientes a los años académicos 2, 3 y 4). Las cajas representan la distribución de los resultados. La recta horizontal dentro de cada caja representa la mediana, los límites inferiores y superiores de cada caja corresponden a los percentiles 25 y 75, y la terminación inferior y superior de las líneas verticales se aproximan a los percentiles 5 y 95. La línea horizontal sobre las cajas une grupos significativamente diferentes (\*\*\*) p-valor < 0,001, test de Wilcoxon).

### 1.5.1.3 Discusión sobre la efectividad de las prácticas activas basadas en la investigación dirigida

En conjunto, los resultados de la implementación de las prácticas activas de Biología Celular y Microbiología muestran que ambas intervenciones prácticas, diseñadas en la presente Tesis Doctoral e implementadas bajo investigación dirigida, son efectivas en relación al aprendizaje de conceptos científicos de maestros en formación inicial.

Esta circunstancia puede deberse a las características potenciales comunes a ambas intervenciones (carácter práctico, interdisciplinar y relación CTS), como apuntan resultados de investigaciones previas. Así, se ha descrito que las actividades prácticas son más eficaces que las expositivas, sobre todo en algunas disciplinas científicas como la Microbiología (Faccio *et al.*, 2013; Redfern *et al.*, 2013); así como que las actividades experimentales, concebidas como pequeñas investigaciones y desarrolladas bajo el modelo didáctico de enseñanza mediante investigación dirigida, proporcionan mejores situaciones de aprendizaje en distintos niveles educativos (Ann y Zembal-Saul, 2004; Crawford *et al.*, 2005; Freeman *et al.*, 2014; Gormally *et al.*, 2009; Luckie *et al.*, 2004; Schneider *et al.*, 2002; Von Secker y Lissitz, 1999; Wieman, 2014).

En cuanto a la utilidad de los contenidos impartidos (puesta de manifiesto, en ambas intervenciones, a través de la inclusión de las interrelaciones CTS, y del tratamiento de la aplicabilidad de los contenidos abordados y las metodologías implementadas para su futuro

desempeño profesional); Hulleman y Harackiewicz (2009) indican que realizar actividades en las que se resalta la aplicabilidad de los contenidos teóricos, y en las que estos se conectan con problemas específicos del entorno de los alumnos, mejora su rendimiento. Además, el proceso de aprendizaje social, llevado a cabo a través de los debates planteados en las intervenciones realizadas, es más eficiente que el aprendizaje individual, ya que favorece la memoria a largo plazo (Edelson *et al.*, 2011) y la comprensión (Smith *et al.*, 2009b).

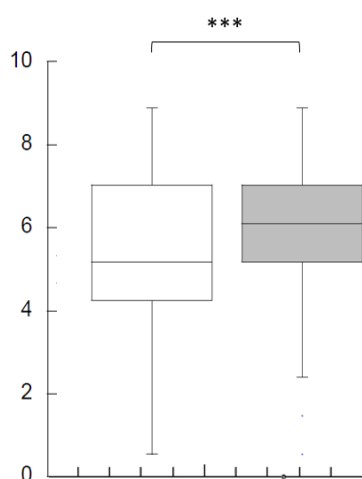
En relación a la eficacia de las intervenciones en los diferentes años académicos, el análisis de los resultados indica que a medida que progresan las implementaciones de cada intervención, se produce un aumento en el aprendizaje de los participantes (una mayor diferencia entre las calificaciones de los pretest y de los postest). Esto sugiere que el efecto de ambas intervenciones fue mejorando curso tras curso; concordando con lo señalado por Henry *et al.* (2012), quienes afirman que durante los tres primeros años de la puesta en práctica de una acción docente, esta se optimiza y se obtiene un mejor rendimiento.

Ante estos resultados se sugiere incorporar, en la formación inicial de futuros maestros, secuencias de enseñanza-aprendizaje prácticas de ciencias, desarrolladas bajo investigación dirigida, en las que se fomente el aprendizaje entre iguales, y que los alumnos las perciban como útiles para su futuro como maestros. Con ello, se favorecería la formación de los futuros docentes de Educación Primaria en la investigación dirigida como metodología para el desarrollo de actividades prácticas activas (García *et al.*, 1995; Hofstein y Lunetta, 2004; Pozo y Gómez, 2013), a la vez que se emplearía esta para la enseñanza de conceptos científicos concretos incluidos en los programas formativos de estos alumnos (Chernicoff y Echevarría, 2012). Además, la implementación de esta metodología favorece la integración de las relaciones CTS y de la interdisciplinariedad (Carrascosa *et al.*, 2006; Van Hecke *et al.*, 2002). Esta relación se evidencia en ambas intervenciones: la práctica basada en la extracción de ADN tiene un marcado enfoque interdisciplinar (abordando contenidos de Física y Química en sesiones de Biología), mientras que en ambas prácticas se ponen de manifiesto las interrelaciones CTS (a través de los desarrollos tecnológicos basados en el ADN y los microorganismos, y las implicaciones sociales de estos contenidos). Por tanto, la implementación de este tipo de prácticas activas, basadas en la investigación dirigida, permitiría formar a los futuros maestros en la inclusión de la interdisciplinariedad y de los aspectos CTS en sus futuras clases de ciencias de Educación Primaria (Borgerding *et al.*, 2013; Fonseca *et al.*, 2012; Lucariello *et al.*, 2016).

#### **1.5.1.4 Análisis y discusión de la efectividad de la práctica activa de Biología Evolutiva**

Respecto a la práctica basada en el uso de analogías lingüísticas para la enseñanza de conceptos evolutivos, el análisis de los resultados de su implementación (año académico 5) muestra la

efectividad de esta intervención en relación al aprendizaje de conceptos de filogenia molecular (figura 1.27); ya que se observa un aumento significativo de la nota del postest respecto a la del pretest (la mediana aumenta desde 5 en el pretest hasta 6 en el postest,  $p$ -valor $<0,001$ , test de Wilcoxon). Esta observación concuerda con distintos trabajos previos que han señalado la efectividad de las analogías en el aprendizaje de las ciencias (Bean *et al.*, 1990; Çalik *et al.*, 2009; Glynn, 2008; Paris y Glynn 2004; Rothhaar *et al.*, 2006; Srivastava y Ramada, 2013); recomendando su implementación como recurso para su enseñanza, especialmente en áreas como la evolución (Hertweck, 2014).



**Figura 1.27.** Resultados obtenidos por los participantes antes, pretest (cajas vacías), y después, postest (cajas grises), de la implementación de la intervención sobre filogenia basada en analogías lingüísticas, durante el año académico 5. Las cajas representan la distribución de los resultados. La recta horizontal dentro de cada caja representa la mediana, los límites inferiores y superiores de cada caja corresponden a los percentiles 25 y 75, y la terminación inferior y superior de las líneas verticales se aproximan a los percentiles 5 y 95. La línea horizontal sobre las cajas une grupos significativamente diferentes (\*\* $p$ -valor $<0,001$ , test de Wilcoxon).

Ante estos resultados, y teniendo en cuenta la importancia de las analogías como herramienta para la enseñanza de las ciencias (Glynn, 2008; Talanquer, 2004); se surgiere incorporar, en la formación inicial de futuros maestros, secuencias de enseñanza-aprendizaje con las que abordar las analogías como recurso didáctico y en las que explicar conceptos científicos a través de su uso (Mastrilli, 1997; Yerrick *et al.*, 2003). Además, la implementación de las analogías permite relacionar distintas áreas de conocimiento, lo que posibilita la inclusión de aspectos interdisciplinarios y de CTS (Richland y Simms, 2015). En concreto, la analogía lingüística desarrollada para la enseñanza de conceptos evolutivos involucra competencias biológicas, matemáticas, lingüísticas, históricas y geográficas; a la vez que permite abordar las herramientas de análisis de filogenia molecular. De este modo, la inclusión de actividades basadas en analogías permitiría formar, a los futuros maestros, en dichos aspectos.



### **1.5.2 Análisis del efecto del pretest en el nivel de conocimientos de Biología posteriores de los maestros en formación inicial**

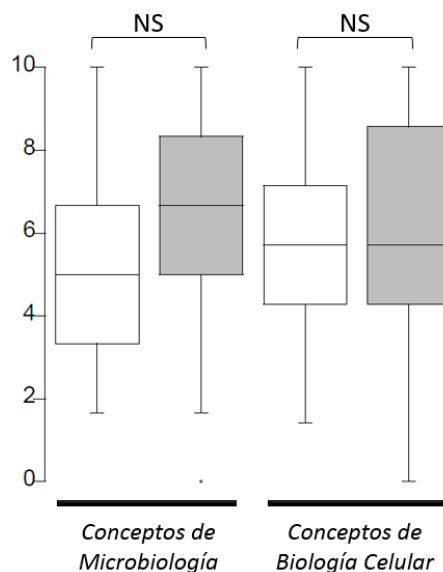
El análisis de los resultados de la implementación de la práctica activa diseñada para la enseñanza de conceptos de Biología Celular, Física y Química, durante el año académico 2 (n=154, muestra dividida en un subgrupo control que solo realizaba el postest y un subgrupo experimental que realizaba el pretest y el postest); sugiere que el hecho de conocer las preguntas del pretest no influye significativamente en el nivel de conocimientos posteriores de Biología de los alumnos (no provoca un aumento en la nota del postest). Esta afirmación se basa en que no se observan diferencias significativas (p-valor=0,38, test de Wilcoxon) entre la nota postest del grupo experimental (mediana de 5,71) y la nota del postest del grupo control (mediana de 5,71) (figura 1.25). Es decir, conocer las preguntas del postest no influye en los resultados de aprendizaje de los alumnos.

Esto concuerda con los resultados de un metaanálisis (Wilson y Putnam, 1982), que indican que el pretest no tiene efectos significativos en el postest si la cumplimentación de ambos se distancia varios días. Por tanto, teniendo en cuenta este resultado, el aprendizaje detectado con las intervenciones diseñadas en la presente Tesis Doctoral (descrito en el apartado 1.5.1), se debería a las características potenciales de las prácticas diseñadas (y no al conocimiento previo de las preguntas del postest).

### **1.5.3 Análisis de la influencia de las intervenciones diseñadas en el nivel de conocimientos de Biología de maestros en formación inicial a largo plazo**

El análisis de los resultados de los retest aplicados, con una submuestra de los participantes durante el año académico 2 (n=107), entre 2 y 3 meses después de la realización de los postest correspondientes a las prácticas diseñadas para la enseñanza de Biología Celular y Microbiología; revela que los conocimientos adquiridos con las mismas se mantienen en un periodo de tiempo más largo. Esta afirmación se respalda en que no se observan, para ambas intervenciones, diferencias significativas entre la nota del postest (calculada teniendo en cuenta solo las preguntas incluidas en el retest) y la nota del retest (figura 1.28).

Así, no existen diferencias estadísticamente significativas (p-valor=0,08, test de Wilcoxon) entre la nota del postest de los conceptos de Microbiología seleccionados (mediana de 5) y la nota del retest (mediana de 6,66). Igualmente, no se observan diferencias significativas (p-valor=0,06, test de Wilcoxon) entre la nota del postest de los conceptos de Biología Celular seleccionados (mediana de 5,71) y la nota del retest (mediana de 5,71).



**Figura 1.28.** Resultados obtenidos por los participantes en las preguntas seleccionadas del postest (cajas vacías) y en el retest (cajas grises) de las intervenciones diseñadas para la enseñanza de Microbiología y Biología Celular. Las cajas representan la distribución de los resultados. La recta horizontal dentro de cada caja representa la mediana. Los límites inferiores y superiores de cada caja corresponden a los percentiles 25 y 75 respectivamente. La terminación inferior y superior de las líneas verticales se aproximan a los percentiles 5 y 95, respectivamente. La línea horizontal sobre las cajas de los grupos no estadísticamente significativos (NS) ( $p$ -valor  $> 0,05$ , test de Wilcoxon).

En la interpretación de estos resultados es necesario tener en cuenta la posible influencia de otros factores como la asistencia a clases teóricas de la asignatura o el estudio autónomo de estos contenidos; sobre todo si se tiene en cuenta que los retest fueron cumplimentados por los participantes al final del cuatrimestre y, por tanto, cerca del examen de contenidos de la asignatura. Aun así, estos resultados muestran que el nivel de conocimientos, sobre estos contenidos biológicos, adquiridos con ambas intervenciones se mantiene en el largo plazo. Estas observaciones están en consonancia con investigaciones previas que han revelado el efecto duradero, respecto al aprendizaje de conceptos científicos, de las actividades prácticas activas desarrolladas bajo investigación dirigida (Derting y Ebert-May, 2010; Kogan y Laursen, 2014).

#### **1.5.4 Detección de concepciones alternativas sobre Biología Celular y Microbiología en maestros en formación inicial**

La presencia de las principales concepciones alternativas sobre Biología Celular y Microbiología descritas en la bibliografía se analiza, en la muestra de futuros maestros durante el año académico 2 ( $n=154$ ), antes de las intervenciones diseñadas para la enseñanza de contenidos de ambas disciplinas biológicas, a través del pretest. El análisis de los resultados indica que todas las concepciones alternativas analizadas se han detectado en algunos de los alumnos de la muestra (tablas 1.5 y 1.6).

### 1.5.4.1 Ideas alternativas sobre Biología Celular en maestros en formación inicial

Las concepciones alternativas sobre Biología Celular (tabla 1.5) más extendidas en la muestra analizada, según los pretest de la intervención sobre Biología Celular, son:

- El desconociendo de la presencia de material genético en cloroplastos y mitocondrias (86 % de los alumnos), restringiendo su localización únicamente al núcleo celular. Esto coincide con lo señalado por Caballero (2008), quien detectó una confusión a la hora de identificar la localización del material genético en alumnos de 1º de Bachillerato que cursaban una asignatura obligatoria de Ciencias Naturales. Según esta autora, la presencia de esta concepción está relacionada con la ausencia del tratamiento de este concepto en los libros de texto y otros materiales educativos utilizados en la ESO.

**Tabla 1.5.** Conceptos de Biología Celular en los que se basan las preguntas del pretest. Para cada concepto se indica el porcentaje de acierto de la pregunta relacionada, resaltando en negrita los conceptos y porcentajes de aciertos inferiores al 50 %.

<i>Concepto</i>	<i>Porcentaje de aciertos</i>
<i>El ADN es un ácido nucleico</i>	80 %
<i>El ADN se encuentra en todas las células de los seres vivos</i>	71 %
<i>El ADN es el atributo común de todos los seres vivos y algunos no vivos como los virus</i>	78 %
<b><i>Los cromosomas sexuales se encuentran en todas las células con núcleo</i></b>	<b>26 %</b>
<i>La principal diferencia de una célula eucariota y una procariota es la posesión de núcleo celular</i>	67 %
<b><i>El ADN se encuentra en el núcleo celular y en algunos orgánulos como las mitocondrias y los cloroplastos</i></b>	<b>14 %</b>
<b><i>Algunos orgánulos celulares están rodeados por una membrana de composición similar a la membrana plasmática</i></b>	<b>24 %</b>
<b><i>La pared celular de las células vegetales es una estructura rígida de celulosa</i></b>	<b>40 %</b>
<b><i>Los cloroplastos son una estructura exclusiva de las células vegetales, mientras que las mitocondrias lo son de las células eucariotas (animales y vegetales)</i></b>	<b>43 %</b>
<i>El propósito de la respiración celular es proporcionar energía para las actividades celulares</i>	63 %
<i>Las células que destruyen a las bacterias que invaden el cuerpo son los glóbulos blancos</i>	59 %
<b><i>La función del núcleo celular es controlar las actividades celulares</i></b>	<b>38 %</b>

- La situación de los cromosomas sexuales exclusivamente en los gametos (74 %), en lugar de en el núcleo de todas las células, resultado que coincide con lo indicado por Banet y Ayuso (1995), quienes detectaron la presencia de esta idea en una muestra formada por alumnos de 4º de ESO y 1º y 2º de Bachillerato. Según estos autores, se debe tener en cuenta que el término cromosoma, así como otros conceptos genéticos, pueden ser interpretados por los alumnos con significado diferente al atribuido por el

docente. Como consecuencia de esto, sin ser conscientes de ello, los docentes pueden reforzar nociones equivocadas con sus explicaciones.

- El desconocimiento de la estructura y composición de las membranas biológicas (76 %) y la pared celular de las células vegetales (60 %), así como una confusión acerca de la función del núcleo celular (62 %), al que se le atribuyen otras funciones como producir alimento o energía. Estos resultados están en consonancia con investigaciones anteriores (Caballer y Giménez, 1993; Camacho *et al.*, 2012; Díaz de Bustamante y Jiménez, 1996) que resaltan la falta de conocimiento del alumnado de las estructuras celulares básicas tanto en la ESO y en Bachillerato, como en alumnos de 2º de Magisterio en el caso del estudio realizado por Díaz de Bustamante y Jiménez (1996). Según estos últimos autores, la presencia de concepciones alternativas referentes a la estructura de la célula se debe al desconocimiento, por parte de los alumnos, de las células como estructuras tridimensionales; así como al escaso desarrollo de actividades de Biología en las que se realicen observaciones microscópicas, y con las que se contribuya al estudio de las distintas estructuras celulares mediante la realización de dibujos y diagramas que impliquen la interpretación, diferenciación y reconocimiento de las mismas. Esta idea es defendida también por Caballer y Giménez (1993), quienes destacan que estas actividades deben realizarse desde la Educación Primaria, incluyendo además la utilización de fotografías y gráficos, en las clases de Biología de esta etapa, como un importante recurso para favorecer el aprendizaje de la estructura celular. La presencia de estas concepciones puede deberse, además, al carácter abstracto que tiene para los alumnos el concepto de célula (Dreyfus y Jungwirth, 1989), lo que hace necesario el diseño y puesta en práctica de actividades con las que clarificar dicho concepto (Caballer y Giménez, 1993; Camacho *et al.*, 2012).
- La identificación de la mitocondria como orgánulo propio de células animales (57 %), en contraposición a los cloroplastos como estructura propia de las células vegetales. Esto coincide con lo señalado por García (1991), quien detectó la presencia de esta concepción en alumnos de Bachillerato. Este autor comprobó, además, que esta y otras concepciones no se superaron a lo largo de los estudios de Bachillerato, llegando incluso a reforzarse en algunos casos; demostrando, al igual que numerosas investigaciones previas, la incapacidad de la enseñanza tradicional de las ciencias para hacer frente a las concepciones alternativas. Ante esta situación, propone integrar el nivel celular dentro de los distintos niveles de organización de los seres vivos, para evitar su tratamiento como un ente aislado, cuya enseñanza habitual se basa principalmente en estudiar nuevos nombres de estructuras que posteriormente los alumnos olvidan.

El resto de concepciones alternativas analizadas se encuentran presentes en menos del 50 % de la muestra, resultado que no coincide con lo descrito en la bibliografía. Una posible causa que podría explicar por qué no están tan ampliamente extendidas, como indican otras investigaciones, es que muchos de los estudios utilizados para elaborar el cuestionario se llevaron a cabo con una muestra de alumnos de Educación Secundaria (ya que estos estudios abundan más que las investigaciones realizadas con maestros en formación). Esta diferencia de edad implica una importante diferencia de nivel educativo con los alumnos que componen la muestra, la cual podría ser la causa de las diferencias observadas.

#### **1.5.4.2 Ideas alternativas sobre Microbiología en maestros en formación inicial**

Respecto a las concepciones alternativas de Microbiología (tabla 1.6), el análisis de los resultados del pretest de la intervención sobre Microbiología indica que las concepciones alternativas más extendidas en la muestra analizada son:

- La identificación de los virus como seres vivos (77 %), junto con bacterias y levaduras. Esto coincide con lo señalado por Jones *et al.* (2013), quienes detectaron la presencia de esta concepción en estudiantes universitarios y propusieron como posible causa la experiencia personal de los alumnos al contraer infecciones causadas por estos agentes. También coincide con los resultados de Simonneaux (2010), según los cuales, los términos “virus” y “bacteria” son intercambiables para muchos alumnos, lo cual se debe en parte al tratamiento en el aula de ambos como agentes infecciosos para los seres humanos. Jones *et al.* (2013) destacan el importante papel que tiene realizar actividades prácticas de laboratorio, relacionadas con conceptos de Microbiología, durante las etapas educativas obligatorias para evitar la dispersión de esta y otras concepciones alternativas de Microbiología, así como para favorecer el cambio conceptual.
- El desconocimiento de los conceptos de esterilización (73 %) y asepsia (56 %), existiendo una confusión entre ambos conceptos que ya ha sido detectada en estudios previos en muestras del nivel de ESO (Simonneaux, 2010; Teodoro y Chambel, 2013).
- El desconocimiento de las aplicaciones industriales de los microorganismos (72 %), detectada por varias investigaciones previas (Díaz *et al.*, 1996; Gardner y Jones, 2011; Simonneaux, 2010) tanto en alumnos de Educación Secundaria como en maestros en formación. Según Simonneaux (2010), la presencia de concepciones alternativas relacionadas con el papel de los microorganismos en la industria limita el conocimiento por parte de estos de la Biotecnología. Dada la importancia de las aplicaciones biotecnológicas en la sociedad actual, es necesario que los docentes tengan en cuenta las concepciones alternativas relacionadas con el papel de los microorganismos en la Biotecnología a la hora de diseñar actividades para su enseñanza. Díaz *et al.* (1996)

defienden que dichas actividades deben realizarse desde la Educación Primaria, partiendo de experiencia sencillas relacionadas con las transformaciones alimentarias.

**Tabla 1.6.** Conceptos de Microbiología en los que se basaban las preguntas del pretest. Para cada concepto se indica el porcentaje de acierto de la pregunta relacionada, resaltando en negrita los conceptos y porcentajes de aciertos inferiores al 50 %.

<i>Concepto</i>	<i>Porcentaje de aciertos</i>
<i>Los microorganismos son seres vivos que realizan las tres funciones vitales</i>	61 %
<i>Los microorganismos son microscópicos pero pueden cultivarse y verse a simple vista</i>	85 %
<b><i>Los microorganismos son ubicuos</i></b>	<b>42 %</b>
<i>Los microorganismos más primitivos vivían en el agua</i>	63 %
<b><i>Solo algunos microorganismos son patógenos</i></b>	<b>47 %</b>
<b><i>Los microorganismos tienen numerosas aplicaciones en la industria alimentaria</i></b>	<b>28 %</b>
<b><i>Los virus no son seres vivos</i></b>	<b>23 %</b>
<b><i>El agua es el requerimiento nutricional básico de los microorganismos</i></b>	<b>29 %</b>
<b><i>Los mecanismos de esterilización eliminan a todos los microorganismos</i></b>	<b>27 %</b>
<b><i>Lavarse las manos es un mecanismo de asepsia</i></b>	<b>44 %</b>
<i>Las vacunas proporcionan al cuerpo humano inmunidad a largo plazo contra algunas enfermedades</i>	80 %
<b><i>Los antibióticos son unas sustancias utilizadas para eliminar a todos los microorganismos, incluidas las bacterias</i></b>	<b>31 %</b>

- El desconocimiento del agua como requerimiento nutricional básico de los microorganismos (71 %), indicando mayoritariamente que otros factores (luz, azúcar u oxígeno) son indispensables para el crecimiento de los mismos.
- El reconocimiento de los antibióticos como sustancias utilizadas para eliminar a todos los microorganismos (69 %), lo cual coincide con lo indicado previamente por Prout (1985), Romine *et al.* (2013) y Teodoro y Chambel (2013), quienes detectaron su presencia en muestras de los niveles de ESO y Bachillerato. Según Teodoro y Chambel (2013), a pesar de la importancia de este concepto y de la amplia dispersión entre el alumnado de diferentes niveles de concepciones alternativas relacionadas con él, los antibióticos y su uso no son recogidos como conceptos relevantes en los libros de texto. De acuerdo con estos últimos autores, los profesores de Biología deben aprovechar que los antibióticos son sustancias conocidas por los alumnos para desarrollar actividades que, conectando con su vida diaria, clarifiquen este y otros conceptos microbiológicos, resaltando las interacciones CTS. Esta situación se hace aún más necesaria en el contexto actual, en el que son cada vez más comunes las situaciones de resistencia a antibióticos.

- La falta de reconocimiento de la ubicuidad de los microorganismos (58 %), indicando que en determinados ambientes, como una mesa limpia, el aire del campo o las profundidades marinas no hay microorganismos. Esto contrasta con algunos estudios previos que indican que la ubicuidad de los microorganismos es generalmente conocida por los alumnos (Byrne, 2011; Teodoro y Chambel, 2013), excepto para determinar su presencia en el cuerpo humano.
- La identificación de todos los microorganismos como agentes patógenos (53 %), lo cual ha sido señalado con anterioridad por Jones y Rua (2006), Rachman (2004) y Teodoro y Chambel (2013). Estos autores apuntan a que una de las principales causas por la que esta idea alternativa está tan extendida es que los educadores de los niveles educativos básicos, entre los que se encuentran los maestros de Educación Primaria, se centran en el rol de los microorganismos como agentes infecciosos, mediante el tratamiento de distintas enfermedades víricas y bacterianas de gran incidencia en las poblaciones humanas, reforzando así la imagen negativa de estos.

De forma similar a los resultados obtenidos en el análisis de concepciones relativas a Biología Celular, el resto de concepciones alternativas relativas a Microbiología, analizadas con el cuestionario, estaban presentes en menos del 50 % de la muestra, lo cual podría explicarse por la diferencia de edad y de nivel educativo de la muestra utilizada en las distintas investigaciones.

#### **1.5.4.3 Discusión: implicaciones formativas de las ideas alternativas de Biología de los maestros en formación inicial**

En conjunto, estos resultados evidencian que los estudiantes del Grado en Educación Primaria de la Universidad de Extremadura presentan concepciones alternativas sobre Biología, algunas de las cuales están muy extendidas como: la ausencia de material genético en mitocondrias y cloroplastos, la identificación de las mitocondrias como orgánulos exclusivos de las células animales en contraposición a los cloroplastos en las células vegetales, el reconocimiento de los virus como seres vivos y la identificación de los antibióticos como sustancias utilizadas para eliminar a todos los microorganismos, así como una visión negativa de los microorganismos que obvia sus aplicaciones industriales e importancia en la vida cotidiana de los alumnos y los asocia al desarrollo de enfermedades. La presencia de concepciones alternativas sobre Biología, y otras ramas de las Ciencias Experimentales, en maestros de Educación Primaria en formación, pone de manifiesto la existencia de algunas deficiencias en la formación científica de estos. Dichas deficiencias afectan directamente a su práctica docente, ya que provocan una falta de confianza del maestro para enseñar ciencias (Appleton, 2003). Como consecuencia de esto, en ocasiones, los maestros implementan metodologías y realizan actividades que no son las más idóneas para la enseñanza de ciertos conceptos científicos, con el único fin de mantener el control del aula. Además, la presencia de concepciones alternativas en maestros dificulta la

identificación, por parte de estos, de dichas concepciones en sus alumnos y no favorece la incorporación, en su acción docente, de los elementos necesarios para propiciar su transformación (Flores y Ruiz, 2011). Por tanto, esta situación genera una importante restricción para una enseñanza de las ciencias de calidad.

Además de condicionar su labor docente, las concepciones alternativas de los maestros constituyen una de las principales fuentes de su dispersión en las aulas de Educación Primaria (Kikas, 2004; Schoon, 1995; Trundle *et al.*, 2002). Como consecuencia, la presencia de concepciones alternativas en los maestros conlleva la enseñanza de las mismas como conceptos científicos correctos, favoreciéndose así su dispersión y perpetuación. Las concepciones alternativas relativas a Microbiología y Biología Celular, detectadas en maestros en formación, podrían favorecer la dispersión entre los alumnos de Educación Primaria de conceptos erróneos relativos a la célula y su estructura, de la idea de que un antibiótico puede curar una infección provocada por un virus o de la visión negativa de todos los microorganismos como agentes patógenos. Esta situación compromete la formación de los alumnos de Educación Primaria en estas áreas biológicas, ya que resulta muy difícil que aquellos profesores que tienen determinadas concepciones alternativas sobre un tema puedan ayudar a sus alumnos a superarlas (Arons, 1981). Por ello, la detección de las concepciones alternativas de los maestros, y su posterior tratamiento en los programas formativos, resulta clave para evitar la perpetuación de dichas concepciones entre los alumnos de Educación Primaria y para mejorar con ello su formación científica.

El reconociendo de las deficiencias formativas de los maestros debería tener, por tanto, implicaciones en el diseño de los programas de formación de estos; ya que son los maestros los encargados de introducir, a los alumnos de Educación Primaria, muchos conceptos de las Ciencias Naturales que constituyen la base a partir de la cual se desarrolla el futuro aprendizaje de las ciencias durante la Educación Secundaria (Kikas, 2004). Los programas formativos de los estudiantes de los grados en Educación Primaria deberían contemplar que estos estudiantes, al igual que el resto de los estudiantes universitarios y que el resto de los ciudadanos, poseen concepciones alternativas sobre los conceptos de ciencias que tienen que enseñar a sus alumnos, y que esto tiene graves consecuencias en la calidad de sus prácticas educativas, así como en la validez de los conocimientos científicos que transmiten a sus alumnos (Fernández y Peña, 2008). Por ello, es necesario implementar, dentro de las distintas materias del área de Didáctica de las Ciencias Experimentales de los grados en Educación Primaria, mecanismos con los que detectar las principales concepciones alternativas de estos estudiantes, para posteriormente desarrollar secuencias de enseñanza-aprendizaje dirigidas a corregir dichas concepciones y, así, mejorar la formación disciplinar en ciencias de estos estudiantes. Esta formación inicial de los futuros maestros también debería incluir la enseñanza de estrategias para detectar las ideas



previas de los alumnos de Educación Primaria (Larkin, 2012) y para desarrollar intervenciones con las que enfrentarse a ellas y disminuir su presencia. Además, es necesario que los futuros maestros adquieran estrategias con las que puedan identificar sus propias concepciones y conozcan cómo las pueden transmitir en el futuro ejercicio de su práctica docente. Para que los futuros maestros alcancen un aprendizaje significativo, en los procesos de formación inicial, se deberían introducir actividades problemáticas mediante las cuales los estudiantes puedan cuestionar sus propias concepciones y poner a prueba los nuevos conocimientos adquiridos (Carrascosa, 2005). Uno de los tipos de actividades a desarrollar con este fin son, como se ha señalado anteriormente, las actividades prácticas de laboratorio (Caballer y Giménez, 1993; Díaz de Bustamante y Jiménez, 1996; Díaz *et al.*, 1996; Jones *et al.*, 2013; Simonneaux, 2010). En este sentido, las intervenciones prácticas diseñadas en esta Tesis Doctoral, podrían emplearse para sustituir las concepciones alternativas detectadas por los conceptos científicos aceptados por la comunidad científica y, por tanto, adecuados para formar científicamente a los alumnos de Educación Primaria.

### 1.5.5 Análisis de las analogías propuestas por maestros en formación inicial para la enseñanza de conceptos de Ciencias Naturales

El análisis de las analogías propuestas, por una submuestra de maestros en formación inicial (n=125) durante el año académico 3, revela que algunos alumnos proponen alguna analogía correcta para todos los conceptos presentados. Sin embargo, resaltan los altos porcentajes correspondientes a analogías incorrectas y, sobre todo, a ausencia de analogías (tabla 1.7).

**Tabla 1.7.** Porcentaje de analogías correctas, incorrectas o ausencia de analogías propuestas para los distintos conceptos de Ciencias de la Naturaleza presentados a los participantes.

<i>Concepto</i>	<i>Analogías propuestas</i>		
	<i>% Correctas</i>	<i>% Incorrectas</i>	<i>% Ausencias</i>
<i>Volcán</i>	55	2	43
<i>Sonidos de los animales (croar, balar)</i>	51	19	30
<i>Piara</i>	66	0	34
<i>Aleta</i>	49	17	34
<i>Tubérculo</i>	1	37	62
<i>Corazón</i>	22	16	62
<i>Riñón</i>	56	15	28
<i>Respuesta inmune</i>	22	17	61
<i>Célula</i>	29	0	71
<i>Impulso nervioso</i>	26	0	74

Para cada uno de los 10 conceptos de Ciencias Naturales propuestos, el porcentaje de analogías correctas, analogías incorrectas y ausencia de propuestas es diferente:

- Para el concepto de “volcán”, el 55 % de la muestra propone alguna analogía correcta, el 43 % no realiza propuestas y el 2 % propone un análogo incorrecto (chimenea). Un 27,5 % de las analogías correctas permiten explicar tanto la estructura como el funcionamiento del volcán (olla con agua hirviendo, fuente de chocolate, cafetera...), mientras que las restantes abordan aspectos concretos como la estructura (bombón o pastel relleno como análogos del cono volcánico que contiene el magma), o la estructura y la erupción sin incorporar el calor (hormiguero con hormigas saliendo o botella de bebida con gas agitada como análogos de la salida del magma).
- El 51 % de la muestra propone analogías correctas para explicar los sonidos de ranas y ovejas (las personas hablan, los perros ladran, los gatos maúllan, los pájaros pian o varios a la vez; destacando los dos primeros con un 39,1 % y un 28,1 % respectivamente). El 19 % de los alumnos propone análogos incorrectos (distintos idiomas o acentos, o sonidos de instrumentos). El 30 % de los participantes no propone analogías para estos conceptos.
- En relación al concepto de “piara”, el 66 % de la muestra propone análogos correctos como conjuntos de personas (familia, clase, equipo de fútbol... , en un 59 %), rebaño (21,7 %), jauría (4,8 %), bosque (2,4 %), banco de peces (2,4 %), manada de lobos (1,2 %), panal de abejas (1,2 %), bandada de pájaros (1,2 %) o varios a la vez. El 34 % de los futuros maestros no propone ningún análogo con el que abordar este concepto.
- El 49 % de la muestra propone analogías correctas para explicar la estructura y la función de las “aletas” en la locomoción de los peces (extremidades humanas o de animales terrestres en un 59 %, alas de pájaros -11,5 %-, alas de avión -8,2 %- y velas de barcos -6,6 %-). El 17 % propone analogías incorrectas (abanico, rabo de perro o hélice de barco) y un 34 % no realiza ninguna propuesta.
- El 1 % de la muestra propone una analogía correcta para “tubérculo” (el tejido graso de los humanos y su función de reserva). El 37 % describe analogías incorrectas (destacando un 51 % que propone ejemplos como la patata) y el 62 % no propone ninguna analogía.
- El 2 % de la muestra propone una analogía correcta para explicar el “funcionamiento del corazón” (bomba de aire o agua), el 16 % propone análogos erróneos (depuradora o motor de un coche) y el 62 % no realiza ninguna propuesta.
- Respecto a “funcionamiento del riñón”, el 56 % de la muestra propone análogos correctos (filtro -76 %- y depuradora -24 %-), el 15 % incorrectas (embudo o esponja), y el 28 % no propone ninguna analogía.
- El 22 % de la muestra propone análogos correctos para explicar la “respuesta inmune”: policía o ejército (89 %) y portero o defensa de un equipo de futbol (11 %). El 17 % describe analogías incorrectas al proponer análogos con los que abordar barreras

externas del organismo como la piel (muralla, chaleco, armadura...), y el 61 % no propone ninguna analogía.

- Con relación a “célula”, el 29 % de la muestra describe alguna analogía correcta. El 36 % de ellas explican solo la estructura celular (huevo o fruta con hueso), mientras que otras (64 %) abordan su funcionamiento (reparto de tareas en una familia, ciudad, oficina, fábrica...). El 71 % de los alumnos no propone ningún análogo.
- El 26 % de la muestra propone analogías correctas para “impulso nervioso”: transmisión de electricidad a través de cables (72 %), servicio de mensajería (9 %), efecto dominó (6 %), carrera de relevos (3 %)... El 74 % de la muestra no describe ninguna analogía.

Estos resultados concuerdan con las investigaciones previas que han revelado una escasa implementación correcta de las analogías en la enseñanza de las ciencias (Mastrilli, 1997; Ordoñez *et al.*, 2013; Treagust *et al.*, 1992). Como afirma Glynn (2008), con frecuencia los profesores implementan analogías sin pensar sobre ellas, planteando analogías incorrectas que dificultan el aprendizaje y contribuyen a generar errores conceptuales. Los resultados obtenidos indican que, de forma mayoritaria, los maestros en formación no son capaces de plantear analogías para los conceptos científicos presentados (hasta un 74 % para “impulso nervioso”) o describen analogías incorrectas (hasta un 37 % para “tubérculo”). Aunque existen pocos estudios sobre el uso de analogías por docentes en formación, este uso incorrecto de analogías, por parte de los mismos en la enseñanza de las ciencias, ha sido descrito en algunas investigaciones previas que han detectado que estos generalizan en exceso al presentar analogías y describen análogos incorrectos (basados en sus experiencias personales y resaltando características secundarias del blanco), en ocasiones relacionados con ideas alternativas (Baysen y Baysen, 2013; Davis y Petish, 2005; Nottis y McFarland, 2001; Yerrick *et al.*, 2003).

Los resultados del presente estudio también indican que estos alumnos describen un mayor número de análogos correctos para los conceptos más simples (51 % para “sonidos animales”, 66 % para “piara”, 49 % para “aleta”), lo cual concuerda con estudios previos que han revelado la incapacidad de los futuros docentes para plantear análogos para conceptos más abstractos (Nottis y McFarland, 2001), aquellos en los que, como afirman estos investigadores, la implementación de las analogías como recurso didáctico resulta precisamente más útil. Esta incapacidad de proponer analogías para determinados conceptos científicos de los participantes podría estar relacionada con su nivel de formación científica, ya que la mayoría no estudió ciencias en el Bachillerato. Además, en el caso del concepto de “tubérculo”, existe una confusión entre analogía y ejemplo, fenómeno que ha sido descrito por Treagust *et al.* (1992) para docentes en activo.

Estos resultados podrían evidenciar una falta de preparación de los futuros maestros para implementar analogías como recurso en la enseñanza de las Ciencias Naturales en Educación

Primaria. Dada esta circunstancia, sería recomendable incluir, en los procesos de formación inicial de maestros, secuencias de enseñanza-aprendizaje con las que abordar las analogías como recurso didáctico en la enseñanza de las ciencias (Mastrilli, 1997; Oliva *et al.*, 2001; Treagust *et al.*, 1992; Yerrick *et al.*, 2003). De este modo, es preciso formar a los futuros maestros en: i) El pensamiento analógico y el significado de las analogías (Mastrilli, 1997); ii) Sus diferencias con otras herramientas didácticas basadas en la comparación como los símiles, las metáforas y, sobre todo (en base a los resultados de esta investigación), los ejemplos (Oliva, 2008); iii) Las características de una analogía eficaz (accesible, concreta, tangible, con un grado de semejanza intermedia entre el análogo y el blanco y sin relación con actitudes negativas e ideas alternativas) (Mastrilli, 1997; Oliva *et al.*, 2001); iv) El papel de las analogías incorrectas en la dispersión de ideas alternativas (Treagust *et al.*, 1992); v) La necesidad de considerar el conocimiento previo de los alumnos antes de implementar una analogía (Mastrilli, 1997; Treagust *et al.*, 1992); y vi) En las distintas etapas del modelo TWA (Glynn, 1991) como mecanismo básico para implementar una analogía (Mastrilli, 1997), así como en la necesidad de otorgar un papel activo a los alumnos en las actividades basadas en analogías, en las que el docente debe actuar como guía (Oliva *et al.*, 2001).

La formación didáctica en analogías requiere además, y de acuerdo con los resultados de investigaciones previas, una mejora en la formación científica de los futuros maestros. De este modo, la actual formación disciplinar no es suficiente para favorecer el desarrollo de analogías de calidad, ya que se caracteriza por un conocimiento demasiado superficial de los contenidos científicos (Mastrilli, 1997; Nottis y McFarland, 2001). De acuerdo con estos investigadores, una buena formación en contenidos es imprescindible para el diseño de analogías, que es un proceso complejo que requiere de un conocimiento en detalle de las características del blanco para poder trazar semejanzas y diferencias con el análogo. Esta circunstancia se agrava, de acuerdo con los resultados de esta investigación, para los conceptos más abstractos.

Una manera de ejecutar estas sesiones es emplear las analogías como recurso en la enseñanza de conceptos científicos concretos incluidos en su programa formativo (Yerrick *et al.*, 2003). En este sentido, la actividad práctica basada en analogías, diseñada en la presente Tesis Doctoral, para la enseñanza de conceptos filogenéticos constituye un ejemplo de este tipo de actividades.

## **1.6. Conclusiones**

En el presente capítulo se han descrito tres prácticas activas (dos basadas en la investigación dirigida y una en el uso de analogías, en las que se resaltan la interdisciplinariedad y las interrelaciones CTS) diseñadas para la enseñanza de conceptos científicos (Biología Celular, Física, Química, Microbiología, Biología Evolutiva...) a maestros en formación inicial. Los resultados evidencian la efectividad de dichas prácticas respecto al aprendizaje de contenidos científicos de estos alumnos. Respecto a los objetivos específicos planteados los resultados revelan que:

- La práctica activa, basada en la investigación dirigida y en la extracción de ADN con materiales cotidianos, favorece el aprendizaje interdisciplinar de conceptos de Biología Celular y de Física y Química en los maestros en formación inicial participantes.
- La práctica activa, basada en la investigación dirigida y en el cultivo microbiano, favorece el aprendizaje de conceptos de Microbiología en los maestros en formación inicial participantes.
- La práctica activa, basada el uso de analogías lingüísticas, favorece el aprendizaje de conceptos de Biología Evolutiva de los maestros en formación inicial participantes.
- Conocer previamente las preguntas del postest no influye significativamente en el nivel de conocimientos de Biología de los futuros maestros participantes tras las intervenciones implementadas.
- Los conocimientos adquiridos, por los maestros en formación inicial participantes, con las prácticas activas, basadas en la investigación dirigida y diseñadas para la enseñanza de Biología Celular y Microbiología, no disminuyen al transcurrir un periodo de tiempo más amplio (2-3 meses).
- Los maestros en formación inicial participantes presentan concepciones alternativas sobre Biología Celular y Microbiología; algunas de las cuales están muy extendidas como la ausencia de material genético en mitocondrias y cloroplastos, la identificación de las mitocondrias como orgánulos exclusivos de las células animales, el reconocimiento de los virus como seres vivos, la identificación de los antibióticos como sustancias para eliminar a todos los microorganismos y una visión negativa de estos que obvia sus aplicaciones biotecnológicas y los asocia a la patogenicidad.
- En su mayoría, los maestros en formación inicial participantes no son capaces de plantear analogías para la enseñanza de conceptos de Ciencias de la Naturaleza en Educación Primaria, sobre todo para los blancos más abstractos; o describen análogos incorrectos para su enseñanza, resaltando la confusión con los ejemplos.



**CAPÍTULO 2. EMOCIONES DE LOS MAESTROS EN  
FORMACIÓN INICIAL HACIA LA ENSEÑANZA  
PRÁCTICA DE BIOLOGÍA**





## **2.1. Introducción**

La educación es una actividad emocional: durante los procesos de enseñanza-aprendizaje alumnos y profesores experimentan numerosos cambios en sus emociones. La investigación en Didáctica de las Ciencias sugiere que las emociones experimentadas por los alumnos, con las actividades realizadas en el aula o en el laboratorio, influyen en los procesos de enseñanza-aprendizaje. Asimismo, se ha descrito la influencia de varios factores en las emociones de los alumnos: edad, género, metodología implementada... En el presente capítulo se aborda el efecto de la enseñanza práctica de Biología en las emociones académicas de los maestros en formación inicial. En concreto, se analiza el efecto, en las emociones de estudiantes del Grado en Educación Primaria de la Universidad de Extremadura, tanto de las actividades prácticas que realizaron durante la Educación Secundaria como de las tres prácticas activas diseñadas en la presente Tesis Doctoral. Para ello, en primer lugar, se recogen los resultados de investigaciones previas relativas a las emociones, su papel en la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias, así como de los factores que influyen en ellas (sobre todo en maestros en formación inicial). Posteriormente, se detalla el diseño de un cuestionario para estimar las emociones de los participantes, así como los aspectos metodológicos precisos para su validación (consistencia interna en base a su comportamiento factorial, y consistencia externa por comparación con otras investigaciones en las que se han desarrollado instrumentos para estimar emociones académicas). Además, se describe cómo se emplea dicho instrumento para determinar las emociones de los participantes en los distintos contextos estudiados (muestras y análisis de datos). Finalmente, se presentan y discuten los resultados de estos análisis junto con sus implicaciones en la formación inicial de maestros.

### **2.1.1 Emociones: definición, dimensiones y medida**

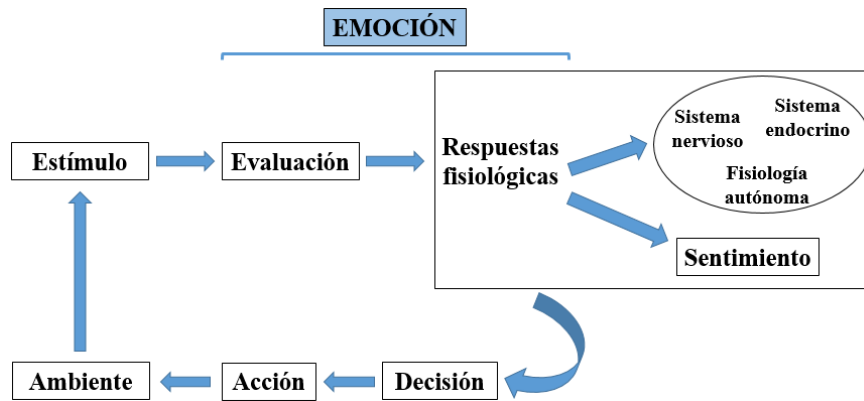
Darwin (1872) sugirió, en su libro *“La expresión de las emociones en el hombre y en los animales”*, que tanto en los humanos como en muchos animales, las emociones forman parte de las características seleccionadas a lo largo de la evolución y cumplen una función adaptativa para la especie, siendo cruciales para su supervivencia. Estudios neurofisiológicos posteriores apoyan la existencia de un dominio afectivo que, dentro de los procesos mentales, tiene entidad propia y que comprende el comportamiento emocional del ser humano. Bloom *et al.* (1956) describieron la existencia de un dominio del comportamiento del ser humano, el dominio afectivo, que comprende el desarrollo de la motivación, las emociones, las actitudes, los intereses, los valores y las creencias de los individuos. Actualmente, el dominio afectivo (también llamado dominio emoción) constituye, de manera clara, uno de los distintos dominios

del comportamiento humano, cuya actividad cerebral ha sido aislada y bien diferenciada de otros tipos de actividad (Laird *et al.*, 2009).

A pesar de esta caracterización fisiológica de las emociones, no existe consenso científico sobre qué es, y qué no es, una emoción (figura 2.1); aunque sí existe consenso, en la comunidad científica, respecto a que las emociones reflejan la capacidad para asignar valor a todo aquello que percibimos a nuestro alrededor, así como sobre las características que se le atribuyen a las mismas (Scherer, 2005; Damasio, 2010):

- Son respuestas adaptativas, es decir, están motivadas por estímulos externos o internos, y tienen como fin ajustar las funciones vitales de los individuos a dichas condiciones.
- Son respuestas subjetivas (dependen de la experiencia pasada de cada individuo). Esto es muy relevante a nivel educativo, ya que explica por qué un mismo contexto académico genera emociones distintas en función del individuo. Como afirma Pekrun (2014, p. 10), “*un estudiante puede sentirse alegre haciendo un problema de Matemáticas, mientras que otro estudiante puede sentirse frustrado con ese mismo problema*”.
- Son respuestas, en gran medida, involuntarias (ya que implican al sistema nervioso autónomo que controla las funciones involuntarias de las vísceras, como la frecuencia cardíaca, la digestión...).

Se llevan a cabo a través de una serie de cambios fisiológicos (cambios físicos y/o químicos que modifican las funciones y mecanismos de los seres vivos) simultáneos. Estos cambios fisiológicos afectan a numerosos sistemas (endocrino, nervioso, digestivo, circulatorio, motor...), órganos (cerebro, estómago...) y funciones (cognitivas, endocrina, respiratoria...), incluida la capacidad de verbalizar la respuesta emocional en forma de sentimientos. La expresión verbal de las emociones es una experiencia subjetiva compleja representada por cientos, sino miles, de términos semánticos diferentes (Cowen y Keltner, 2017; Eliot y Hirumi, 2019).



**Figura 2.1.** Modelo, adaptado de Marinier y Laird (2004), que representa el papel de las emociones en la evaluación de los estímulos, en las respuestas fisiológicas asociadas a estos (incluida la verbalización de las emociones como sentimientos) y en la toma de decisiones para llevar a cabo una acción con la que responder al ambiente.

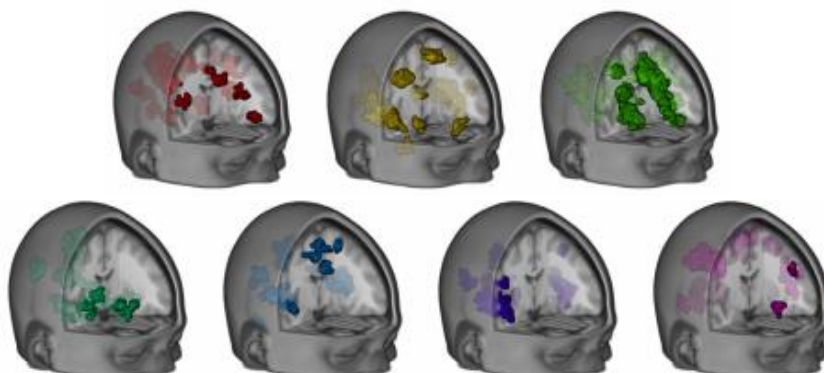
Por tanto, las emociones son reacciones subjetivas a la información recibida del entorno, acompañadas de una serie de cambios fisiológicos que predisponen a una determinada respuesta. Según Damasio (2010), las emociones no sólo son reacciones a los estímulos del presente, sino que también se producen por el recuerdo o evocación de hechos sucedidos en el pasado (emociones retrospectivas) o por el anticipo de posibles situaciones futuras (emociones anticipatorias). Además, una emoción puede ser momentánea o habitual, según si se ha experimentado una vez o se experimenta con frecuencia (Pekrun, 2006). En definitiva, una emoción depende de lo que es importante para el individuo; constituyendo un producto evolutivo con el que valorar los eventos que afronta el ser humano, estimar si son deseables para su futuro y determinar la toma de decisiones para desencadenar una determinada acción (Damasio, 2010; Etkin *et al.*, 2015). Esto último es “*algo que profesores y alumnos tienen que hacer constantemente en clase*” (Mellado *et al.*, 2014; p. 13).

Para describir las emociones se emplean habitualmente varias dimensiones como: i) la valencia (el grado en el que una emoción es beneficiosa, positiva; o perjudicial, negativa), ii) la intensidad con la que se experimenta, iii) la excitación o activación (grado en que una emoción provoca alerta sensorial, movilidad y disposición para responder), iv) el grado de acercamiento o elusión que provoca respecto a una determinada acción y v) su efecto social (Mauss y Robinson, 2009; Posner *et al.*, 2009; Rubin y Talarico, 2009; Watson y Tellegen, 1985; Wentura *et al.*, 2000). Estas dimensiones han sido corroboradas por distintos estudios neurofisiológicos, que han confirmado que existen pautas de activación neuronal correspondientes a las diferentes dimensiones y comunes entre individuos (Kassam *et al.*, 2013; Kragel *et al.*, 2016). Sin embargo, dado que la mayor parte de los estudios neurofisiológicos se centran en las emociones básicas, aún no ha sido descrita la activación neuronal de la mayor parte de las emociones experimentadas en el ámbito académico (Eliot y Hirumi, 2019).

En relación a la clasificación de las emociones, una de las más empleadas es aquella que distingue entre emociones primarias o básicas y secundarias o sociales (Bisquerra, 2005). Las emociones básicas son aquellas que se reconocen a través de las expresiones faciales y que son innatas; de acuerdo con Bisquerra (2005) son la alegría, la sorpresa, la tristeza, la aversión, el miedo y la ira. Mientras, las emociones sociales son aquellas que están relacionadas con el contexto social y son distintas entre individuos. Otras clasificaciones se basan en las dimensiones valencia y activación. La valencia es una dimensión que se ha utilizado para clasificar a las emociones, sobre todo en ambientes académicos. De acuerdo con Fernández-Abascal *et al.* (2001), las emociones se pueden categorizar, según su valencia, en emociones positivas (implican sentimientos agradables y movilizan escasos recursos para su afrontamiento como consecuencia de una valoración favorable), negativas (implican sentimientos desagradables y movilizan muchos recursos para su afrontamiento como consecuencia de una valoración desfavorable) y neutras (no producen reacciones ni agradables ni desagradables y tienen como finalidad facilitar la aparición de otras emociones). Entre las emociones positivas se encuentran la alegría, el entusiasmo, la confianza, la satisfacción, la tranquilidad...; entre las negativas el miedo, el aburrimiento, el nerviosismo, la preocupación, el asco, la tristeza...; y como ejemplo de las emociones neutras destaca la sorpresa. Desde el punto de vista educativo, la clasificación de las emociones en función de la valencia se reduce a su diferenciación en emociones positivas y negativas (Mellado *et al.*, 2014). Respecto a su clasificación en función de la dimensión activación, se diferencian aquellas emociones que facilitan la excitación (emociones estimulantes, que preparan al sujeto para una acción) de aquellas que favorecen la relajación (emociones depresoras) (Díaz y Flores, 2001; Posner *et al.*, 2009).

La complejidad de los procesos emocionales, y la diversidad de las respuestas fisiológicas asociadas a estos, dificultan la posibilidad de integrar las emociones en una medida discreta; más aún si se considera que las emociones son procesos muy variables, dado su carácter individual, situacional e integrador de experiencias presentes y pasadas. Uno de los métodos más comúnmente utilizados es el muestreo mediante cuestionarios en los que los participantes autoinforman de sus emociones ante distintas situaciones presentes, pasadas o futuras. Este método es fácil de implementar, y proporciona medidas de experiencias emocionales subjetivas cuya varianza (entre el 50 y 60 %) puede ser explicada por las dimensiones de valencia y excitación. Sin embargo, se ha descrito que la medida de las emociones, obtenida mediante cuestionarios autoinformes, sufre de algunos sesgos relacionados con la dificultad de los individuos de recordar emociones pasadas y diferenciarlas de las emociones presentes hacia una determinada situación similar (Robinson y Clore, 2002). Además, aunque todavía son escasos los estudios que correlacionan las señales neurofisiológicas con las respuestas a test autoinformes, los resultados disponibles indican una correspondencia entre ambos métodos. El

trabajo de Kragel *et al.* (2016) resulta fundamental para mostrar la congruencia entre las emociones básicas expresadas de una manera simple e inmediata, mediante autoinformes, y dichas emociones identificadas a nivel neurofisiológico (figura 2.2).



**Figura 2.2.** Regiones cerebrales cuya actividad aumenta con autoinformes de las emociones felicidad (rojo), diversión (amarillo), sorpresa (verde), miedo (verde azulado), ira (azul), tristeza (violeta) y durante un estado emocionalmente neutro (rosa) (Kragel *et al.*, 2016).

### **2.1.2 Las emociones académicas en la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias: influencia del género**

Las aulas son ambientes emocionales: en el ámbito académico se experimentan las principales emociones humanas como la ansiedad, la sorpresa, la alegría, el aburrimiento... (Pekrun, 2006). La investigación educativa sugiere que estas emociones académicas, aquellas experimentadas por los individuos en contextos educativos, influyen de manera significativa en los procesos de enseñanza-aprendizaje. La sorpresa, por ejemplo, permite fijar la atención sobre algo que de otra manera hubiese pasado inadvertido, mientras que el aburrimiento contribuye a la pérdida progresiva de atención hacia los contenidos impartidos y las actividades desarrolladas en el aula. De este modo, se ha comprobado que las emociones influyen en la motivación para aprender y en distintos procesos cognitivos como la memoria, la atención, la reflexión, la capacidad para resolver problemas y la elección de estrategias de aprendizaje (Aydogan *et al.*, 2015; Bradley, 2000; Dunsmoor *et al.*, 2015; Fredrickson, 1998; Gu *et al.*, 2013; Kensinger y Corkin, 2004; Mega *et al.*, 2014; Pessoa, 2008; Tyng *et al.*, 2017). La relación entre las emociones y los procesos cognitivos se ha evidenciado mediante distintos estudios neurofisiológicos, que han detectado relaciones bidireccionales entre ambos: el dominio afectivo configura al dominio cognitivo y viceversa (Eldar y Niv, 2015). Por tanto, el aprendizaje es un proceso tanto cognitivo como afectivo: la motivación y las emociones que experimentan los alumnos influyen en el rendimiento académico. De manera general se ha establecido que las emociones positivas favorecen los procesos de aprendizaje, mientras que las emociones negativas los frenan o limitan (Garritz, 2009).

No obstante, y a pesar de su considerable influencia en los procesos de aprendizaje, la Didáctica de las Ciencias Experimentales ha investigado menos los aspectos afectivos que los cognitivos, al haber considerado durante décadas a las emociones como elementos acientíficos que se oponían a la objetividad de la ciencia (Mellado *et al.*, 2014; Vázquez y Manassero, 2007). Hoy día, la enseñanza es considerada como una práctica en la que intervienen tanto procesos cognitivos como afectivos (Hargreaves, 1998; Zembylas, 2007), poniéndose de manifiesto la necesidad de considerar ambos aspectos en la enseñanza de las ciencias. Por ello, actualmente las emociones constituyen una importante línea de investigación en Didáctica de las Ciencias Experimentales (Mellado *et al.*, 2013). En este sentido, uno de los aspectos recomendados por la investigación actual en emociones académicas es analizar su papel en el aprendizaje de contenidos concretos de ciencias (Tomas y Ritchie, 2012).

Para comprender el efecto de las emociones en el aula es necesario considerar que pueden variar a nivel individual, según la temática tratada (contenidos, asignatura...), el contexto académico y con el tiempo (Raccanello *et al.*, 2013). Otro factor a tener en cuenta es la edad del alumnado. Diversas investigaciones señalan que los alumnos de Educación Primaria suelen tener actitudes positivas hacia las ciencias. Sin embargo, dichas actitudes positivas disminuyen con la edad, especialmente durante los últimos cursos de Educación Primaria y durante la etapa de Educación Secundaria, en la que se produce una depresión emocional hacia los contenidos científicos (Mellado *et al.*, 2014; Vázquez y Manassero, 2007). Además, diferentes investigaciones han revelado que las emociones hacia las ciencias varían en función del género. De manera general se ha descrito que los alumnos de las distintas etapas educativas presentan actitudes más positivas hacia las ciencias (Tytler, 2014), experimentando más emociones positivas y menos emociones negativas que las alumnas (Vázquez y Manassero, 2007). Existen indicios de este sesgo de género en diferentes niveles educativos, desde la Educación Primaria hasta la Universidad (Britner, 2008; Meece *et al.*, 2006; Meece y Jones, 1996; Osborne *et al.*, 2003; Weinburgh, 1995). Por otro lado, se ha expuesto que las actitudes de ambos géneros son distintas en función de la disciplina científica: las actitudes de los hombres son más favorables hacia temas de Física y Química; mientras que la Biología constituye una disciplina más motivadora para las mujeres, que la consideran una disciplina más importante y menos difícil (Baram-Tsabari *et al.*, 2006; Baram-Tsabari y Yarden, 2008; Pérez y de Pro, 2013; Prokop *et al.*, 2007; Vázquez y Manassero, 2007). Este perfil actitudinal se observa desde la Educación Primaria (Bodgan y Meneses, 2019) y se mantiene a lo largo de las distintas etapas educativas. Respecto a la influencia del género en la motivación hacia las actividades prácticas, la investigación no muestra resultados concluyentes. De este modo, Hodson (1994) describe que las actividades prácticas de ciencias motivan menos a las mujeres que a los hombres, mientras que Weinburgh y Englehard (1994) encontraron que las alumnas presentan mejores actitudes

hacia las actividades prácticas de Biología de Educación Secundaria. Dada esta circunstancia, es necesario indagar en la influencia del género en las emociones de los alumnos durante el desarrollo de actividades prácticas de ciencias.

### **2.1.3 Las emociones académicas en la enseñanza práctica de las ciencias: influencia de las metodologías prácticas activas**

Dada la importancia de las emociones en la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias, estas son un factor a tener en cuenta a la hora de implementar distintas actividades en el aula. Por ello, desde hace años, la investigación en Didáctica de las Ciencias Experimentales ha analizado el efecto de la implementación de distintas metodologías en el dominio afectivo de los alumnos. Diferentes investigaciones han mostrado que la implementación de sesiones expositivas tradicionales, basadas mayoritariamente en el uso del libro de texto, genera emociones negativas en el alumnado de distintos niveles educativos, desde la Educación Primaria (De Orta *et al.*, 2016). Por otro lado, se ha probado el papel motivador de los trabajos prácticos de ciencias (Caamaño, 2014; Hofstein y Lunetta, 2004; Wellington, 2002). Dávila (2018) y Fernández-Torrado (2016) han detectado, con muestras de alumnos de Educación Secundaria de Extremadura, a las actividades prácticas como una de las principales causas de emociones positivas en la enseñanza de Física y Química y de Biología y Geología, respectivamente. De modo análogo, se ha probado que la implementación de actividades prácticas de Física y Química genera, en alumnos de Educación Secundaria, emociones positivas como alegría y felicidad (King *et al.*, 2015). En relación a las actividades prácticas de Biología, se ha probado, con alumnado de Educación Secundaria, que estas aumentan el interés (Holstermann *et al.*, 2010) y mejoran las emociones, generando emociones positivas como el entusiasmo y disminuyendo la intensidad de las negativas como el aburrimiento (Minkley *et al.*, 2017).

Este papel motivador de la enseñanza práctica ha sido cuestionado, desde hace décadas, para las actividades prácticas implementadas de manera tradicional (aquellas que están basadas en seguir, paso a paso, una serie de instrucciones cerradas proporcionadas por el docente en un guion a modo de “receta de cocina”) (Hodson, 1994). Según esta investigación, las prácticas de laboratorio tradicionales carecen de un papel motivador, al igual que las lecciones magistrales, motivando solo en niveles educativos básicos. Es decir, el papel motivador de las actividades prácticas tradicionales disminuye con la edad. En este sentido, se ha demostrado que la enseñanza práctica tradicional de Física a maestros en formación inicial está asociada a emociones negativas como el aburrimiento (Martínez-Borreguero *et al.*, 2017).

Ante la ausencia de motivación de estas prácticas tradicionales, la enseñanza constructivista ha propuesto desarrollar las actividades prácticas a través de la implementación del modelo didáctico de enseñanza mediante investigación dirigida; otorgando al alumno un papel activo.

Diversas investigaciones han mostrado, con alumnos de distintos niveles educativos, el papel motivador de las actividades desarrolladas bajo este modelo didáctico. De este modo, se han encontrado asociaciones significativas entre el uso de la indagación guiada y un aumento del interés y la motivación hacia las ciencias en Educación Primaria (Van-Deur y Murray-Harvey, 2005), en Educación Secundaria (Areepattamannil *et al.*, 2011; Gibson y Chase, 2002; Itzek-Greulich *et al.*, 2017; McConney *et al.*, 2014; Minkley *et al.*, 2017) y con alumnos universitarios (Knutson *et al.*, 2010). Además, se ha descrito que estas actividades, comparadas con las prácticas tradicionales, generan más actitudes positivas y mayores niveles de motivación (Brownell *et al.*, 2012; Tuan *et al.*, 2005). Respecto a la influencia de la indagación guiada en las emociones académicas, se ha descrito que las actividades basadas en este modelo didáctico son una fuente de emociones positivas, tanto en Educación Primaria (Nicolaou *et al.*, 2015) como en Educación Secundaria y Universidad (Gormally *et al.*, 2009; Llach y Vila, 2017). Respecto a la influencia del género, Itzek-Greulich y Vollmer (2017) han comprobado, con muestras de Educación Secundaria, que las alumnas reportan más emociones positivas ante las actividades prácticas basadas en la indagación.

Las secuencias de enseñanza-aprendizaje desarrolladas bajo el modelo didáctico de investigación dirigida se basan en la resolución de problemas mediante el trabajo en grupo y el aprendizaje cooperativo, factores que influyen a su vez positivamente en la motivación de los alumnos. De este modo, se ha evidenciado que el trabajo en grupo mejora las emociones de los alumnos (Mendes, 2015) y genera en ellos más confianza que al trabajar en gran grupo (Meece y Jones, 1996).

Respecto a la influencia del tratamiento de las interrelaciones CTS y las controversias socio-científicas, diversas investigaciones han establecido su papel motivador con alumnos de distintas etapas educativas (Reis y Galvão, 2004; Stuckey *et al.*, 2013). La influencia de estas interacciones en el dominio afectivo de los alumnos es muy relevante, ya que se ha comprobado que las emociones generadas en los alumnos, al abordar estos contenidos en el aula, juegan un papel importante en la toma de decisiones relacionadas con cuestiones socio-científicas (Sadler, 2004). Nicolaou *et al.* (2015) han comprobado, con alumnos de Educación Primaria, que las actividades académicas en las que los contenidos científicos se relacionan con el contexto de los estudiantes, a través del tratamiento de distintas cuestiones socio-científicas, generan emociones positivas. También se han hallado indicios del papel motivador y de fuente de emociones positivas de estas actividades con alumnos de Educación Secundaria (Holstermann *et al.*, 2010; Hong *et al.*, 2012; Tomas *et al.*, 2016; Tomas y Ritchie, 2012) y de Universidad (Hulleman *et al.*, 2010). Por otro lado, se ha demostrado que las actividades basadas en el tratamiento de las interrelaciones CTS aumentan el interés de los alumnos hacia las ciencias y su aprendizaje (Sadler y Dawson, 2012; Tomas y Ritchie, 2012), particularmente de aquellos alumnos que,



inicialmente, tenían menos expectativas (Hulleman *et al.*, 2010). El papel motivador de dichas actividades es reconocido, a su vez, por los docentes de Biología en activo, según los cuales la principal ventaja de la inclusión de los enfoques CTS es el aumento de la implicación y de la motivación del alumnado (Bettencourt *et al.*, 2011). Además, el tratamiento de las controversias socio-científicas y de las relaciones CTS requiere de un enfoque interdisciplinar que, a su vez, se ha descrito que mejora las actitudes de los alumnos, aumentando su interés y participación en las actividades propuestas (Little y Hoel, 2011; Ruiz-Molina y Cuadrado-García, 2008).

Otro recurso didáctico motivador en la enseñanza de las ciencias, dada su relación con la vida cotidiana (Orgill y Bodner, 2004), son las analogías. Se ha descrito que su inclusión aumenta la implicación de los estudiantes (Hofstein y Lunetta, 2004) y su interés hacia las ciencias (Aubusson *et al.*, 2005; Duit, 1991; Glynn, 2008; Treagust *et al.*, 1998). Respecto a su influencia en las emociones de los alumnos, se ha indicado que el uso de analogías por parte de los docentes afecta a las respuestas emocionales de los estudiantes (Rosiek, 2003). Sin embargo, se desconoce el efecto de su implementación en las emociones académicas. Por ello, de acuerdo con Aubusson *et al.* (2005), el estudio de la influencia de las analogías en el dominio afectivo de los alumnos constituye una interesante línea de investigación.

#### **2.1.4 Las emociones en la labor docente**

Teniendo en cuenta la relación bidireccional existente entre las emociones académicas y el aprendizaje de las ciencias, resulta fundamental tener en cuenta las emociones durante la labor docente. Por ello, se ha recomendado que los docentes de los distintos niveles educativos consideren los aspectos afectivos en los procesos de enseñanza (Mellado *et al.*, 2014). En este sentido, numerosos autores (Garritz y Mellado, 2014; Melo *et al.*, 2017; Rosiek, 2003; McCaughtry, 2004; Zembylas, 2007) han evidenciado la necesidad de incluir las emociones dentro del conocimiento didáctico del contenido (CDC), definido por Shulman (1986) como el conocimiento específico que tiene un docente acerca de la enseñanza y el aprendizaje de un determinado tema. Según estas investigaciones, no es suficiente con que el profesor domine los componentes que tradicionalmente conforman el CDC (entre los que se incluyen el conocimiento de lo que piensa el estudiante y sus dificultades, el conocimiento del currículo, el conocimiento de las estrategias de enseñanza y el conocimiento de la evaluación) (Ziadie y Andrews, 2018); sino que además es necesario incluir un conocimiento emocional, ya que la manera en la que los profesores interpretan sus emociones y las de sus alumnos determinan su toma de decisiones y sus actuaciones en el aula. En los últimos años Shulman (2012; citado por Garritz y Mellado, 2014) también reconoce que el olvido de la parte afectiva fue una de las debilidades de las investigaciones iniciales sobre el CDC. Por tanto, entre los componentes que configuran el CDC, debería incluirse un componente afectivo, el conocimiento emocional, en el

que se consideren las emociones de los docentes y de sus alumnos durante los procesos de enseñanza-aprendizaje.

Considerando el importante papel que las emociones juegan en el aprendizaje de las ciencias, los docentes deben intentar propiciar que la ciencia escolar se desarrolle en un ambiente emocional apropiado. Como afirman Fernández-Abascal *et al.* (2001), los profesores que ignoran los aspectos afectivos del aprendizaje pueden limitar los procesos de aprendizaje de sus alumnos. Dado que, de manera general, las emociones negativas son un obstáculo para el proceso de enseñanza-aprendizaje, y que este se ve favorecido por las emociones positivas; los buenos docentes de ciencias deben plantear actividades motivantes, que fomenten las emociones positivas entre sus alumnos (Chiang y Liu, 2014; Damasio, 2010; Ritchie *et al.*, 2013). En líneas generales, la investigación actual aconseja que en el aula se (Pekrun, 2014):

- a) Considere el carácter individual de las emociones.
- b) Promueva el disfrute durante el aprendizaje.
- c) Eviten las emociones negativas en exceso y, si surgiesen, se ayudase al alumno a emplearlas de forma productiva.
- d) Promueva la autoestima y el interés por las tareas académicas.
- e) Ayude a los estudiantes a regular sus emociones.
- f) Utilicen las emociones positivas del profesor para promover estas entre los alumnos.

Esta última recomendación es muy relevante, ya que se ha demostrado que las emociones experimentadas por los docentes hacia su materia y la enseñanza de esta se transfieren a sus alumnos (Beilock *et al.*, 2010; Frenzel *et al.*, 2009). Debido a esta capacidad moduladora de emociones del docente, resulta necesario abordar la interacción entre las emociones y el aprendizaje desde los procesos de formación inicial del profesorado. Dado que la Educación Primaria es la etapa en la que comienzan a cristalizar las emociones de los estudiantes hacia las Ciencias de la Naturaleza (Mellado *et al.*, 2014), la inclusión del tratamiento de estas interacciones resulta muy valiosa en la formación inicial de maestros. Por ello, en la formación de los futuros maestros en Didáctica de las Ciencias Experimentales deben plantearse actividades estimulantes, que fomenten las emociones positivas hacia los contenidos científicos y su enseñanza-aprendizaje. De modo análogo, para evitar la transmisión de emociones negativas, es necesario plantear actividades con las que disminuir la frecuencia de estas. Las prácticas activas de ciencias (entre las que se encuentran la indagación guiada y el uso de analogías, y en la que se incluyen el tratamiento de las relaciones CTS y la interdisciplinariedad), cuya influencia en el dominio afectivo de los alumnos se ha descrito en el apartado anterior, podrían constituir metodologías apropiadas para lograr este fin.

### **2.1.5 Las emociones en el aprendizaje de las ciencias de los maestros en formación inicial**

Las emociones de los maestros en formación inicial hacia las ciencias varían en función de varias dimensiones como el contenido abordado, la asignatura, el docente que la imparte, el clima de aula o la metodología empleada (clases magistrales, clases prácticas, exposiciones orales, debates...) (Echave *et al.*, 2011; Pipitone *et al.*, 2019; Retana-Alvarado, 2018). En estos estudiantes, se ha observado que las emociones positivas que experimentaron en las clases de ciencias como alumnos de Educación Primaria fueron menos frecuentes durante la Educación Secundaria (Brígido *et al.*, 2013b). En esta etapa recuerdan de manera mayoritaria emociones negativas como miedo o agobio, a la vez que atribuyen poco valor a los contenidos científicos aprendidos en la misma, describiendo a la ciencia de Educación Secundaria como una disciplina aburrida, difícil e irrelevante para su vida cotidiana (García-Ruiz y Sánchez, 2006; Mellado *et al.*, 2014). Además, se observa un sesgo en relación a los contenidos, ya que el recuerdo de emociones en Educación Secundaria es más positivo en Biología y Geología que en Física y Química (Brígido *et al.*, 2013b). Por otro lado, Brígido *et al.* (2010) han detectado un sesgo en función del género: los futuros docentes de Educación Primaria de sexo masculino recuerdan haber experimentado, en las clases de Biología de Educación Secundaria, más emociones positivas (en concreto más alegría, orgullo, satisfacción, seguridad y tranquilidad) que sus compañeras de sexo femenino.

Se podría argumentar que el tiempo minimiza el impacto de las emociones sobre el aprendizaje y, que este impacto, a largo plazo, es irrelevante. Sin embargo, en una muestra de maestros en formación de varias universidades españolas se ha observado, de manera consistente, una relación entre sus emociones pasadas (en Educación Primaria y Educación Secundaria) hacia las ciencias y sus emociones presentes hacia las ciencias y su enseñanza (Brígido *et al.*, 2013b). Además, se mantiene el sesgo por género anteriormente descrito. De este modo, Riegle-Crumb *et al.* (2015) han comprobado que las futuras maestras reportan menos confianza y entusiasmo y más ansiedad hacia las ciencias que sus compañeros de sexo masculino. Asimismo, el recuerdo de sus emociones hacia los distintos contenidos de ciencias, de su etapa escolar de Educación Secundaria, se transfiere a las emociones que ellos creen que van a sentir cuando impartan clases de estos contenidos y también a lo que realmente sienten cuando imparten ciencias durante sus prácticas de enseñanza (Brígido *et al.*, 2013a). De manera que si, como se ha indicado anteriormente, las emociones determinan la manera de aprender y enseñar ciencias, las emociones experimentadas por los maestros en formación afectarán a su motivación y a su forma de enseñar ciencias a las generaciones futuras. De este modo, las emociones negativas de los futuros docentes de Educación Primaria constituyen un obstáculo inicial para su formación profesional (Mellado *et al.*, 2014), que es necesario abordar desde los procesos de formación

inicial. Por ello, es necesario comprender la influencia de las diferentes actividades formativas en las emociones de los futuros maestros.

Las actitudes negativas de los maestros en formación inicial hacia las ciencias se han relacionado con sus bajos niveles de formación científica. Así, Bonill y Márquez (2011) defienden que dichas actitudes negativas están vinculadas con el abandono, por parte de estos estudiantes, de su formación científica al finalizar la enseñanza obligatoria. Como consecuencia de este hecho, una de las principales preocupaciones de los futuros maestros es la falta de una adecuada formación científica, que les conduce a emprender una enseñanza de las ciencias con pocos conocimientos científicos y con la presencia de numerosas concepciones alternativas. Esta circunstancia genera en los futuros maestros emociones negativas, inseguridad, falta de confianza y una baja autoeficacia (Brígido *et al.*, 2013a; Cortés *et al.*, 2012).

Otra de las causas, descritas en la bibliografía, de emociones negativas de estos alumnos es su dificultad para implementar metodologías activas debido a la complejidad de las mismas. Se ha evidenciado que los docentes, en sus primeros años de enseñanza, experimentan emociones negativas debido a la dificultad para llevar a cabo metodologías basadas en la indagación (Ritchie *et al.*, 2013). Estas emociones negativas (tensión, inseguridad, ansiedad, angustia...), descritas por otros estudios (Mellado *et al.*, 2014), llevan a estos docentes a implementar metodologías transmisivas tradicionales, con las que se sienten más seguros. Por ello, se ha propuesto, con el objetivo de mejorar la formación científica y fomentar las emociones positivas en los futuros maestros, incluir, en los procesos de formación inicial del profesorado, distintas actividades científicas creativas y estimulantes, que combinen situaciones problemáticas abiertas con enfoques prácticos (Mellado *et al.*, 2014). Además, dado que los maestros en ejercicio reconocen que en la enseñanza de las Ciencias Naturales realizan pocas actividades prácticas (García-Barros y Martínez-Losada, 2001), la inclusión de estas actividades es necesaria para capacitar a los docentes en su diseño y puesta en práctica, a la vez que para generar actitudes positivas hacia las mismas (García-Ruiz y Sánchez, 2006; Ritchie *et al.*, 2013). El objetivo de la implementación de estas prácticas activas es, por tanto, generar en los futuros docentes de Educación Primaria emociones positivas hacia las ciencias y su enseñanza activa, al tiempo que se eliminen las emociones negativas y la inseguridad en la práctica docente (Damasio, 2010; García-Ruiz y Sánchez, 2006). Sin embargo, es necesario indagar en la influencia de estas actividades prácticas activas en las emociones de los maestros en formación inicial.

Respecto a los estudios previos realizados sobre la influencia de las metodologías prácticas activas en el dominio afectivo de los maestros en formación inicial, existen algunos indicios que señalan que estas favorecen una mejora de las actitudes de estos estudiantes hacia las ciencias.

En relación a la inclusión de la indagación guiada, existen algunas evidencias del efecto positivo de su implementación en la motivación de los futuros maestros. Dávila *et al.* (2015) y Retana-Alvarado *et al.* (2018) han hallado que las prácticas desarrolladas bajo investigación dirigida generan, respecto a la expectativa inicial de emociones de estos alumnos, una mayor frecuencia de emociones positivas y una disminución en la frecuencia de las negativas. Además, se ha descrito que la inclusión de esta metodología favorece emociones positivas como el entusiasmo, a la vez que aumenta su confianza e interés y disminuye su ansiedad hacia las ciencias (Greca *et al.*, 2017; Herranen *et al.*, 2015; Riegle-Crumb *et al.*, 2015; Ural, 2016). Asimismo, Greca *et al.* (2017) han mostrado que la inclusión de la indagación guiada en los procesos de formación inicial mejora la visión de los futuros maestros sobre la ciencia y sobre el uso de esta metodología en su futura acción docente. Otras metodologías activas recomendadas para mejorar las actitudes de los futuros maestros hacia las ciencias y su enseñanza son las analogías (Paris y Glynn, 2004), el tratamiento de las interacciones CTS y las controversias sociocientíficas (Nuangchalerm, 2009) y la inclusión de la interdisciplinariedad (Pang y Good, 2000). Sin embargo, no se disponen de estudios específicos sobre el impacto de dichas metodologías activas en las emociones académicas de los maestros en formación inicial.

## **2.2. Objetivos**

El objetivo general del presente capítulo es determinar las emociones académicas retrospectivas de los maestros en formación inicial durante sus clases de Biología de Educación Secundaria, así como las experimentadas antes y durante la implementación de las prácticas activas de Biología diseñadas (objetivo general 2 de la Tesis Doctoral). Para ello se plantean los siguientes objetivos específicos con muestras de estudiantes del Grado en Educación Primaria de la Universidad de Extremadura:

- Objetivo específico 2.1. Determinar las emociones retrospectivas, de una muestra de maestros en formación inicial, en clases expositivas y prácticas de Biología de Educación Secundaria.
- Objetivo específico 2.2. Analizar las diferencias, en función del género de los participantes, en sus emociones retrospectivas en clases expositivas y prácticas de Biología de Educación Secundaria.
- Objetivo específico 2.3. Establecer si la muestra de maestros en formación inicial diferencia sus emociones retrospectivas en clases prácticas de Biología de Educación Secundaria de sus emociones anticipatorias ante una actividad práctica de Biología incluida en su programa formativo actual.
- Objetivo específico 2.4. Analizar las interacciones entre las emociones retrospectivas, de los maestros en formación inicial participantes, en clases prácticas de Biología de Educación Secundaria y sus emociones anticipatorias ante una actividad práctica de Biología; así como las diferencias de estas asociaciones en función del género de los participantes.
- Objetivo específico 2.5. Determinar el efecto en las emociones académicas de los maestros en formación inicial de una intervención práctica activa, basada en la investigación dirigida, para la enseñanza de conceptos de Biología Celular, Física y Química.
- Objetivo específico 2.6. Determinar el efecto en las emociones académicas de los maestros en formación inicial de una intervención práctica activa, basada en la investigación dirigida, para la enseñanza de conceptos de Microbiología.
- Objetivo específico 2.7. Determinar el efecto en las emociones académicas de los maestros en formación inicial de una intervención práctica activa, basada en el uso de analogías, para la enseñanza de conceptos de Biología Evolutiva.
- Objetivo específico 2.8. Analizar las diferencias, en función del género, del efecto de la implementación de las prácticas activas diseñadas en las emociones académicas de los participantes.

## **2.3. Metodología**

### **2.3.1 Desarrollo de un instrumento para estimar las emociones académicas de los maestros en formación inicial**

Para estimar las emociones experimentadas por los futuros maestros, en diferentes contextos académicos pasados y presentes, en la presente Tesis Doctoral se ha desarrollado un sencillo y rápido cuestionario cuantitativo autoinforme. El muestreo mediante cuestionarios en los que los participantes autoinforman de sus emociones es el procedimiento más utilizado actualmente para estudiar las emociones de los alumnos, ya que constituye una medida rápida que apenas afecta al desarrollo de las actividades del aula (Mauss y Robinson, 2009). Además, el cuestionario diseñado emplea ítems simples que, comparados con test multi-ítem, más largos, proporcionan suficiente validez, requieren menos tiempo y son menos invasivos en las respuestas emocionales de los participantes (Goetz *et al.*, 2016). Como defienden Gogol *et al.* (2014), los cuestionarios autoinformes de ítems sencillos constituyen el mejor instrumento para obtener datos empíricos válidos acerca de aspectos afectivos en ambientes académicos. La concordancia entre las medidas neurofisiológicas y los autoinformes viene respaldada por el reciente trabajo de Kragel *et al.* (2016), en el que se registraba simultáneamente la actividad cerebral de una muestra de individuos y su autoinforme sobre su estado anímico empleando ítems sencillos.

En base a estos criterios, se ha desarrollado un cuestionario simple y rápido (anexo 6) con el que medir 10 emociones académicas: 5 positivas (alegría, confianza, satisfacción, entusiasmo y diversión) y 5 negativas (preocupación, frustración, incertidumbre, nerviosismo y aburrimiento). La selección de estas emociones se basa en los siguientes principios: dichas emociones han sido descritas previamente en muestras de maestros en formación inicial (Brígido *et al.*, 2013b; Mellado *et al.*, 2014; Retana-Alvarado *et al.*, 2018) y tienen efecto sobre el aprendizaje (Pekrun, 2014). Dichas emociones se presentan de manera aleatoria a los alumnos. Estos autoinforman, siguiendo una escala ordinal de Likert (que oscila desde 1 “no experimentada” a 5 “intensamente experimentada”), sobre la intensidad con la que habían experimentado (emociones retrospectivas) o creían que iban a experimentar (emociones anticipatorias) cada una de las emociones en los distintos contextos académicos propuestos. Así, el test diseñado interroga sobre una de las dimensiones más utilizadas para estudiar las emociones académicas: la valencia (diferenciación entre emociones positivas y emociones negativas), a la vez que estudia la intensidad con que se experimenta cada emoción. Se trata, por tanto, de desarrollar un procedimiento poco invasivo (que apenas altere la actividad en el aula) con preguntas fácilmente reconocibles por los alumnos que informen sobre la valencia y la intensidad de una serie de emociones académicas.

El cuestionario desarrollado se emplea para: i) determinar el recuerdo de emociones experimentadas por los maestros en formación participantes en distintos contextos académicos pasados (emociones retrospectivas en clases expositivas y prácticas de Biología de Educación Secundaria), ii) determinar las emociones presentes de los maestros en formación inicial ante la expectativa de realizar cada una de las prácticas activas diseñadas en la presente Tesis Doctoral (emociones anticipatorias, reportadas por los participantes justo antes de iniciar estas actividades) y iii) determinar las emociones realmente experimentadas por los futuros maestros durante el desarrollo de dichas prácticas activas (reportadas por los participantes a los 15 días de su implementación). De este modo, los participantes cumplimentan el test de emociones en un corto periodo de tiempo desde la realización de las intervenciones, evitando que otros factores (como las clases teóricas de la asignatura o la realización de exámenes) puedan interferir en las emociones que recuerdan hacia las prácticas activas.

## **2.3.2 Muestra, validación del instrumento y análisis de datos**

### **2.3.2.1 Procedimiento de validación del cuestionario de emociones desarrollado**

Para validar el test de emociones, diseñado en la presente Tesis Doctoral para estimar las emociones académicas de los maestros en formación participantes, se analizan los datos recolectados con este instrumento en los distintos años académicos en los que implementa. En primer lugar, se realiza un estudio exploratorio en el que se analizan los datos del año académico 1 (n=160, tabla 1.1), antes y después de la implementación de la práctica activa diseñada para la enseñanza de Biología Celular, Física y Química (basada en la extracción de ADN con materiales cotidianos). En este caso, antes de la práctica (y a diferencia del resto de estudios en los años académicos 2, 3 y 4), además de indagar acerca de las emociones anticipatorias ante la realización de esta actividad, el test se emplea para preguntar por las emociones retrospectivas de los participantes en clases expositivas y prácticas de Biología de Educación Secundaria. Por tanto, se analizan las emociones de los estudiantes ante 4 contextos académicos diferentes: clases expositivas pasadas, clases prácticas pasadas, previas a una actividad práctica del presente (las emociones de estos 3 contextos son reportadas por los estudiantes justo antes de iniciar la actividad) y experimentadas con una actividad práctica del presente (reportadas por los participantes 15 días después de su implementación). Con las intensidades de las emociones reportadas por la muestra se ejecutan los siguientes análisis: análisis de intercorrelaciones (estudio de las correlaciones entre la intensidad de las distintas emociones en cada uno de los 4 contextos académicos analizados) y análisis factorial (extracción de factores asociados a grupos de emociones altamente correlacionadas en cada uno de los 4 contextos educativos estudiados).



Estos análisis (análisis de intercorrelaciones y análisis factorial) se repiten en los sucesivos años académicos (años académicos 2, 3, 4 y 5; n=154, 149, 112 y 143, respectivamente, tabla 1.1), con los datos obtenidos en la implementación de las tres prácticas activas diseñadas en la Tesis Doctoral: 3 veces más para la práctica activa de Biología Celular (años académicos 2, 3 y 4), 3 veces para la práctica activa de Microbiología (años académicos 2, 3 y 4), y una vez para la práctica activa de Biología Evolutiva (año académico 5). En estos casos se analizan las emociones en dos contextos académicos: anticipatorias a las intervenciones (reportadas por los participantes antes de su implementación) y experimentadas durante las mismas (reportadas a los 15 días).

El procedimiento de validación del test de emociones consiste en el análisis de los resultados de las intercorrelaciones y los análisis factoriales, así como en la comparación de estos con los resultados obtenidos en investigaciones previas en las que se han desarrollado instrumentos para estimar las emociones académicas (Goetz *et al.*, 2007; Pekrun *et al.*, 2010; Pekrun *et al.*, 2011; Pekrun *et al.*, 2014; Trigwell *et al.*, 2012).

Dado que los datos no se ajustan a una distribución normal (p-valor<0,05, test de normalidad Kolmogoro-Smirnov y Shapiro-Wilk) se utiliza estadística no paramétrica. Los test de normalidad, el análisis de correlación (Spearman) y el análisis factorial se realizan con el programa SPSS (IBM software). Para la extracción de los factores se emplean mínimos cuadrados generalizados y una rotación Oblimin. Este método de extracción es robusto frente a la carencia de normalidad de los datos y proporciona el test  $\chi^2$  con el que evaluar el modelo. El modelo factorial se considera factible cuando los datos observados en el estudio y los esperados con el modelo no muestran diferencias significativas (test- $\chi^2$ , p-valor>0,05). Para evaluar el modelo se estudian, además, el porcentaje de varianza explicada, la fiabilidad (coeficiente alfa de Cronbach), la medida de adecuación muestral (test Kaiser-Meyer-Olkin, KMO) y prueba de esfericidad de Bartlett. El modelo se considera factible si estos parámetros son, respectivamente, superiores al 50 % (porcentaje de varianza explicada), a 0,7 (alfa de Cronbach) y a 0,8 (test KMO) e inferior a 0,05 (prueba de esfericidad de Bartlett).

### **2.3.2.2 Análisis de las emociones retrospectivas de los maestros en formación inicial en clases de Biología de Educación Secundaria. Análisis en función del género**

Para determinar el recuerdo de la intensidad de emociones académicas de los maestros en formación inicial en clases expositivas y prácticas de Biología de Educación Secundaria (objetivo específico 2.1), se analiza, empleando el test de emociones desarrollado, dicho grado de recuerdo con la muestra de futuros maestros participantes en el año académico 1 (n=160 , tabla 1.1). Antes de comenzar la práctica activa diseñada para la enseñanza de Biología Celular,

Física y Química; se interroga a los alumnos participantes sobre las emociones que sintieron como alumnos durante la Educación Secundaria con las clases de Biología desarrolladas bajo dos enfoques distintos: clases expositivas o magistrales (desarrolladas bajo un enfoque transmisivo tradicional) y clases prácticas (desarrolladas bajo un enfoque experimental, entre las que se incluyen prácticas de laboratorio, salidas al medio natural y realización de ejercicios, o trabajos grupales, en los que desarrollaran una actividad experimental y/o tuvieran un papel activo). Los participantes responden a este cuestionario antes de completar el test de contenidos, a fin de evitar que la resolución de este último pueda interferir en su recuerdo emocional. Se analizan las diferencias de intensidad en las emociones estudiadas entre ambos contextos. Se examinan, además, diferencias en la intensidad de dicho recuerdo en función del género de los participantes (objetivo específico 2.2).

Dado que los datos no se ajustan a una distribución normal ( $p$ -valor $<0,05$ , test de normalidad Kolmogoro-Smirnov y Shapiro-Wilk) se utiliza estadística no paramétrica (test de Wilcoxon para datos apareados en el caso del análisis general y desapareados en el análisis por género). Las gráficas se realizan con el programa Kaleidagraph (Synergy software).

### **2.3.2.3 Análisis de las emociones retrospectivas y anticipatorias hacia la enseñanza práctica de Biología: estudio de su discriminación con un test autoinforme y de su asociación**

Con el objetivo de determinar si el test autoinforme de emociones desarrollado permite diferenciar entre el recuerdo de intensidad de una emoción (emoción retrospectiva) y la intensidad esperada de dicha emoción (emoción anticipatoria) para un contexto académico similar (objetivo específico 2.3); se analizan las diferencias entre la intensidad recordada de emociones en clases prácticas de Biología de Educación Secundaria y la intensidad esperada de emociones ante una actividad práctica de Biología del presente. Dado que los datos no se ajustan a una distribución normal ( $p$ -valor $<0,05$ , test de normalidad Kolmogoro-Smirnov y Shapiro-Wilk) se utiliza estadística no paramétrica (test de Wilcoxon para datos apareados). Las gráficas se realizan con el programa Kaleidagraph (Synergy software).

Para determinar si las emociones retrospectivas de los maestros en formación inicial en las clases prácticas de Biología de Educación Secundaria están relacionadas con sus emociones anticipatorias ante una actividad práctica del presente (objetivo específico 2.4), se analizan las correlaciones (correlación de Spearman) entre las intensidades reportadas por los participantes para ambos contextos. Se examinan, además, diferencias en estas interacciones en función del género de los participantes. Para comparar los coeficientes de correlación de hombres y mujeres, estos se calcularon para un intervalo de confianza del 95 % (dos desviaciones estándar) mediante remuestreo o *bootstrapping* (N=1000). Los coeficientes de correlación se consideran

significativamente diferentes cuando los intervalos de confianza no se solapaban ( $p$ -valor $<0,001$ ).

Los dos análisis descritos anteriormente (capacidad de diferenciar emociones pasadas y presentes con un test autoinforme e interacción entre emociones pasadas y presentes) se realizan con los datos recolectados en el año académico 1 ( $n=160$ , tabla 1.1). La actividad práctica del presente se corresponde con la práctica activa implementada en dicho curso académico (diseñada para la enseñanza de Biología Celular, Física y Química).

#### **2.3.2.4 Análisis del efecto de las prácticas activas en las emociones académicas de los maestros en formación inicial. Análisis en función del género**

Para determinar el efecto de las tres prácticas activas, diseñadas en la presente Tesis Doctoral, en las emociones académicas de los alumnos (objetivos específicos 2.5, 2.6 y 2.7); se comparan las emociones anticipatorias de los alumnos participantes ante la implementación de dichas prácticas con las emociones realmente experimentadas por estos con su realización. Esta comparación se realiza en cada una de las implementaciones de las prácticas activas diseñadas: 4 veces para la práctica activa diseñada para la enseñanza de conceptos de Biología Celular, Física y Química (años académicos 1, 2, 3 y 4), 3 veces para la práctica activa diseñada para la enseñanza de conceptos de Microbiología (años académicos 2, 3 y 4) y 1 vez para la práctica activa diseñada para la enseñanza de Biología Evolutiva (año académico 5). El número de participantes en cada año académico varía siendo de 160 futuros maestros en el año académico 1, 154 en el año académico 2, 149 en el año académico 3, 112 en el año académico 4 y 143 en el año académico 5 (tabla 1.1).

Empleando el test de emociones desarrollado, los participantes reportan sus emociones antes de cada intervención (emociones anticipatorias ante la realización de la actividad) y 15 días después de su implementación (emociones realmente sentidas con la realización de la actividad). En ambos casos, los alumnos responden al test de emociones antes de cumplimentar los cuestionarios sobre contenidos de Biología (pretest o postest), a fin de evitar que la resolución de estos pueda interferir en la estimación de las emociones.

Se examinan, además, diferencias en función del género de los participantes (objetivo específico 2.8). Esta comparación se realiza, para cada intervención, en los años académicos 2, 3, 4 y 5 (no en el primer año académico al estar los datos desapareados).

Salvo en el año académico 1 (en el que se realizó un estudio prospectivo), la autoría de los cuestionarios se identifica con una clave anónima (formada por la inicial del nombre de la madre, la inicial del nombre del padre, los dos últimos números y la letra del DNI de cada participante), que permite aparear los datos de emociones previas y posteriores de cada alumno.

Dado que los datos no se ajustan a una distribución normal ( $p$ -valor $<0,05$ , test de normalidad Kolmogoro-Smirnov y Shapiro-Wilk) se utiliza estadística no paramétrica (test de Wilcoxon para datos no apareados en el año académico 1 y para datos apareados en los años académicos 2, 3, 4 y 5; test de Wilcoxon para datos no apareados en los análisis por género). Las gráficas se realizan con el programa Kaleidagraph (Synergy software).

## **2.4. Resultados y discusión**

### **2.4.1 Validación del test autoinforme de emociones: análisis de intercorrelaciones y análisis factorial**

#### **2.4.1.1 Análisis exploratorio**

Los análisis de validación exploratorios se realizan con los datos recolectados, con el cuestionario cuantitativo autoinforme de emociones diseñado en la presente Tesis Doctoral, durante el año académico 1 (n=160). Dichos datos sobre intensidad de emociones corresponden a 4 contextos educativos diferentes: emociones retrospectivas en clases expositivas y en clases prácticas de Biología de Educación Secundaria, emociones anticipatorias previas a la práctica activa de Biología Celular y emociones experimentadas con la implementación de dicha actividad práctica. La validación se basa en el análisis de las intercorrelaciones entre las intensidades de cada emoción en los 4 contextos analizados, así como los resultados del análisis factorial realizado con dichos datos.

El análisis de las correlaciones entre la intensidad de las diferentes emociones (correlación de Spearman) muestra una asociación positiva entre aquellas emociones correspondientes a una misma valencia (positiva o negativa) en cada uno de los 4 contextos educativos analizados (tabla 2.1). La existencia de estas correlaciones significativas entre las emociones positivas y entre las emociones negativas refleja la consistencia interna del instrumento. Además, el hecho de que las correlaciones detectadas sean similares en los distintos contextos educativos analizados apoya dicha consistencia interna. Las intercorrelaciones detectadas sugieren la presencia de factores latentes comunes a cada grupo de emociones, positivas y negativas, en estos 4 contextos académicos estudiados.

El análisis de intercorrelaciones también refleja que las emociones negativas no correlacionan significativamente con las positivas. Esta falta de correlación, ya descrita previamente (Pekrun *et al.*, 2011; Trigwell *et al.*, 2012), indica que, en general, las emociones positivas tienen poco efecto modulador sobre las negativas y viceversa. Una excepción notable es el aburrimiento, emoción negativa que sí correlaciona significativamente y negativamente con todas las emociones positivas. Esta circunstancia se observa también, aunque en menor medida, con la frustración (solo correlaciona negativamente en los 4 contextos analizados con las emociones positivas satisfacción y entusiasmo).

**Tabla 2.1.** Matriz de intercorrelaciones (correlación de Spearman; \*\*p-valor<0,001, \*p-valor<0,05) entre las intensidades de las emociones académicas analizadas en el año académico 1 (n=160), en los 4 contextos académicos: anticipatorias ante la actividad práctica a realizar (en letra redonda), retrospectivas en las clases expositivas pasadas (subrayado), retrospectivas en las clases prácticas pasadas (en cursiva) y experimentadas tras la actividad implementada (subrayado y en cursiva). En negrita se resaltan las correlaciones significativas y sombreadas aquellas que se dan entre las emociones de una misma valencia.

<i>Emoción</i>	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
<i>Alegría</i> (1)	<b>1</b>	<b>0,501**</b>	<b>0,728**</b>	<b>0,691**</b>	<b>0,702**</b>	0,128	<b>-0,277**</b>	-0,101	-0,011	0,142
	<u>1</u>	<u><b>0,484**</b></u>	<u><b>0,619**</b></u>	<u><b>0,622**</b></u>	<u><b>0,608**</b></u>	<u>0,113</u>	<u><b>-0,231**</b></u>	<u>-0,075</u>	<u>-0,004</u>	<u>0,104</u>
	<i>1</i>	<i>0,562**</i>	<i>0,531**</i>	<i>0,559**</i>	<i>0,565**</i>	<i>0,157</i>	<i><b>-0,328**</b></i>	<i>-0,105</i>	<i>0,059</i>	<i>-0,048</i>
	<u>1</u>	<u><b>0,566**</b></u>	<u><b>0,518**</b></u>	<u><b>0,551**</b></u>	<u><b>0,618**</b></u>	<u>-0,029</u>	<u><b>-0,363**</b></u>	<u><b>-0,194*</b></u>	<u>-0,158</u>	<u>-0,125</u>
<i>Confianza</i> (2)		<b>1</b>	<b>0,581**</b>	<b>0,393**</b>	<b>0,427**</b>	-0,080	<b>-0,207*</b>	-0,092	-0,117	-0,152
		<u>1</u>	<u><b>0,552**</b></u>	<u><b>0,446**</b></u>	<u><b>0,335**</b></u>	<u>0,085</u>	<u>-0,126</u>	<u>0,028</u>	<u>0,027</u>	<u>0,093</u>
		<i>1</i>	<i>0,594**</i>	<i>0,495**</i>	<i>0,398**</i>	<i>0,087</i>	<i><b>-0,319**</b></i>	<i><b>-0,200*</b></i>	<i>-0,063</i>	<i>-0,032</i>
		<u>1</u>	<u><b>0,520**</b></u>	<u><b>0,470**</b></u>	<u><b>0,419**</b></u>	<u>-0,173</u>	<u><b>-0,250**</b></u>	<u><b>-0,218**</b></u>	<u>-0,135</u>	<u>-0,114</u>
<i>Satisfacción</i> (3)			<b>1</b>	<b>0,705**</b>	<b>0,714**</b>	-0,050	<b>-0,313**</b>	<b>-0,187*</b>	-0,139	-0,009
			<u>1</u>	<u><b>0,679**</b></u>	<u><b>0,590**</b></u>	<u>-0,031</u>	<u><b>-0,327**</b></u>	<u><b>-0,188*</b></u>	<u>-0,118</u>	<u>0,118</u>
			<i>1</i>	<i>0,607**</i>	<i>0,561**</i>	<i>0,169*</i>	<i><b>-0,442**</b></i>	<i><b>-0,202**</b></i>	<i>-0,020</i>	<i>0,072</i>
			<u>1</u>	<u><b>0,609**</b></u>	<u><b>0,515**</b></u>	<u>0,014</u>	<u><b>-0,317**</b></u>	<u><b>-0,218**</b></u>	<u><b>-0,171*</b></u>	<u>0,074</u>
<i>Entusiasmo</i> (4)				<b>1</b>	<b>0,722**</b>	-0,057	<b>-0,435**</b>	<b>-0,284**</b>	-0,152	0,042
				<u>1</u>	<u><b>0,614**</b></u>	<u>-0,021</u>	<u><b>-0,361**</b></u>	<u><b>-0,198*</b></u>	<u>-0,078</u>	<u>0,134</u>
				<i>1</i>	<i>0,731**</i>	<i>0,098</i>	<i><b>-0,414**</b></i>	<i><b>-0,206*</b></i>	<i>-0,052</i>	<i>0,071</i>
				<u>1</u>	<u><b>0,591**</b></u>	<u>-0,022</u>	<u><b>-0,386**</b></u>	<u><b>-0,238**</b></u>	<u><b>-0,191*</b></u>	<u>0,064</u>
<i>Diversión</i> (5)					<b>1</b>	-0,004	<b>-0,312**</b>	<b>-0,160*</b>	-0,030	0,030
					<u>1</u>	<u>0,119</u>	<u><b>-0,239**</b></u>	<u>-0,003</u>	<u>-0,014</u>	<u>-0,136</u>
					<i>1</i>	<i>0,192*</i>	<i><b>-0,378**</b></i>	<i>-0,119</i>	<i>0,011</i>	<i>0,078</i>
					<u>1</u>	<u>-0,001</u>	<u><b>-0,411**</b></u>	<u><b>-0,254**</b></u>	<u>-0,131</u>	<u>0,047</u>
<i>Nerviosismo</i> (6)						<b>1</b>	<b>0,461**</b>	<b>0,593**</b>	<b>0,561**</b>	<b>0,326**</b>
						<u>1</u>	<u><b>0,267**</b></u>	<u><b>0,552**</b></u>	<u><b>0,550**</b></u>	<u><b>0,253**</b></u>
						<i>1</i>	<i>-0,070</i>	<i>0,183*</i>	<i>0,393**</i>	<i>0,421**</i>
						<u>1</u>	<u><b>0,235**</b></u>	<u><b>0,430**</b></u>	<u><b>0,505**</b></u>	<u><b>0,433**</b></u>
<i>Aburrimiento</i> (7)							<b>1</b>	<b>0,627**</b>	<b>0,566**</b>	<b>0,319**</b>
							<u>1</u>	<u><b>0,487**</b></u>	<u><b>0,400**</b></u>	<u>0,140</u>
							<i>1</i>	<i>0,403**</i>	<i>0,100</i>	<i>0,023</i>
							<u>1</u>	<u><b>0,633**</b></u>	<u><b>0,434**</b></u>	<u><b>0,116*</b></u>
<i>Frustración</i> (8)								<b>1</b>	<b>0,730**</b>	<b>0,336**</b>
								<u>1</u>	<u><b>0,682**</b></u>	<u><b>0,374**</b></u>
								<i>1</i>	<i>0,490**</i>	<i>0,309**</i>
								<u>1</u>	<u><b>0,616**</b></u>	<u><b>0,296**</b></u>
<i>Preocupación</i> (9)									<b>1</b>	<b>0,474**</b>
									<u>1</u>	<u><b>0,435**</b></u>
									<i>1</i>	<i>0,411**</i>
									<u>1</u>	<u><b>0,514**</b></u>
<i>Incertidumbre</i> (10)										<b>1</b>
										<u>1</u>
										<i>1</i>
										<u>1</u>

El análisis factorial exploratorio, de la intensidad de las emociones académicas en los cuatro contextos académicos estudiados (tabla 2.2), confirma la existencia de factores latentes para las emociones positivas y negativas en los contextos analizados. Como se muestra en la matriz de

estructura (tabla 2.2), que recoge la correlación de cada emoción con los dos factores extraídos para cada contexto académico (clases expositivas y prácticas pasadas, y antes y después de la práctica del presente), las emociones experimentadas en cada situación académica se pueden descomponer en dos factores. Estos factores corresponden a las dos valencias de las emociones (emociones positivas y emociones negativas). Así, el factor 1 correlaciona positivamente con las emociones positivas (alegría, confianza, satisfacción, entusiasmo y diversión), mientras que el factor 2 lo hace con las negativas (preocupación, frustración, incertidumbre, nerviosismo y aburrimiento). Este comportamiento factorial apoya la consistencia interna del cuestionario diseñado.

**Tabla 2.2.** Análisis factorial exploratorio realizado con los datos de intensidad de las emociones académicas en los 4 contextos académicos estudiados en el año académico 1 (n=160). En la parte superior se recoge la matriz de estructura, en la que se resaltan en negrita las correlaciones más elevadas ( $\geq 0,250$ ). En la parte inferior se muestran la fiabilidad (coeficiente  $\alpha$  de Cronbach), el porcentaje de varianza explicada, la prueba de esfericidad de Bartlett y los test KMO y  $\chi^2$ .

	Clases expositivas pasadas		Clases prácticas pasadas		Previo a práctica de Biología Celular		Después de la práctica de Biología Celular	
Matriz de estructura								
Emociones	Factor 1	Factor 2	Factor 1	Factor 2	Factor 1	Factor 2	Factor 1	Factor 2
<i>Alegría</i>	<b>0,752</b>	-0,139	<b>0,729</b>	0,085	<b>0,841</b>	0,020	<b>0,776</b>	0,012
<i>Confianza</i>	<b>0,620</b>	-0,213	<b>0,572</b>	0,071	<b>0,532</b>	<b>-0,294</b>	<b>0,537</b>	-0,172
<i>Satisfacción</i>	<b>0,772</b>	-0,089	<b>0,832</b>	-0,126	<b>0,835</b>	-0,152	<b>0,654</b>	-0,093
<i>Entusiasmo</i>	<b>0,891</b>	-0,064	<b>0,820</b>	0,002	<b>0,872</b>	-0,094	<b>0,681</b>	-0,167
<i>Diversión</i>	<b>0,720</b>	0,028	<b>0,720</b>	0,084	<b>0,796</b>	0,016	<b>0,789</b>	-0,053
<i>Nerviosismo</i>	-0,017	<b>0,602</b>	0,117	<b>0,693</b>	0,057	<b>0,680</b>	0,024	<b>0,656</b>
<i>Aburrimiento</i>	<b>-0,505</b>	<b>0,296</b>	<b>-0,327</b>	<b>0,389</b>	<b>-0,301</b>	<b>0,617</b>	<b>-0,470</b>	<b>0,665</b>
<i>Frustración</i>	<b>-0,330</b>	<b>0,685</b>	-0,125	<b>0,832</b>	-0,190	<b>0,830</b>	<b>-0,362</b>	<b>0,877</b>
<i>Preocupación</i>	-0,111	<b>0,808</b>	0,036	<b>0,768</b>	-0,040	<b>0,864</b>	-0,128	<b>0,726</b>
<i>Incertidumbre</i>	-0,095	<b>0,689</b>	0,115	<b>0,409</b>	-0,025	<b>0,516</b>	0,025	<b>0,391</b>
<i><math>\alpha</math> Cronbach</i>	0,869	0,649	0,879	0,765	0,897	0,837	0,851	0,771
<i>% varianza explicada</i>	51%		53%		60%		53%	
<i>Test KMO</i>	0,809		0,832		0,803		0,806	
<i>Prueba de esfericidad de Bartlett</i>	<0,001		<0,001		<0,001		<0,001	
<i>Test <math>\chi^2</math></i>	0,49		0,67		0,10		0,09	

En todos los casos la medida de adecuación muestral (test KMO) es mayor a 0,8 y la prueba de esfericidad de Bartlett otorga un p-valor menor de 0,05 (en concreto menor de 0,001 en los 4 contextos analizados). Estos parámetros indican que los datos son adecuados para realizar un análisis factorial. Además, en todos los contextos el porcentaje de varianza explicada superior al 50 % y la prueba de bondad del ajuste (test  $\chi^2$ ) otorga un p-valor > 0,05, lo que muestra que los datos proporcionados por el modelo factorial no son significativamente diferentes a los

observados. Respecto al coeficiente alfa de Cronbach, este es superior a 0,7 en todos los casos para las emociones positivas y en la mayoría de los casos para las emociones negativas. Esto muestra que los factores extraídos con estos modelos son fiables, dada la correlación entre las variables que agrupa cada factor. La fiabilidad es menor de 0,7 para las emociones retrospectivas negativas en clases expositivas de Educación Secundaria (aun así en este contexto es superior a 0,6). Este valor menor de la fiabilidad se debe a que el aburrimiento tiene un comportamiento distinto al resto de emociones negativas (si se elimina, el coeficiente alfa de Cronbach sube hasta 0,704). Este aumento del coeficiente alfa de Cronbach, al eliminar el aburrimiento, se observa para las emociones negativas en los 4 contextos analizados. Sin embargo, no se elimina el aburrimiento del test de emociones porque: i) es una emoción importante en contextos educativos, cuyo comportamiento factorial aporta información relevante tanto sobre las emociones positivas como sobre las emociones negativas, y ii) al realizar estos análisis factoriales sin el aburrimiento, solo con 4 emociones negativas, se obtienen factores para las emociones negativas muy similares a los factores calculados con las 5 emociones negativas (correlación de Pearson mayor de 0,950 en todos los casos,  $p$ -valor < 0,001).

Tanto la intercorrelación entre emociones de la misma valencia como su ajuste a un modelo factorial (un factor corresponde a las emociones positivas y otro factor a las emociones negativas) han sido observados previamente en estudios sobre emociones académicas, en las que estas han sido estimadas mediante instrumentos más complejos que utilizan varios ítems para determinar cada emoción (Goetz *et al.*, 2007; Pekrun *et al.*, 2011). En consonancia con lo observado en la matriz de intercorrelaciones, el aburrimiento muestra un comportamiento diferente ya que, además de correlacionar positivamente con el factor 2 (factor de las emociones negativas), correlaciona negativamente con el factor 1 (factor de las emociones positivas). Este comportamiento es similar al descrito en las investigaciones de Pekrun *et al.* (2010), Pekrun *et al.* (2014) y de Trigwell *et al.* (2012), y podría implicar que una intervención sobre esta emoción permite, no solo atenuar las emociones negativas, sino también incrementar la intensidad de las emociones positivas. Este papel modulador en emociones de valencia opuesta podría atribuirse también, en base a los resultados del análisis factorial, a la frustración (que correlaciona negativamente con el factor 1) y a la confianza (que correlaciona negativamente con el factor 2 en algunos contextos). Además, en los trabajos anteriormente mencionados también se han observado, al igual que en la presente investigación, bajas correlaciones entre las emociones positivas y negativas. La concordancia de los resultados obtenidos con todos estos estudios previos apoya la consistencia externa del test de emociones diseñado.



### 2.4.1.2 Análisis confirmatorios

Los resultados de los análisis, realizados con los datos obtenidos mediante el test de emociones en los años académicos sucesivos (2, 3, 4 y 5), concuerdan con el análisis de intercorrelaciones y con el análisis factorial exploratorios realizados en el año académico 1. Los resultados son similares independientemente del año académico analizado, de la actividad práctica implementada y del contexto educativo estudiado, como demuestran: i) los 3 análisis factoriales adicionales (con sus respectivos estudios de intercorrelación) de los datos obtenidos antes y después de la práctica de Biología Celular (años académicos 2, 3 y 4; n=154, 149 y 112, respectivamente) (tabla 2.3), ii) los 3 análisis para la práctica de Microbiología (años académicos 2, 3 y 4; n=154, 149 y 112, respectivamente) (tabla 2.4) y, iii) el de la práctica de Biología Evolutiva (año académico 5, n=143) (tabla 2.5). En estos casos se analizan dos contextos académicos: emociones anticipatorias previas a cada práctica y emociones experimentadas durante su realización. La coherencia de los resultados obtenidos en estos análisis factoriales, en todos los años académicos estudiados, permite unificar los resultados de los mismos para cada práctica activa (a través de una media de los mismos), a efectos de su presentación en esta investigación. Las tablas 2.3 y 2.4 recogen los estadísticos descriptivos (media y desviación estándar) de los datos obtenidos en los análisis factoriales realizados en el conjunto de los años académicos en los que se implementan las prácticas activas de Biología Celular (años académicos 1, 2, 3 y 4) y Microbiología (años académicos 2, 3 y 4). Para la práctica activa de Biología Evolutiva, implementada sólo en el año académico 5, la tabla 2.5 recoge los resultados del análisis factorial realizado con los datos de este año académico.

En todos los casos (tablas 2.3, 2.4 y 2.5) se obtienen resultados congruentes con los resultados obtenidos en el análisis de intercorrelaciones exploratorio, en el análisis factorial exploratorio y con la bibliografía citada anteriormente (Goetz *et al.*, 2007; Pekrun *et al.*, 2010; Pekrun *et al.*, 2011; Pekrun *et al.*, 2014; Trigwell *et al.*, 2012):

- Respecto al análisis de intercorrelaciones, se observan correlaciones positivas entre las emociones positivas y entre las emociones negativas; así como una ausencia de correlación entre emociones de distinta valencia. Al igual que en el análisis con los datos del año académico 1, se observa un comportamiento peculiar para el aburrimiento y, en menos ocasiones, para la frustración.
- Extracción de dos factores, correspondientes a las emociones en función de su valencia (positiva y negativa).
- Comportamiento singular del aburrimiento (que correlaciona positivamente con el factor de las emociones negativas y negativamente con el de las positivas), y en menor medida, de la frustración y de la confianza.

- Modelos plausibles de acuerdo con los parámetros analizados: coeficiente  $\alpha$  de Cronbach mayor de 0,7 (en algunas ocasiones un poco por debajo para las emociones negativas, debido al aburrimiento, aunque siempre por encima de 0,6), test KMO mayor que 0,8, porcentaje de varianza explicada superior al 50 % y prueba de esfericidad de Bartlett y test  $\chi^2$  (p-valor < 0,001 y > 0,05, respectivamente).

**Tabla 2.3.** Media  $\pm$  desviación estándar de los datos obtenidos en los análisis factoriales realizados con los datos de intensidad de emociones, antes y después, de la práctica activa de Biología Celular, en 4 años académicos independientes (años 1, 2, 3 y 4; n=160, 154, 149 y 112). En la parte superior se recoge la matriz de estructura, en la que se resaltan en negrita las correlaciones más elevadas ( $\geq 0,250$ ). En la parte inferior se muestran el coeficiente  $\alpha$  de Cronbach, el porcentaje de varianza explicada, la prueba de esfericidad de Bartlett y los test KMO y  $\chi^2$ .

<b>AÑOS ACADÉMICOS 1, 2, 3, y 4</b>	<b>Previo a la práctica de Biología Celular</b>		<b>Después de la práctica de Biología Celular</b>	
<b>Emociones</b>	<b>Factor 1</b>	<b>Factor 2</b>	<b>Factor 1</b>	<b>Factor 2</b>
<i>Alegría</i>	<b>0,813 <math>\pm</math> 0,042</b>	-0,024 $\pm$ 0,030	<b>0,761 <math>\pm</math> 0,037</b>	-0,059 $\pm$ 0,059
<i>Confianza</i>	<b>0,563 <math>\pm</math> 0,081</b>	-0,239 $\pm$ 0,189	<b>0,603 <math>\pm</math> 0,065</b>	-0,184 $\pm$ 0,216
<i>Satisfacción</i>	<b>0,729 <math>\pm</math> 0,082</b>	-0,078 $\pm$ 0,098	<b>0,773 <math>\pm</math> 0,109</b>	-0,141 $\pm$ 0,046
<i>Entusiasmo</i>	<b>0,807 <math>\pm</math> 0,069</b>	-0,067 $\pm$ 0,078	<b>0,748 <math>\pm</math> 0,086</b>	-0,076 $\pm$ 0,082
<i>Diversión</i>	<b>0,759 <math>\pm</math> 0,029</b>	0,026 $\pm$ 0,023	<b>0,788 <math>\pm</math> 0,076</b>	-0,080 $\pm$ 0,069
<i>Nerviosismo</i>	0,010 $\pm$ 0,015	<b>0,648 <math>\pm</math> 0,167</b>	0,002 $\pm$ 0,091	<b>0,616 <math>\pm</math> 0,063</b>
<i>Aburrimiento</i>	<b>-0,219 <math>\pm</math> 0,120</b>	<b>0,421 <math>\pm</math> 0,152</b>	<b>-0,265 <math>\pm</math> 0,235</b>	<b>0,430 <math>\pm</math> 0,226</b>
<i>Frustración</i>	-0,166 $\pm$ 0,144	<b>0,716 <math>\pm</math> 0,174</b>	<b>-0,289 <math>\pm</math> 0,073</b>	<b>0,698 <math>\pm</math> 0,149</b>
<i>Preocupación</i>	-0,145 $\pm$ 0,119	<b>0,774 <math>\pm</math> 0,079</b>	-0,169 $\pm$ 0,073	<b>0,694 <math>\pm</math> 0,203</b>
<i>Incertidumbre</i>	0,098 $\pm$ 0,130	<b>0,463 <math>\pm</math> 0,197</b>	0,096 $\pm$ 0,066	<b>0,399 <math>\pm</math> 0,038</b>
<b><i><math>\alpha</math> Cronbach</i></b>	0,852 $\pm$ 0,039	0,694 $\pm$ 0,122	0,854 $\pm$ 0,037	0,705 $\pm$ 0,104
<b><i>% varianza explicada</i></b>	53% $\pm$ 0,07%		51% $\pm$ 0,08%	
<b><i>Test KMO</i></b>	0,787 $\pm$ 0,037		0,801 $\pm$ 0,035	
<b><i>Prueba de esfericidad de Bartlett</i></b>	<0,001		<0,001	
<b><i>Test <math>\chi^2</math></i></b>	0,10 $\pm$ 0,04		0,20 $\pm$ 0,12	

**Tabla 2.4.** Media  $\pm$  desviación estándar de los datos obtenidos en los análisis factoriales realizados con los datos de intensidad de emociones, antes y después, de la práctica activa de Microbiología, en 3 años académicos independientes (años 2, 3 y 4; n=154, 149 y 112). En la parte superior se recoge la matriz de estructura, en la que se resaltan en negrita las correlaciones más elevadas ( $\geq 0,250$ ). En la parte inferior se muestran el coeficiente  $\alpha$  de Cronbach, el porcentaje de varianza explicada, la prueba de esfericidad de Bartlett y los test KMO y  $\chi^2$ .

<b>AÑOS ACADÉMICOS 2, 3, y 4</b>	<b>Previo a la práctica de Microbiología</b>		<b>Después de la práctica de Microbiología</b>	
	<b>Factor 1</b>	<b>Factor 2</b>	<b>Factor 1</b>	<b>Factor 2</b>
<b>Emociones</b>				
<i>Alegría</i>	<b>0,779 <math>\pm</math>0,056</b>	-0,030 $\pm$ 0,092	<b>0,618 <math>\pm</math>0,267</b>	-0,029 $\pm$ 0,081
<i>Confianza</i>	<b>0,452 <math>\pm</math>0,073</b>	<b>-0,299 <math>\pm</math>0,136</b>	<b>0,558 <math>\pm</math>0,103</b>	-0,150 $\pm$ 0,084
<i>Satisfacción</i>	<b>0,746 <math>\pm</math>0,078</b>	-0,079 $\pm$ 0,107	<b>0,735 <math>\pm</math>0,070</b>	-0,159 $\pm$ 0,072
<i>Entusiasmo</i>	<b>0,714 <math>\pm</math>0,137</b>	0,072 $\pm$ 0,144	<b>0,706 <math>\pm</math>0,026</b>	-0,038 $\pm$ 0,118
<i>Diversión</i>	<b>0,779 <math>\pm</math>0,028</b>	0,057 $\pm$ 0,039	<b>0,723 <math>\pm</math>0,061</b>	-0,065 $\pm$ 0,124
<i>Nerviosismo</i>	0,097 $\pm$ 0,043	<b>0,667 <math>\pm</math>0,044</b>	0,021 $\pm$ 0,110	<b>0,548 <math>\pm</math>0,144</b>
<i>Aburrimiento</i>	<b>-0,290 <math>\pm</math>0,025</b>	<b>0,486 <math>\pm</math>0,172</b>	<b>-0,333 <math>\pm</math>0,123</b>	<b>0,527 <math>\pm</math>0,238</b>
<i>Frustración</i>	-0,127 $\pm$ 0,067	<b>0,641 <math>\pm</math>0,181</b>	-0,203 $\pm$ 0,139	<b>0,694 <math>\pm</math>0,176</b>
<i>Preocupación</i>	-0,078 $\pm$ 0,041	<b>0,780 <math>\pm</math>0,085</b>	-0,147 $\pm$ 0,068	<b>0,625 <math>\pm</math>0,102</b>
<i>Incertidumbre</i>	-0,001 $\pm$ 0,043	<b>0,407 <math>\pm</math>0,118</b>	0,002 $\pm$ 0,049	<b>0,310 <math>\pm</math>0,078</b>
<b><i><math>\alpha</math> Cronbach</i></b>	<i>0,801 <math>\pm</math>0,061</i>	<i>0,716 <math>\pm</math>0,029</i>	<i>0,838 <math>\pm</math>0,059</i>	<i>0,697 <math>\pm</math>0,030</i>
<b><i>% varianza explicada</i></b>	<i>54% <math>\pm</math> 0,08%</i>		<i>51% <math>\pm</math> 0,06%</i>	
<b><i>Test KMO</i></b>	<i>0,786 <math>\pm</math> 0,059</i>		<i>0,795 <math>\pm</math> 0,081</i>	
<b><i>Prueba de esfericidad de Bartlett</i></b>	<i>&lt;0,001</i>		<i>&lt;0,001</i>	
<b><i>Test <math>\chi^2</math></i></b>	<i>0,26 <math>\pm</math> 0,21</i>		<i>0,29 <math>\pm</math> 0,20</i>	

**Tabla 2.5.** Análisis factorial realizado con los datos de intensidad de emociones, antes y después, de la práctica activa de Biología Evolutiva (año académico 5, n=143). En la parte superior se recoge la matriz de estructura, en la que se resaltan en negrita las correlaciones más elevadas ( $\geq 0,250$ ). En la parte inferior se muestran el coeficiente  $\alpha$  de Cronbach, el porcentaje de varianza explicada, la prueba de esfericidad de Bartlett y los test KMO y  $\chi^2$ .

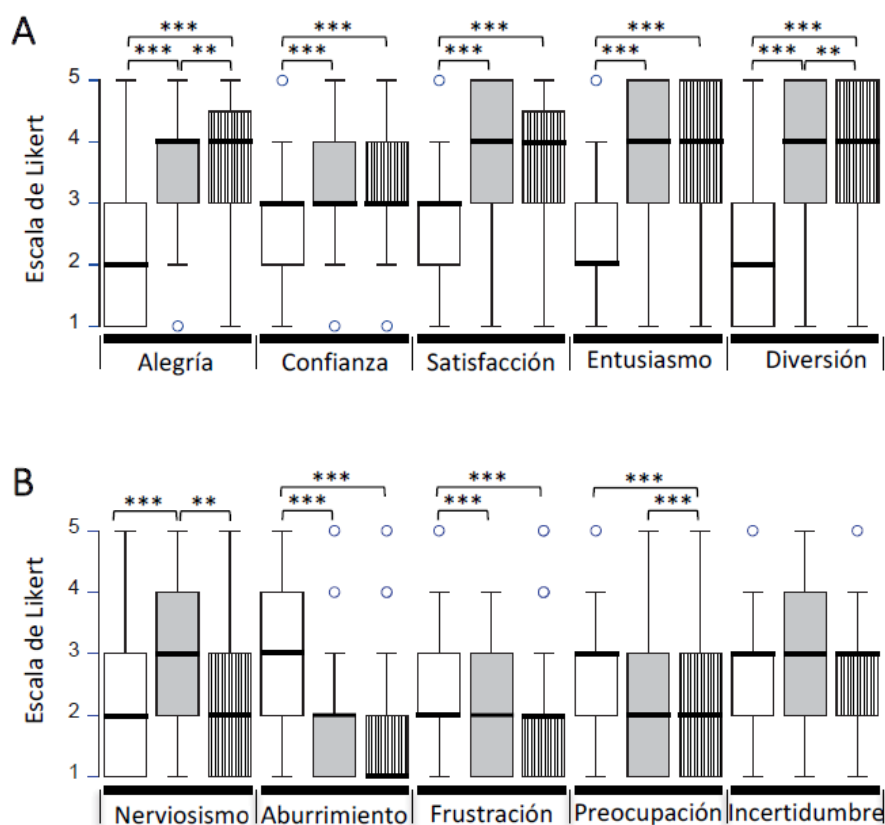
<b>AÑO ACADÉMICO 5</b>	<b>Previo a la práctica de Biología Evolutiva</b>		<b>Después de la práctica de Biología Evolutiva</b>	
<b>Emociones</b>	<b>Factor 1</b>	<b>Factor 2</b>	<b>Factor 1</b>	<b>Factor 2</b>
<i>Alegría</i>	<b>0,844</b>	-0,034	<b>0,798</b>	-0,049
<i>Confianza</i>	<b>0,684</b>	<b>-0,481</b>	<b>0,683</b>	-0,169
<i>Satisfacción</i>	<b>0,732</b>	-0,173	<b>0,897</b>	-0,121
<i>Entusiasmo</i>	<b>0,827</b>	-0,162	<b>0,821</b>	-0,086
<i>Diversión</i>	<b>0,764</b>	0,001	<b>0,886</b>	-0,176
<i>Nerviosismo</i>	-0,036	<b>0,776</b>	-0,131	<b>0,527</b>
<i>Aburrimiento</i>	<b>-0,620</b>	<b>0,280</b>	<b>-0,646</b>	<b>0,471</b>
<i>Frustración</i>	<b>-0,360</b>	<b>0,508</b>	<b>-0,304</b>	<b>0,763</b>
<i>Preocupación</i>	-0,031	<b>0,810</b>	-0,026	<b>0,900</b>
<i>Incertidumbre</i>	-0,006	<b>0,717</b>	0,177	<b>0,443</b>
<i><math>\alpha</math> Cronbach</i>	0,870	0,750	0,907	0,731
<i>% varianza explicada</i>	64%		59%	
<i>Test KMO</i>	0,827		0,847	
<i>Prueba de esfericidad de Bartlett</i>	<0,001		<0,001	
<i>Test <math>\chi^2</math></i>	0,13		0,35	

En su conjunto, los análisis de intercorrelaciones y los análisis factoriales apoyan la consistencia interna del test de emociones diseñado, y la concordancia con estudios previos apoya su consistencia externa. Esto sugiere que el cuestionario cuantitativo autoinforme, desarrollado en la presente Tesis Doctoral para medir emociones, permite, a pesar de su sencillez, capturar la valencia y la intensidad de las emociones académicas pasadas y presentes experimentadas por un determinado grupo de alumnos.

#### **2.4.2 Análisis de las emociones retrospectivas de maestros en formación inicial en sesiones expositivas y prácticas de Biología de Educación Secundaria y la influencia del género**

Para analizar el recuerdo de las emociones experimentadas por los maestros en formación inicial en las clases expositivas y prácticas de Biología, en su etapa de estudiantes de Educación Secundaria; se examinan los resultados del test autoinforme para las intensidades de emociones reportadas para ambos contextos por los participantes en el año académico 1, antes de la implementación de la práctica activa de Biología Celular (n=160).

El análisis de los resultados revela que los participantes describen con diferente intensidad el recuerdo de cada una de las emociones en las sesiones expositivas y prácticas de Biología de Educación Secundaria ( $p$ -valor $<0,05$ , test de Wilcoxon). Estas diferencias se observan para todas las emociones, salvo en los casos de la preocupación y la incertidumbre, donde no se aprecian diferencias significativas entre clases teóricas y prácticas (figura 2.3).



**Figura 2.3.** Distribución de la intensidad de las emociones, positivas (A) y negativas (B), experimentadas de manera habitual por los maestros en formación inicial participantes durante clases expositivas (cajas vacías), prácticas (cajas grises) de Educación Secundaria y justo antes de realizar la práctica basada en la extracción de ADN (cajas rayadas). La recta horizontal dentro de cada caja representa la mediana. Los límites inferiores y superiores de cada caja corresponden a los percentiles 25 y 75. La terminación inferior y superior de las líneas verticales a los percentiles 5 y 95. Las líneas horizontales sobre las cajas unen grupos significativamente diferentes (test de Wilcoxon, \*\*\* $p$ -valor $<0,001$ , \*\* $p$ -valor $<0,01$ ).

El recuerdo de las emociones positivas es, en todos los casos, significativamente más intenso en clases prácticas que en clases expositivas. En los casos de las emociones alegría, entusiasmo y diversión, la mediana aumenta de 2 en clases expositivas a 4 en prácticas ( $p$ -valor $<0,001$ , test de Wilcoxon); mientras que la mediana de la satisfacción pasa de 3 en clases magistrales a 4 en prácticas ( $p$ -valor $<0,001$ , test de Wilcoxon). Respecto a la confianza (mediana de 3 para ambos contextos), las diferencias significativas observadas ( $p$ -valor $<0,001$ , test de Wilcoxon) se deben a un aumento de la varianza hacia valores superiores en clases prácticas.

En relación al recuerdo de emociones negativas, dos de ellas son significativamente más intensas en clases teóricas. En concreto, el aburrimiento (mediana de 3 en clases expositivas y

de 2 en prácticas,  $p$ -valor $<0,001$ , test de Wilcoxon) y la frustración (mediana de 2 para ambos contextos). Las diferencias significativas observadas para esta emoción ( $p$ -valor $<0,001$ , test de Wilcoxon) se deben a una disminución de la varianza en sesiones prácticas. La única emoción negativa que los estudiantes recuerdan haber experimentado más en clases prácticas, de forma significativa, es el nerviosismo (mediana de 3 en clases prácticas y de 2 en expositivas,  $p$ -valor $<0,001$ , test de Wilcoxon). No se observan diferencias significativas entre ambos contextos para la incertidumbre y la preocupación.

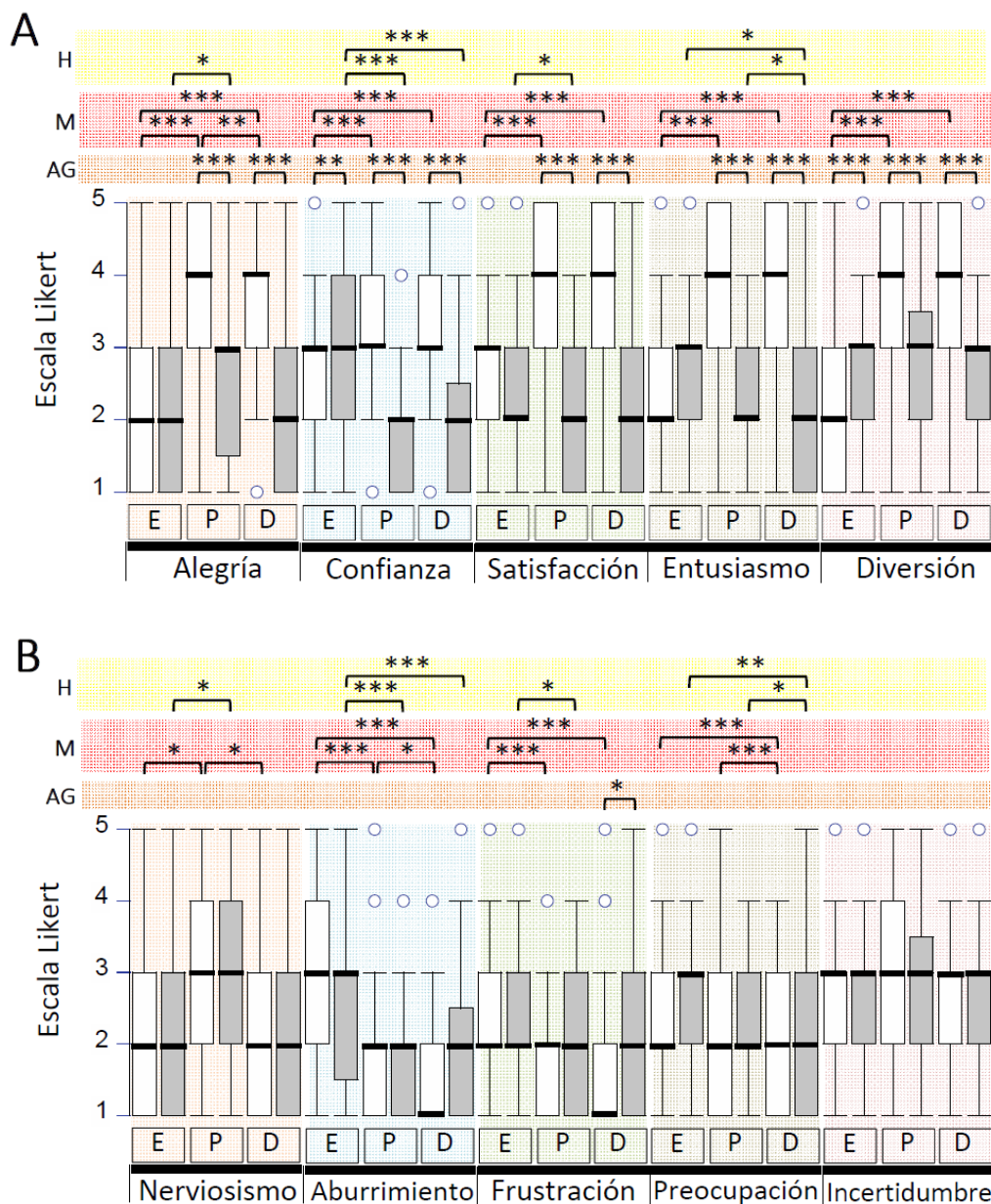
Estos resultados concuerdan con numerosas investigaciones previas que han resaltado el papel motivador de las actividades prácticas para la enseñanza de las ciencias en general, y de la Biología en particular (Caamaño, 2014; Hofstein y Lunetta, 2004; Wellington, 2002). Además, coinciden con otros trabajos que han demostrado el papel de las actividades prácticas en la generación de emociones positivas en alumnos de distintos niveles educativos (Dávila, 2018; Fernández-Torrado, 2016; Holstermann *et al.*, 2010; King *et al.*, 2015; Minkley *et al.*, 2017), también en maestros en formación inicial (Echave *et al.*, 2011).

#### **2.4.2.1 Estudio de las emociones retrospectivas en clases de Biología de Educación Secundaria en función del género**

Respecto a los análisis por género (figura 2.4), de forma global en ambos géneros se observa una mayor intensidad recordada de emociones positivas en clases prácticas en comparación con las sesiones expositivas. Esta circunstancia se produce, en ambos géneros, para la alegría, la satisfacción y la confianza. En el caso de las emociones positivas entusiasmo y diversión, estas solo son más intensas en el recuerdo de sesiones prácticas de las mujeres. Asimismo, en ambos géneros se observa una mayor frecuencia en el recuerdo del nerviosismo en actividades prácticas, y una menor frecuencia en la intensidad recordada de aburrimiento y frustración durante dichas actividades prácticas. Respecto a las diferencias entre la intensidad recordada por hombres y por mujeres, se observa un sesgo de género, particularmente para las emociones positivas. De este modo, las mujeres recuerdan haber experimentado, con más intensidad que los hombres, todas las emociones positivas analizadas (alegría, confianza, satisfacción, entusiasmo y diversión) en clases prácticas ( $p$ -valor $<0,001$ , test de Wilcoxon). Mientras, respecto a las clases expositivas, las mujeres recuerdan haber experimentado menos confianza ( $p$ -valor $<0,01$ , test de Wilcoxon) y diversión ( $p$ -valor $<0,001$ , test de Wilcoxon) que los hombres.

La mayor frecuencia de emociones positivas detectada, de manera general, en el recuerdo de las mujeres hacia las clases de Biología de Educación Secundaria; concuerda con trabajos previos que han establecido, con alumnos de distintos niveles educativos, que la Biología es una

disciplina más motivadora para las mujeres (Baram-Tsabari *et al.*, 2006; Baram-Tsabari y Yarden, 2008; Pérez y de Pro, 2013; Prokop *et al.*, 2007; Vazquez y Manassero, 2007).



**Figura 2.4.** Distribución de la intensidad de las emociones, positivas (A) y negativas (B), experimentadas por los maestros en formación inicial mujeres (cajas vacías) y hombres (cajas grises) durante clases expositivas (E), prácticas (P) de Educación Secundaria y antes de realizar la práctica basada en la extracción de ADN. La recta horizontal dentro de cada caja representa la mediana. Los límites inferiores y superiores de cada caja corresponden a los percentiles 25 y 75. La terminación inferior y superior de las líneas verticales a los percentiles 5 y 95. Las líneas horizontales sobre las cajas unen grupos significativamente diferentes (test de Wilcoxon, \*\*\*p-valor<0,001, \*\*p-valor<0,01, \*p-valor<0,05) entre hombres (H), mujeres (M) y entre ambos (análisis de género, AG).

Respecto a los estudios previos con profesorado en formación inicial, los resultados obtenidos difieren de los de Brígido *et al.* (2010), quienes detectaron que los futuros docentes de Educación Primaria de género masculino experimentaron, en su etapa de estudiantes de Educación Secundaria, emociones positivas de manera más frecuente que sus compañeras

(concretamente más alegría, orgullo, satisfacción, seguridad y tranquilidad). A diferencia de la presente investigación, estos autores indagaron acerca del recuerdo de los maestros en formación inicial hacia las clases de Biología de Educación Secundaria sin preguntar por el tipo de sesión implementada. Dado que la enseñanza de las ciencias en Educación Secundaria suele basarse en clases magistrales, las mayores intensidades de algunas emociones positivas (confianza y diversión) detectadas en hombres para este tipo de sesiones transmisivas concuerdan con los resultados de estos autores. Otra posible causa de las diferencias entre los resultados obtenidos y los de Brígido *et al.* (2010) es que estos autores indagaron sobre frecuencia, y no intensidad, de emociones. Sin embargo, los resultados sí coinciden con el estudio de Borrachero *et al.* (2014) en el que las futuras docentes de Biología de Educación Secundaria muestran más intensidad de emociones positivas hacia la enseñanza de esta disciplina.

Los resultados relativos a la mayor frecuencia recordada de emociones positivas en mujeres, hacia actividades prácticas de Biología en Educación Secundaria, concuerdan, a su vez, con los resultados obtenidos por Weinburgh y Englehard (1994); quienes detectaron, con alumnos Educación Secundaria, mejores actitudes hacia las prácticas de Biología de las mujeres.

### **2.4.3 Análisis de la discriminación entre las emociones retrospectivas en clases prácticas de Biología de Educación Secundaria de los maestros en formación inicial y sus emociones anticipatorias a una actividad práctica de Biología con un test autoinforme**

Se podría argumentar que las observaciones incluidas en el apartado anterior sobre emociones pasadas no son fiables, puesto que se ha descrito que los cuestionarios autoinformes sobre emociones podrían no permitir discriminar entre las emociones retrospectivas y las emociones anticipatorias para un determinado contexto educativo (Robinson y Clore, 2002). Según estos autores, en los test autoinformes que interrogan sobre emociones del pasado, es común atribuir sensaciones presentes a emociones pasadas. Para determinar si los maestros en formación inicial son capaces de diferenciar la intensidad con la que experimentan una misma emoción para un contexto pasado y un contexto presente similar; se comparan el recuerdo de emociones, en clases prácticas de Biología de Educación Secundaria, y las emociones anticipatorias previas a la práctica activa diseñada para la enseñanza de Biología Celular, reportadas por los participantes durante el año académico 1 (n=160).

Los resultados revelan que los estudiantes participantes atribuyen una intensidad distinta para algunas emociones en estos dos contextos académicos (figura 2.3). Concretamente, diferencian el recuerdo de la intensidad de alegría, de diversión, de nerviosismo (p-valor<0,01, test de Wilcoxon) y de preocupación (p-valor<0,001, test de Wilcoxon), en clases prácticas como



estudiantes de Educación Secundaria, de su expectativa de emociones ante una clase práctica incluida en su programa formativo. Respecto al análisis por género (figura 2.4), los hombres son capaces de distinguir entre la intensidad de algunas emociones (concretamente entusiasmo y preocupación,  $p$ -valor $<0,05$ , test de Wilcoxon), mientras que las mujeres diferencian entre un número mayor de emociones: alegría ( $p$ -valor $<0,01$ , test de Wilcoxon), nerviosismo ( $p$ -valor $<0,05$ , test de Wilcoxon), aburrimiento ( $p$ -valor $<0,05$ , test de Wilcoxon) y preocupación ( $p$ -valor $<0,001$ , test de Wilcoxon).

Estos resultados sugieren, a diferencia de lo señalado por Robinson y Clore (2002), que estos alumnos son capaces de recordar emociones pasadas y diferenciarlas de las emociones presentes hacia una situación académica similar, desvinculando las emociones presentes de las pasadas.

#### 2.4.4 Análisis de las interacciones entre las emociones retrospectivas en clases prácticas de Biología de Educación Secundaria y las emociones anticipatorias previas a una actividad práctica de Biología en maestros en formación inicial

El análisis de las asociaciones entre las emociones retrospectivas, recordadas por los maestros en formación inicial participantes en el año académico 1 ( $n=160$ ) para la enseñanza práctica de Biología en Educación Secundaria, y las emociones anticipatorias previas a una actividad práctica del presente (práctica activa de Biología Celular) indica que las emociones pasadas y presentes tienen una relación estrecha (tabla 2.6): todas las emociones, positivas y negativas, recordadas en clases prácticas de Biología de Educación Secundaria, correlacionan (Correlación de Spearman,  $p$ -valor $<0,001$ ) con su intensidad esperada para una actividad práctica de Biología incluida en su programa formativo.

**Tabla 2.6.** Coeficientes de correlación de las emociones anticipatorias, previas a la práctica activa de Biología Celular (año académico 1), con las emociones retrospectivas en clases prácticas de Biología de Educación Secundaria. En negrita se resaltan las correlaciones significativas (Correlación de Spearman, \*\*\* $p$ -valor $<0,001$ ). En sombreado se señalan las diferencias significativas entre los coeficientes de correlación de hombres y mujeres, calculadas mediante remuestreo o *bootstrapping*.

<i>Emociones anticipatorias ante la implementación de la práctica activa de Biología Celular</i>	<i>Coefficiente de correlación con la intensidad recordada en clases prácticas de Biología de Educación Secundaria</i>		
	<i>Total</i>	<i>M</i>	<i>H</i>
<i>Alegría</i>	<b>0,602***</b>	<b>0,662***</b>	<b>0,487***</b>
<i>Confianza</i>	<b>0,316***</b>	<b>0,412***</b>	0,168
<i>Satisfacción</i>	<b>0,491***</b>	<b>0,424***</b>	<b>0,650***</b>
<i>Entusiasmo</i>	<b>0,561***</b>	<b>0,582***</b>	<b>0,522***</b>
<i>Diversión</i>	<b>0,633***</b>	<b>0,661***</b>	<b>0,583***</b>
<i>Nerviosismo</i>	<b>0,528***</b>	<b>0,513***</b>	<b>0,554***</b>
<i>Aburrimiento</i>	<b>0,620***</b>	<b>0,641***</b>	<b>0,605***</b>
<i>Frustración</i>	<b>0,637***</b>	<b>0,593***</b>	<b>0,674***</b>
<i>Preocupación</i>	<b>0,593***</b>	<b>0,547***</b>	<b>0,679***</b>
<i>Incertidumbre</i>	<b>0,587***</b>	<b>0,635***</b>	<b>0,487***</b>

Respecto a los análisis de estas interacciones en función del género, estas correlaciones se observan para todas las emociones en hombres y mujeres; excepto para la confianza: solo muestra asociación significativa entre los dos contextos en mujeres, y dicho coeficiente de correlación es significativamente diferente al de los hombres.

Estos resultados sugieren que aquellos futuros maestros que recordaban haber sentido más emociones positivas y menos emociones negativas, durante las clases prácticas de Biología de Educación Secundaria, son aquellos que esperan sentir más emociones positivas y menos negativas con la realización de la práctica. Así, las emociones que los maestros en formación inicial sintieron con la enseñanza práctica de Biología, como alumnos de Educación Secundaria, se manifiestan durante su formación universitaria: sus emociones retrospectivas influyen en sus emociones anticipatorias. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Brígido *et al.* (2013b), quienes observaron una correspondencia entre las emociones de los futuros maestros hacia la enseñanza de las ciencias y su recuerdo de emociones, como alumnos de distintas asignaturas científicas en Educación Secundaria.

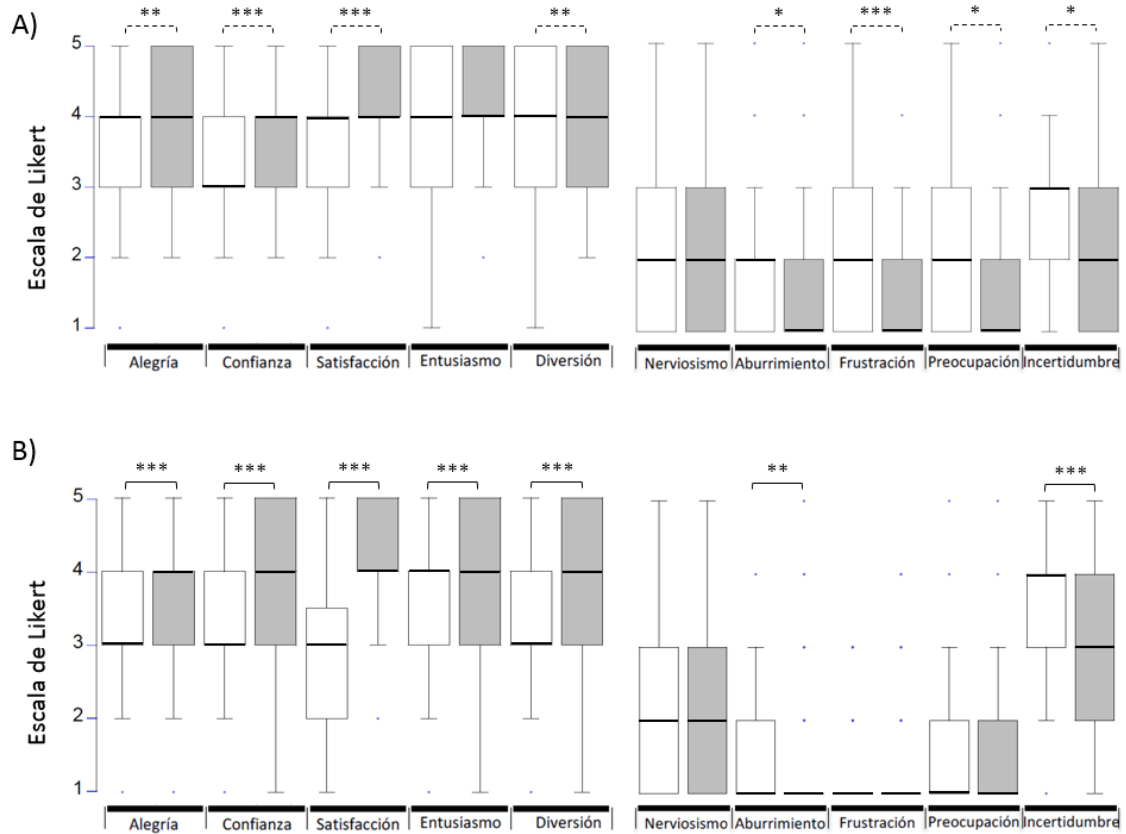
#### **2.4.5 Análisis del cambio de emociones de maestros en formación inicial con la implementación de prácticas activas de Biología y la influencia del género**

El efecto de la implementación de las tres prácticas activas, desarrolladas en la presente Tesis Doctoral, en las emociones de los maestros en formación inicial participantes se determina comparando sus emociones anticipatorias con las emociones experimentadas durante su realización (figuras 2.5, 2.6, 2.7 y 2.8).

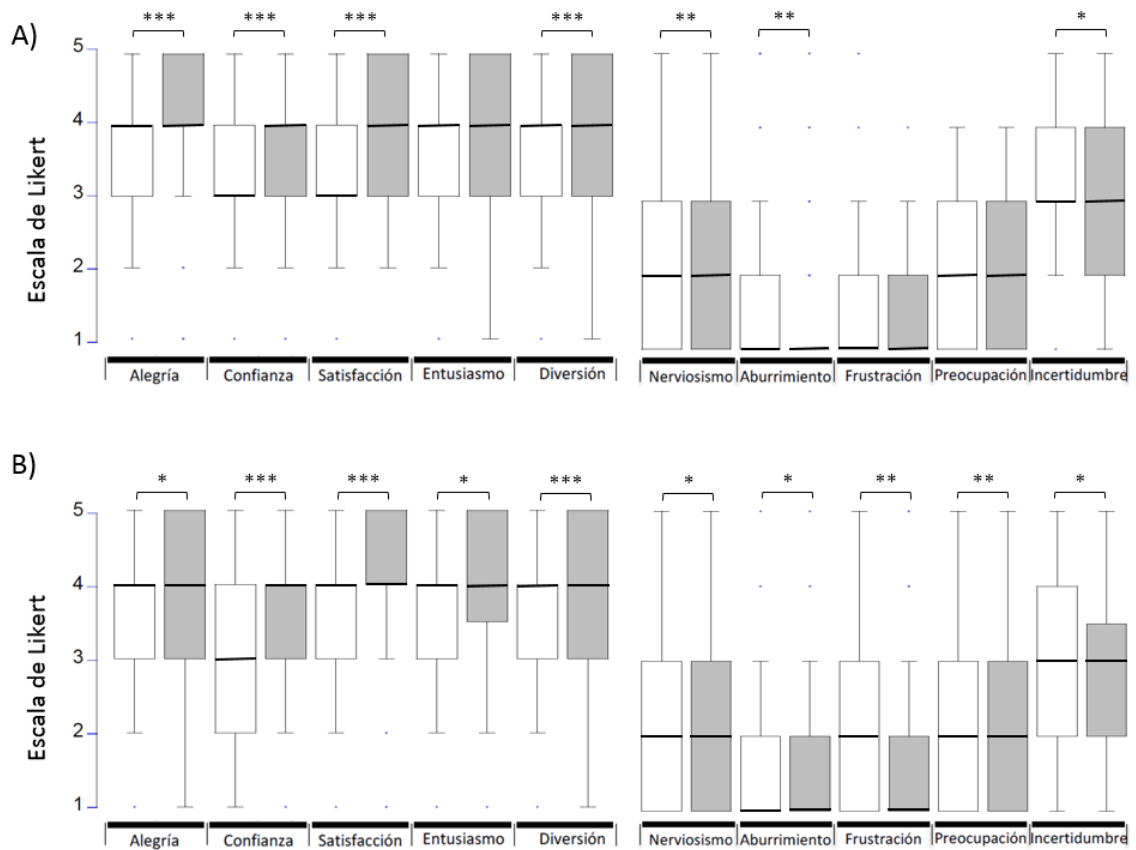
##### **2.4.5.1 Análisis del cambio de emociones con la práctica activa de Biología Celular**

La implementación de la práctica basada en la extracción de ADN con materiales cotidianos, desarrollada bajo investigación dirigida y diseñada para la enseñanza de Biología Celular, Química y Física; genera cambios significativos en la intensidad de las emociones de los participantes, durante cuatro cursos académicos (años académicos 1, 2, 3 y 4) (figuras 2.5 y 2.6). La realización de esta actividad genera, respecto a la expectativa inicial de emociones de los participantes, un aumento en la intensidad de las emociones positivas; así como una disminución en la intensidad de las negativas. Centrándonos en emociones concretas, la práctica activa sobre Biología Celular diseñada genera, en los cuatro años académicos analizados, aumentos significativos en las intensidades de las emociones alegría, confianza, satisfacción y diversión; así como disminuciones significativas en las intensidades del aburrimiento y la incertidumbre. Además, también se observan aumentos significativos en la intensidad de

entusiasmo (en los años académicos 2 y 4); y disminuciones en las intensidades del nerviosismo (en los años académicos 3 y 4), la frustración y la preocupación (en los años académicos 1 y 4).



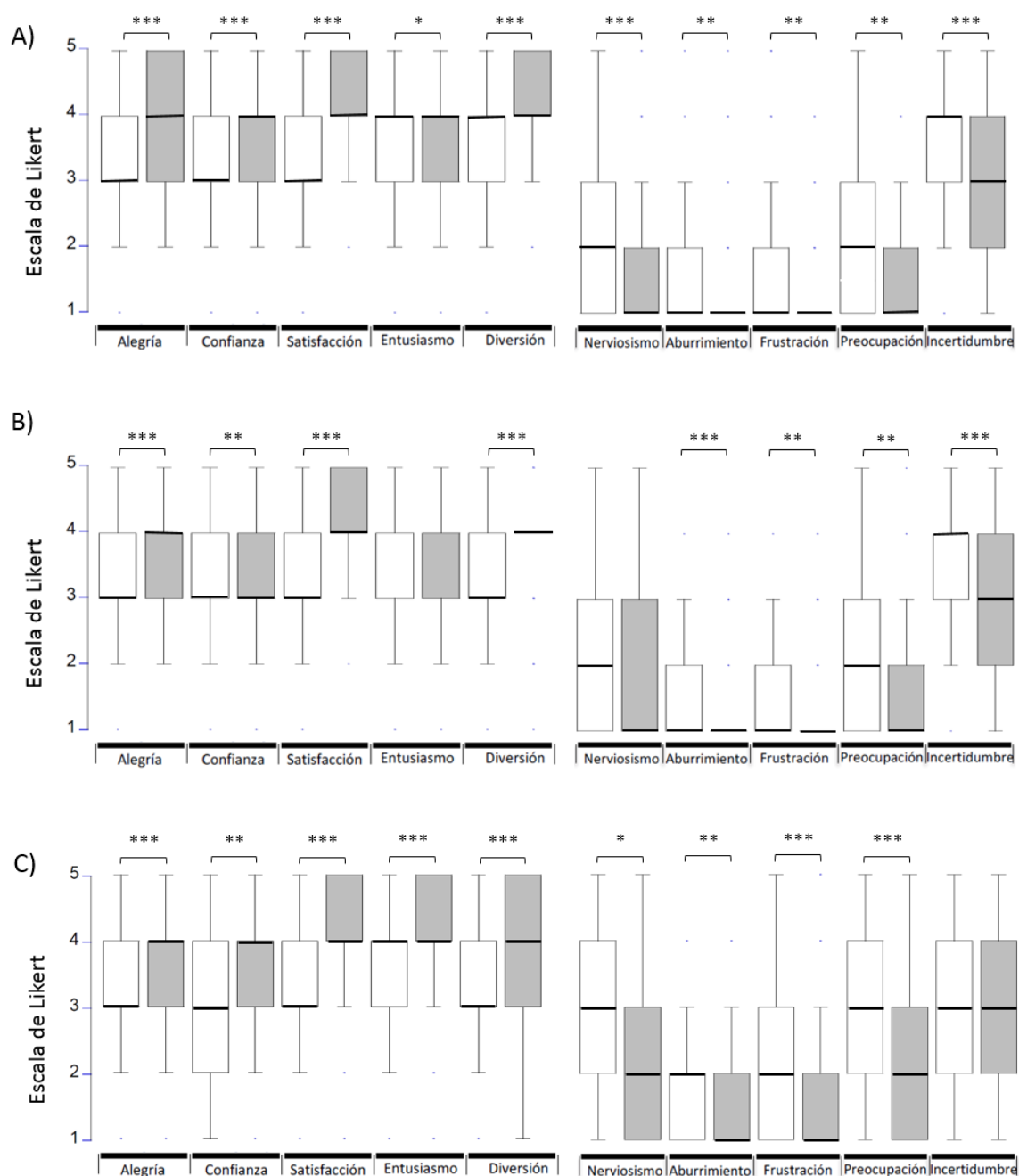
**Figura 2.5.** Distribución de la intensidad de las emociones, positivas y negativas, experimentadas por los maestros en formación inicial participantes antes (cajas vacías) y después (cajas grises) de la implementación de la práctica activa diseñada para la enseñanza de Biología Celular, Química y Física en los años académicos 1 (A) y 2 (B). La recta horizontal dentro de cada caja representa la mediana. Los límites inferiores y superiores de cada caja corresponden a los percentiles 25 y 75. La terminación inferior y superior de las líneas verticales a los percentiles 5 y 95. Las líneas horizontales sobre las cajas (continua para datos apareados y discontinua para datos desapareados) unen grupos significativamente diferentes (test de Wilcoxon, \*\*\*p-valor<0,001, \*\*p-valor<0,01; \*p-valor<0,05).



**Figura 2.6.** Distribución de la intensidad de las emociones, positivas y negativas, experimentadas por los maestros en formación inicial participantes antes (cajas vacías) y después (cajas grises) de la implementación de la práctica activa diseñada para la enseñanza de Biología Celular, Química y Física en los años académicos 3 (A) y 4 (B). La recta horizontal dentro de cada caja representa la mediana. Los límites inferiores y superiores de cada caja corresponden a los percentiles 25 y 75. La terminación inferior y superior de las líneas verticales a los percentiles 5 y 95. Las líneas horizontales sobre las cajas unen grupos significativamente diferentes (test de Wilcoxon, \*\*\*p-valor<0,001, \*\*p-valor<0,01; \*p-valor<0,05).

### 2.4.5.2 Análisis del cambio de emociones con la práctica activa de Microbiología

Respecto a la práctica activa diseñada para la enseñanza de Microbiología, basada en el cultivo microbiano e implementada bajo investigación dirigida; su implementación, durante tres cursos académicos (años académicos 2, 3 y 4), también provoca variaciones en las emociones de los alumnos participantes (figura 2.7).



**Figura 2.7.** Distribución de la intensidad de las emociones, positivas y negativas, experimentadas por los maestros en formación inicial participantes antes (cajas vacías) y después (cajas grises) de la implementación de la práctica activa diseñada para la enseñanza de Microbiología en los años académicos 2 (A), 3 (B) y 4 (C). La recta horizontal dentro de cada caja representa la mediana. Los límites inferiores y superiores de cada caja corresponden a los percentiles 25 y 75. La terminación inferior y superior de las líneas verticales a los percentiles 5 y 95. Las líneas horizontales sobre las cajas unen grupos significativamente diferentes (test de Wilcoxon, \*\*\*p-valor<0,001, \*\*p-valor<0,01; \*p-valor<0,05).

Los resultados muestran que la implementación de esta actividad práctica genera, respecto a las emociones anticipatorias de los participantes, un aumento en la intensidad de las emociones positivas; así como una disminución en la intensidad de las negativas. Analizando individualmente cada emoción, se observa que esta práctica activa genera, en los tres años académicos analizados, aumentos significativos en las intensidades de las emociones alegría, confianza, satisfacción y diversión; así como disminuciones significativas en las intensidades de las emociones aburrimiento, frustración y preocupación. Respecto al resto de emociones, también se observan aumentos significativos en la intensidad de entusiasmo (en los años académicos 2 y 4); y disminuciones en las intensidades del nerviosismo (en los años académicos 2 y 4) y la incertidumbre (en los años académicos 2 y 3).

#### **2.4.5.3 Discusión sobre el efecto de las prácticas activas basadas en la investigación dirigida en las emociones**

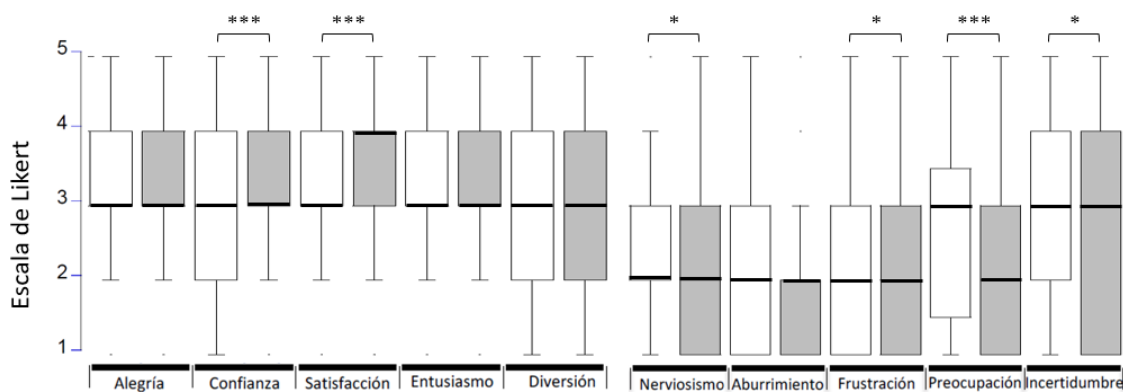
En conjunto, los resultados muestran que ambas intervenciones prácticas activas, diseñadas en la presente Tesis Doctoral e implementadas bajo investigación dirigida, motivan a los participantes; ya que generan, respecto a sus emociones anticipatorias, aumentos en la intensidad de las emociones positivas y disminuciones en la intensidad de las negativas. Estos resultados coinciden con distintas investigaciones previas, realizadas con alumnos de distintos niveles educativos, que han reflejado el papel motivador de los trabajos prácticos desarrollados bajo indagación guiada (Areepattamannil *et al.*, 2011; Gibson y Chase, 2002; Itzek-Greulich *et al.*, 2017; Knutson *et al.*, 2010; McConney *et al.*, 2014; Van-Deur y Murray-Harvey, 2005). Además, concuerdan con diversos trabajos previos que han descrito a las actividades prácticas desarrolladas bajo investigación dirigida como fuente de emociones positivas (Brownell *et al.*, 2012; Gormally *et al.*, 2009; Llach y Vila, 2017; Nicolaou *et al.*, 2015; Tuan *et al.*, 2005). Existen algunos indicios de esta circunstancia con muestras de maestros en formación inicial (Herranen *et al.*, 2015; Riegle-Crumb *et al.*, 2015; Ural, 2016; Greca *et al.*, 2017). Estas investigaciones han detectado, al implementar actividades prácticas basadas en la indagación guiada con futuros maestros, aumentos de emociones positivas como la confianza, el entusiasmo y la diversión, similares a los detectados con las prácticas activas implementadas en la presente Tesis Doctoral.

Los resultados concuerdan especialmente con las investigaciones desarrolladas por Dávila *et al.* (2015) y Retana-Alvarado *et al.* (2018); quienes han comprobado que la implementación de actividades basadas en la indagación genera, respecto a la expectativa inicial de emociones de los futuros maestros, una mayor frecuencia de emociones positivas (como la alegría, la satisfacción, el entusiasmo, la tranquilidad o la diversión), así como una disminución en la frecuencia de las emociones negativas (como la frustración, el aburrimiento, el nerviosismo, la preocupación, el enfado o el miedo).

El cambio de emociones observado con ambas intervenciones podría deberse también a otras de las características potenciales de las mismas. De este modo, existen indicios del papel motivador y de fuente de emociones positivas del trabajo cooperativo (Meece y Jones, 1996), del tratamiento de las interrelaciones CTS (Holstermann *et al.*, 2010; Hong *et al.*, 2012; Hulleman *et al.*, 2010; Tomas *et al.*, 2016; Tomas y Ritchie, 2012) y del enfoque interdisciplinar (Little y Hoel, 2011; Ruiz-Molina y Cuadrado-García, 2008); aspectos, todos ellos, abordados en ambas actividades prácticas activas.

#### 2.4.5.4 Análisis y discusión del cambio de emociones con la práctica de Biología Evolutiva

En relación a la práctica activa, basada en el uso de analogías lingüísticas, diseñada para la enseñanza de Biología Evolutiva; su implementación, en el año académico 5, genera cambios significativos en las emociones de los participantes (figura 2.8). Los resultados muestran que la implementación de esta intervención genera, respecto a la expectativa inicial de emociones de los participantes, un aumento en la intensidad de algunas de las emociones positivas; así como una disminución en la intensidad de la mayoría de las emociones negativas. En concreto, se observan aumentos significativos en la intensidad de las emociones confianza y satisfacción; así como disminuciones en la intensidad de las emociones negativas nerviosismo, frustración, preocupación e incertidumbre.



**Figura 2.8.** Distribución de la intensidad de las emociones, positivas y negativas, experimentadas por los maestros en formación inicial participantes antes (cajas vacías) y después (cajas grises) de la implementación de la práctica activa diseñada para la enseñanza de Biología Evolutiva en el año académico 5. La recta horizontal dentro de cada caja representa la mediana. Los límites inferiores y superiores de cada caja corresponden a los percentiles 25 y 75. La terminación inferior y superior de las líneas verticales a los percentiles 5 y 95. Las líneas horizontales sobre las cajas unen grupos significativamente diferentes (test de Wilcoxon, \*\*\*p-valor<0,001, \*p-valor<0,05).

Estos resultados concuerdan con distintas investigaciones previas que han resaltado el papel motivador de las analogías en la enseñanza de las ciencias (Aubusson *et al.*, 2005; Duit, 1991; Glynn, 2008; Hofstein y Lunetta, 2004; Orgill y Bodner, 2004; Rubio *et al.*, 2018; Treagust *et al.*, 1998). Sin embargo, no se pueden comparar con estudios previos sobre el impacto de la

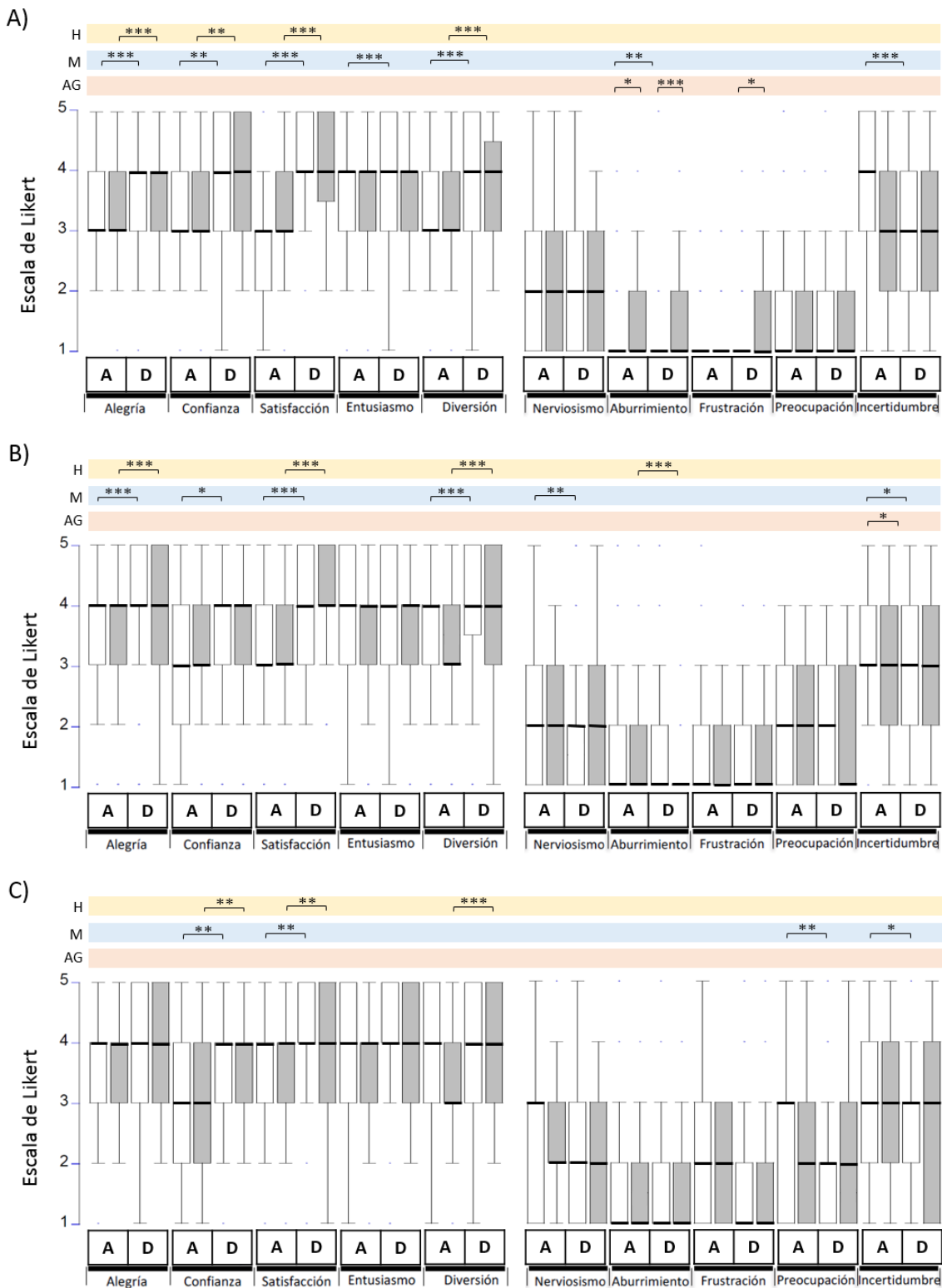
implementación de las analogías en las emociones académicas, puesto que este hecho no se ha investigado (tanto en muestras de maestros en formación como en alumnado de otros niveles educativos).

#### **2.4.5.5 Estudio del cambio de emociones con las prácticas activas de Biología en función del género**

En relación con el estudio, en función del género, del efecto de la implementación de las prácticas activas en las emociones de los futuros maestros, los resultados de estos análisis muestran algunos sesgos de género (figuras 2.9, 2.10 y 2.11).

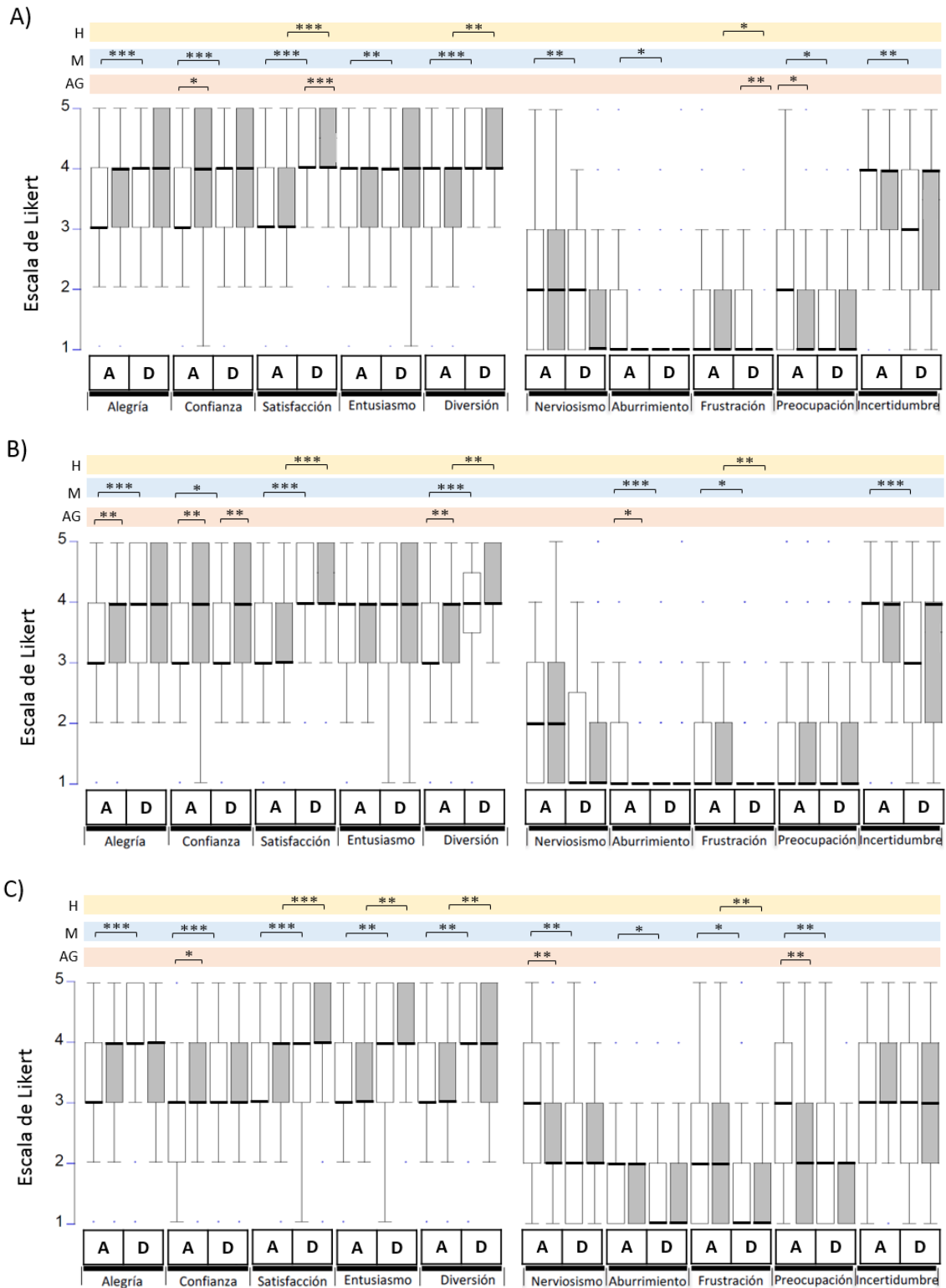
En cuanto a la práctica activa de Biología Celular, Química y Física, en su implementación (años académicos 2, 3 y 4) se observan sesgos de género para algunas emociones negativas (figura 2.9). Respecto a las emociones positivas, no se observan diferencias significativas entre hombres y mujeres: ambos grupos presentan las mismas intensidades de emociones positivas antes y después de la implementación de la actividad durante los 3 años académicos analizados. Además, hombres y mujeres experimentan siempre similares aumentos en la intensidad de las emociones positivas (excepto para el entusiasmo en el año académico 1 y la confianza en el año académico 2, emociones que solo experimentan un aumento significativo en mujeres; y la diversión en el año académico 3, que solo aumenta significativamente en hombres). Respecto a las emociones negativas, los hombres describen mayores intensidades de aburrimiento y frustración tras la actividad que las mujeres (aunque esta circunstancia solo se produce en el año académico 2). Respecto a los cambios de emociones negativas en hombres y mujeres con la intervención, se observan más disminuciones en la intensidad de emociones negativas en mujeres. Destaca la incertidumbre, cuya intensidad disminuye solo en mujeres en los tres cursos académicos analizados (no existiendo diferencias significativas en la expectativa previa de incertidumbre entre hombres y mujeres, salvo en el año académico 3). Además, se observan, solo en mujeres, disminuciones en la intensidad del nerviosismo (año académico 3) y preocupación (año académico 4).





**Figura 2.9.** Distribución de la intensidad de las emociones, positivas y negativas, experimentadas por los maestros en formación inicial mujeres (cajas vacías) y hombres (cajas grises), antes (A) y después (D) de la implementación de la práctica activa diseñada para la enseñanza de Biología Celular, Química y Física en los años académicos 2 (A), 3 (B) y 4 (C). La recta horizontal dentro de cada caja representa la mediana. Los límites inferiores y superiores de cada caja corresponden a los percentiles 25 y 75. La terminación inferior y superior de las líneas verticales a los percentiles 5 y 95. Las líneas horizontales sobre las cajas unen grupos significativamente diferentes (test de Wilcoxon, \*\*\*p-valor<0,001, \*\*p-valor<0,01; \*p-valor<0,05) entre hombres (H), mujeres (M) y entre ambos (análisis de género, AG).

Respecto a la práctica activa de Microbiología (años académicos 2, 3 y 4), en esta se observa un sesgo de género, tanto para las emociones positivas como para las emociones negativas (figura 2.10). Respecto a las emociones positivas, las mujeres describen una expectativa de confianza menor que los hombres en los tres años académicos analizados. Esta circunstancia se observa también para la alegría y la diversión, aunque solo en el año académico 3. En relación a los cambios en las emociones positivas con la intervención, se observan más aumentos en su intensidad en mujeres que en hombres. En concreto, la alegría y la confianza aumentan de intensidad en los 3 años académicos analizados solo en mujeres. Este hecho se produce tanto cuando las mujeres tienen una expectativa menor que los hombres (como la confianza en todos los casos) como cuando esto no ocurre. Respecto a las emociones negativas, las mujeres describen una expectativa mayor para algunas de las emociones negativas en algunos de los años académicos analizados (preocupación en los años académicos 2 y 4, nerviosismo en el año académico 4 y aburrimiento en el año académico 3). En relación a los cambios en la intensidad de las emociones negativas tras el desarrollo de la intervención, se observan más disminuciones en la intensidad de estas en mujeres. Concretamente, se observan, solo en mujeres, disminuciones en las intensidades de aburrimiento (en los tres años académicos analizados), nerviosismo y preocupación (años académicos 2 y 4) e incertidumbre (años académicos 2 y 3). Esta circunstancia se produce tanto cuando las mujeres tienen una expectativa superior de emociones negativas que los hombres, como cuando esto no ocurre.



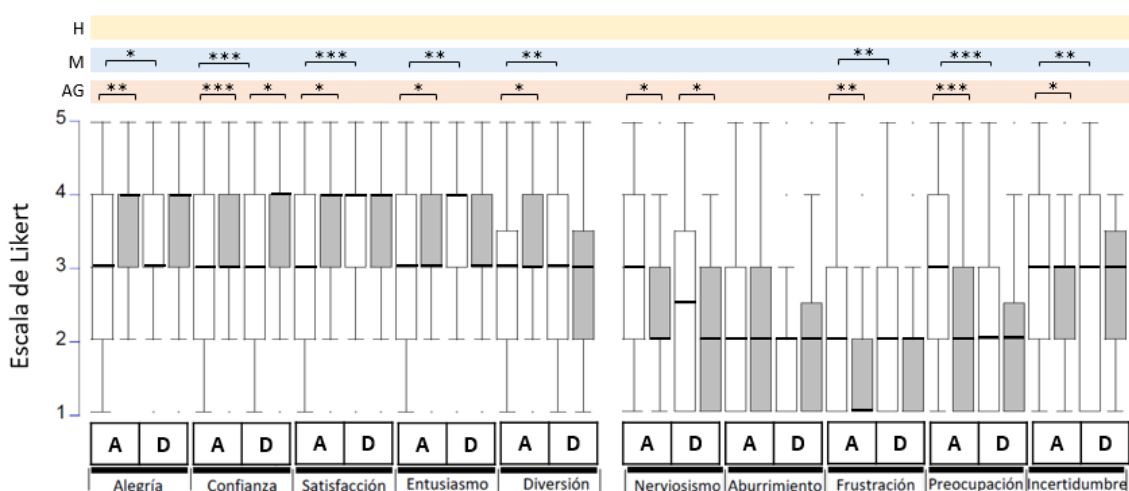
**Figura 2.10.** Distribución de la intensidad de las emociones, positivas y negativas, experimentadas por los maestros en formación inicial mujeres (cajas vacías) y hombres (cajas grises), antes (A) y después (D) de la implementación de la práctica activa diseñada para la enseñanza de Microbiología en los años académicos 2 (A), 3 (B) y 4 (C). La recta horizontal dentro de cada caja representa la mediana. Los límites inferiores y superiores de cada caja corresponden a los percentiles 25 y 75. La terminación inferior y superior de las líneas verticales a los percentiles 5 y 95. Las líneas horizontales sobre las cajas unen grupos significativamente diferentes (test de Wilcoxon, \*\*\*p-valor<0,001, \*\*p-valor<0,01; \*p-valor<0,05) entre hombres (H), mujeres (M) y entre ambos (análisis de género, AG).

En líneas generales, teniendo en cuenta ambas prácticas activas desarrolladas bajo investigación dirigida, se observan más aumentos en la intensidad de las emociones positivas en mujeres que en varones, sobre todo en la práctica activa diseñada para la enseñanza de Microbiología, en la que destacan los aumentos en la intensidad de la alegría y la confianza en mujeres. Estos aumentos se producen tanto cuando las participantes tienen una expectativa menor que sus compañeros varones como cuando esto no ocurre. Asimismo, se observan más disminuciones en la intensidad de las emociones negativas en mujeres, en este caso para ambas intervenciones. Destacan la incertidumbre, cuyo descenso ocurre solo en mujeres en la mayoría de los años académicos analizados en ambas prácticas activas (exceptuando la implementación de la práctica activa diseñada para la enseñanza de Microbiología en el año académico 4), y el aburrimiento, cuya intensidad desciende solo en mujeres en todos los años en los que se implementa la práctica activa sobre Microbiología. Estas disminuciones se producen tanto cuando las participantes tienen una expectativa inicial mayor de emociones negativas, que sus compañeros de sexo masculino, como cuando esto no ocurre. Estos resultados concuerdan con la investigación desarrollada por Retana-Alvarado (2018), quien ha comprobado, al implementar una intervención de Ciencias Naturales basada en la indagación, que las futuras maestras aumentan más la frecuencia de las emociones positivas (sobre todo el entusiasmo) que sus compañeros varones. Del mismo modo, este investigador detectó que la intensidad de emociones negativas de las futuras maestras disminuyó más que las de sus compañeros de sexo masculino (sobre todo el aburrimiento y la frustración). Los resultados obtenidos también concuerdan con el trabajo realizado por Itzek-Greulich y Vollmer (2017), quienes han comprobado, con estudiantes de Educación Secundaria, que las alumnas experimentan más emociones positivas que los alumnos con las actividades basadas en la indagación.

Además, respecto a las emociones anticipatorias previas a la realización de ambas prácticas activas, las mujeres tienen una expectativa de intensidad menor de algunas emociones positivas, destacando la confianza ante la implementación de la práctica activa sobre Microbiología; así como una expectativa de intensidad mayor de algunas emociones negativas, destacando la preocupación ante la implementación de la práctica activa de Microbiología. Estos resultados concuerdan con los obtenidos en la investigación desarrollada por Riegle-Crumb *et al.* (2015), quienes detectaron que las futuras maestras presentan, hacia su capacidad en ciencias, niveles inferiores de emociones positivas (en particular confianza y entusiasmo), a la vez que niveles superiores de ansiedad, con respecto a sus compañeros varones.

Respecto a la práctica activa basada en analogías, y diseñada para la enseñanza de Biología Evolutiva (año académico 5); los resultados de su implementación revelan un sesgo de género, tanto para las emociones positivas como para las emociones negativas (figura 2.11). En relación a las emociones positivas, se observan, solo en mujeres, aumentos en la intensidad de todas las

emociones positivas analizadas (alegría, confianza, satisfacción, entusiasmo y diversión). Además, en todos los casos, las mujeres tienen una expectativa inicial menor que sus compañeros varones. Sin embargo, estos experimentan, durante la realización de la intervención, más confianza que las mujeres. Respecto a las emociones negativas, se observan, solo en las maestras en formación inicial, disminuciones en la intensidad de algunas emociones negativas (en concreto frustración, preocupación e incertidumbre). Además, para estas tres emociones negativas y para el nerviosismo, las futuras maestras tienen una expectativa previa de intensidad mayor que los hombres. Estos sienten, durante la intervención, menores niveles de nerviosismo que las mujeres.



**Figura 2.11.** Distribución de la intensidad de las emociones, positivas y negativas, experimentadas por los maestros en formación inicial mujeres (cajas vacías) y hombres (cajas grises), antes (A) y después (D) de la implementación de la práctica activa diseñada para la enseñanza de Biología Evolutiva en el año académico 5. La recta horizontal dentro de cada caja representa la mediana. Los límites inferiores y superiores de cada caja corresponden a los percentiles 25 y 75. La terminación inferior y superior de las líneas verticales a los percentiles 5 y 95. Las líneas horizontales sobre las cajas unen grupos significativamente diferentes (test de Wilcoxon, \*\*\*p-valor<0,001, \*\*p-valor<0,01; \*p-valor<0,05) entre hombres (H), mujeres (M) y entre ambos (análisis de género, AG).

Estos resultados no se pueden comparar con los de ninguna otra investigación previa, puesto que no existen estudios acerca del impacto del empleo de analogías como recurso didáctico en las emociones académicas; tampoco en función del género de los alumnos. Sin embargo, los resultados obtenidos concuerdan con los observados en las dos prácticas activas desarrolladas bajo investigación dirigida en la presente Tesis Doctoral y con los estudios previos en los que se han observado sesgos de género similares para actividades prácticas activas basadas en la indagación (Itzek-Greulich y Vollmer, 2017; Retana-Alvarado, 2018; Riegle-Crumb *et al.*, 2015).

## **2.5. Conclusiones**

En este capítulo se ha analizado el efecto de las actividades prácticas de Biología en las emociones académicas de los maestros en formación inicial, tanto de las actividades presentes como de las realizadas en su etapa de estudiantes de Educación Secundaria. Para ello, se ha diseñado y validado un sencillo test cuantitativo autoinforme con el que medir la intensidad de 5 emociones positivas y 5 negativas. Los resultados muestran el papel motivador de las actividades prácticas de Biología de Educación Secundaria, así como el efecto positivo en las emociones de estos alumnos de las tres prácticas activas diseñadas en la presente Tesis Doctoral (basadas en la investigación dirigida y el uso de analogías, y en las cuales se resalta la interdisciplinariedad y las interrelaciones CTS). Respecto a los objetivos específicos planteados los resultados revelan que:

- Los maestros en formación inicial participantes recuerdan haber experimentado más emociones positivas (alegría, confianza, diversión, satisfacción y entusiasmo) en clases prácticas que en clases expositivas de Biología de Educación Secundaria; así como más nerviosismo y menos aburrimiento y frustración en clases prácticas que en clases expositivas.
- Las maestras en formación inicial participantes recuerdan haber experimentado, en clases prácticas de Biología de Educación Secundaria, con más intensidad que sus compañeros varones, todas las emociones positivas analizadas (alegría, confianza, diversión, satisfacción y entusiasmo).
- Los maestros en formación inicial participantes son capaces de distinguir, empleando el test autoinforme diseñado, entre la intensidad de algunas emociones académicas para un contexto pasado (emociones retrospectivas en clases prácticas de Biología de Educación Secundaria) y presente (emociones anticipatorias ante una actividad práctica de Biología) similar. Las futuras maestras son capaces de discriminar la intensidad, entre ambos contextos, de más emociones que sus compañeros varones.
- Las emociones retrospectivas en clases prácticas de Biología de Educación Secundaria interaccionan positivamente con las emociones anticipatorias ante la práctica activa de Biología Celular; lo que apoya que el recuerdo de emociones en clases prácticas de Biología de Educación Secundaria, de los maestros en formación inicial participantes, se transfiere a las emociones anticipatorias previas a la enseñanza práctica de Biología incluida en su programa formativo. No existen sesgos de género en esta interacción, salvo para la confianza, cuya intensidad entre ambos contextos solo se relaciona en las maestras en formación inicial.
- Las prácticas activas de Biología diseñadas en la presente Tesis Doctoral generan, respecto a la expectativa inicial de emociones de los maestros en formación inicial

participantes, aumentos en la intensidad de las emociones positivas (destacando los aumentos en la alegría, confianza, satisfacción y diversión en las prácticas basadas en la indagación guiada) y disminuciones en la intensidad de las emociones negativas (sobre todo descensos en el aburrimiento en las prácticas basadas en la indagación guiada).

- Las maestras en formación inicial participantes experimentan, con la implementación de las prácticas activas, más aumentos en la intensidad de algunas emociones positivas (destacando la alegría y la confianza); así como más descensos en la intensidad de algunas emociones negativas (destacando la incertidumbre y, en menor medida, el aburrimiento). Asimismo, las futuras maestras describen, ante la realización de las prácticas activas, una expectativa menor de intensidad de algunas emociones positivas (destacando la confianza) y una expectativa de intensidad mayor de algunas emociones negativas (sobre todo la preocupación).

## **2.6. Implicaciones en la formación inicial de maestros**

En la presente Tesis Doctoral se ha desarrollado un sencillo cuestionario autoinforme cuantitativo, con el que estimar la valencia y la intensidad de diez emociones académicas (5 positivas -alegría, confianza, satisfacción, entusiasmo y diversión- y 5 negativas -preocupación, frustración, incertidumbre, nerviosismo y aburrimiento-) en contextos académicos tanto pasados como presentes. Dicho test está constituido por ítems simples, lo que lo convierte en una herramienta rápida y menos invasiva en las respuestas emocionales de los alumnos que los tests test multi-ítem, que habitualmente se emplean para medir emociones académicas (Gogol *et al.*, 2014). Además, su implementación apenas afecta a las actividades educativas a desarrollar en el aula o en el laboratorio (Goetz *et al.*, 2016; Mauss y Robinson, 2009). El ajuste de los datos obtenidos con este cuestionario a un modelo factorial, junto con la congruencia de los resultados obtenidos con diferentes estudios previos en los que se emplean cuestionarios test multi-ítem para estimar emociones académicas (Goetz *et al.*, 2007; Pekrun *et al.*, 2010; Pekrun *et al.*, 2011; Pekrun *et al.*, 2014; Trigwell *et al.*, 2012), apoyan la consistencia interna y externa del instrumento desarrollado y, por tanto, su validez. Asimismo, a diferencia de lo establecido en la bibliografía sobre los cuestionarios autoinformes (Robinson y Clore, 2002), los resultados indican que el test desarrollado permite discernir entre el recuerdo de emociones pasadas y emociones presentes para un determinado contexto académico similar. Por todo ello, el cuestionario de emociones, desarrollado en la presente Tesis Doctoral, podría constituir una herramienta muy útil a incorporar en los procesos de formación inicial de maestros.

El empleo de este cuestionario, antes de implementar distintas actividades de ciencias con futuros maestros, permitiría conocer, de manera rápida, las emociones de estos, orientando sobre las emociones que deberían modificarse. De un modo análogo, y teniendo que cuenta que la investigación ha establecido que el recuerdo de emociones pasadas hacia las ciencias, de estos estudiantes, influye en sus emociones presentes hacia las ciencias y su enseñanza (Brígido *et al.*, 2013a; Brígido *et al.*, 2013b); el test de emociones podría emplearse al inicio de las asignaturas científicas incluidas en los programas de formación inicial de maestros. De este modo, se podría indagar acerca de este recuerdo, lo que sugeriría las emociones prioritarias sobre las que intervenir.

Respecto a los resultados obtenidos en el análisis factorial realizado con los datos de la presente Tesis Doctoral, la baja intercorrelación, o la ausencia de ella, entre las emociones de distinta valencia (positivas y negativas) en cada contexto de aprendizaje, indica que las emociones tienen que ser gestionadas de manera independiente, tanto en el aula como en el laboratorio. Salvo excepciones notables, no es previsible que una disminución de las emociones negativas tenga como consecuencia un aumento de las positivas y viceversa. Una excepción a esta falta de



relación es el aburrimiento, emoción cuyo comportamiento factorial indica que una intervención que disminuya su intensidad permitiría no solo atenuar las emociones negativas sino, a la vez, incrementar la intensidad de las emociones positivas. La frustración y la confianza podrían tener, aunque en menor medida, un efecto similar.

El cuestionario diseñado también permite establecer la influencia de la metodología didáctica empleada en las emociones académicas. Los resultados acerca de las emociones retrospectivas, en clases de Biología de Educación Secundaria, ponen de manifiesto la influencia positiva de las actividades prácticas en las emociones experimentadas por los futuros maestros en dicha etapa educativa. De este modo, los resultados indican que los futuros maestros recuerdan haber experimentado más emociones positivas en clases prácticas; así como menos aburrimiento y frustración en estas que en sesiones expositivas. Además, el recuerdo de las emociones positivas en clases prácticas es más intenso en mujeres. Estos resultados ponen de manifiesto la necesidad de implementar más actividades prácticas en las asignaturas científicas de Educación Secundaria, etapa en la que los contenidos científicos suelen estar asociados con bajos niveles de motivación y con altas intensidades de emociones negativas (Mellado *et al.*, 2014), especialmente en mujeres (Tytler, 2014; Vázquez y Manassero, 2007). Asimismo, los resultados muestran que las emociones hacia las prácticas de Biología de Educación Secundaria se transfieren a sus emociones presentes hacia una práctica de laboratorio de Biología. Por tanto, dicho recuerdo emocional debería ser tenido en cuenta en los procesos de formación inicial de maestros. Considerando esta transferencia emocional y la influencia positiva de las actividades prácticas en las emociones, sería recomendable implementar actividades prácticas de ciencias en las asignaturas científicas de la formación inicial de maestros. Con ello, se podría favorecer la transferencia de las emociones positivas, experimentadas por estos alumnos en el pasado, como alumnos de Educación Secundaria, hacia los contenidos científicos a aprender en el presente y la enseñanza de estos en el futuro. De modo análogo, se podría contribuir a reducir la intensidad de las emociones negativas, habitualmente descritas por los futuros maestros hacia los contenidos de ciencias (Cortés *et al.*, 2012; Bonill y Márquez, 2011; Brígido *et al.*, 2013a), y que constituyen un obstáculo inicial para su formación (Mellado *et al.*, 2014).

Las tres actividades prácticas de Biología desarrolladas en la presente Tesis Doctoral, así como su diseño e implementación mediante metodologías activas, también constituyen herramientas didácticas con un fuerte potencial para mejorar la motivación hacia las ciencias de los futuros maestros. En base a los resultados obtenidos, acerca del impacto de las prácticas activas diseñadas en las emociones académicas de los futuros maestros, se sugiere que las actividades prácticas a incluir en los procesos de formación inicial de maestros sigan enfoques prácticos activos, como la indagación guiada o las analogías; así como que estos se combinen con la inclusión de las relaciones CTS y de un enfoque interdisciplinar. Los resultados muestran que la

implementación de actividades con estas características genera, en los maestros en formación inicial, un aumento en la intensidad de las emociones positivas, así como una disminución en la intensidad de las emociones negativas. Por tanto, la implementación de este tipo de prácticas activas podría contribuir a mejorar las emociones de estos alumnos hacia los contenidos científicos y hacia la futura enseñanza de los mismos en Educación Primaria (Damasio, 2010; Mellado *et al.*, 2014). Dado que las emociones experimentadas por los docentes se transfieren a sus alumnos (Beilock *et al.*, 2010; Frenzel *et al.*, 2009), este hecho puede ser relevante para generar emociones positivas hacia las ciencias en sus futuras clases de ciencias. Asimismo, la implementación de estas actividades podría generar emociones positivas hacia las metodologías prácticas activas (Greca *et al.*, 2017), asociadas con emociones negativas y poco implementadas por los docentes en sus primeros años de ejercicio profesional (Mellado *et al.*, 2014; Ritchie *et al.*, 2013). Como recientemente ha mostrado Peña (2019), estas emociones positivas son necesarias para favorecer la implementación de este tipo de actividades. Por tanto, con la inclusión de estas actividades en la formación inicial se podría favorecer la implementación de estas en su futuro desempeño profesional, con el consiguiente efecto en la motivación y las emociones hacia las ciencias de sus futuros alumnos de Educación Primaria. En cuanto a la influencia según el género, el aumento de la intensidad de las emociones positivas observado tras la realización las prácticas activas diseñadas, así como la disminución en la intensidad de las negativas, se observan especialmente en mujeres. Este hecho es muy notable dado que, de acuerdo con los resultados de otros trabajos previos (Riegle-Crumb *et al.*, 2015), las futuras maestras presentan más emociones negativas y menos positivas hacia las ciencias que sus compañeros de sexo masculino. Por tanto, la implementación de actividades prácticas basadas en dichas metodologías activas podría contribuir a mejorar las emociones de las futuras maestras.

**CAPÍTULO 3. EMOCIONES Y APRENDIZAJE DE  
MAESTROS EN FORMACIÓN INICIAL CON LA  
ENSEÑANZA PRÁCTICA DE BIOLOGÍA**



### **3.1. Introducción**

La neurofisiología ha mostrado que las emociones y los procesos cognitivos (la memoria, la atención, el lenguaje, la reflexión, el razonamiento, la resolución de problemas...) están interrelacionados, de forma que el dominio afectivo configura al dominio cognitivo y viceversa. En base a estas interacciones, la investigación educativa ha mostrado que algunas emociones experimentadas durante los procesos de enseñanza-aprendizaje afectan al rendimiento académico (resultados de aprendizaje logrados por los alumnos), a la vez que este incide en sus emociones. Sin embargo, estas interacciones no se han analizado en profundidad ni en Biología ni durante la enseñanza práctica de esta. Además, la mayoría de estos estudios analizan las asociaciones de las emociones con el logro o rendimiento académico (es decir, con los resultados de aprendizaje o conocimiento final tras una actividad determinada; siendo este medido de manera habitual como la nota de un cuestionario de conocimientos, de un examen o de una asignatura). Sin embargo, no se ha indagado en las asociaciones de las emociones con los conocimientos adquiridos con la implementación de actividades de enseñanza (es decir, la diferencia entre el conocimiento final y el conocimiento inicial de los participantes al comenzar dicha actividad). El aprendizaje se corresponde con esa sustracción entre el conocimiento final y el conocimiento inicial. En este capítulo se analizan las interacciones bidireccionales establecidas entre el aprendizaje y las emociones académicas de maestros en formación inicial durante la enseñanza práctica de Biología. Estas relaciones se examinan en una muestra de estudiantes del Grado en Educación Primaria de la Universidad de Extremadura, tanto para las prácticas de Biología que realizaron en Educación Secundaria como con las tres prácticas activas diseñadas en la presente Tesis Doctoral. Para ello, en primer lugar, se recogen los resultados de investigaciones previas relativas a las relaciones entre las emociones y el dominio cognitivo. Posteriormente, se detalla la metodología seguida para analizar las interacciones emociones-aprendizaje (muestra, instrumentos, análisis de datos). Finalmente, se incluyen los resultados, su discusión y sus implicaciones en la formación inicial de maestros.

#### **3.1.1 Las emociones académicas influyen en el dominio cognitivo y condicionan el aprendizaje**

Los procesos de enseñanza-aprendizaje son eventos emocionales (Pekrun, 2006): los alumnos experimentan, durante los mismos, numerosas emociones (capítulo 2) que interaccionan con distintos aspectos cognitivos. El aprendizaje es, por tanto, un proceso cognitivo y afectivo (Garritz, 2009; Hargreaves, 1998; Zembylas, 2007). Como afirmaron Pintrich *et al.* (1993), el aprendizaje no es un “cambio frío” (haciendo referencia a un proceso exclusivamente cognitivo): la motivación de los estudiantes tiene un relevante papel para lograrlo, por lo que es un “cambio cálido” (que incluye, entre otros factores afectivos, a las emociones) (Kuhn, 2001).

Tradicionalmente los dominios cognitivo y afectivo se han estudiado de forma separada. Sin embargo, actualmente el estudio de la influencia de las emociones en los procesos cognitivos constituye una emergente línea de investigación (Dolan, 2002). Como afirman Gray *et al.* (2002), las emociones y la cognición contribuyen, conjuntamente y de igual modo, al control del pensamiento y del comportamiento de los seres humanos; existiendo una verdadera integración entre ambos dominios. Esto se ha corroborado en diversos estudios neurofisiológicos que han mostrado la interdependencia entre ambos dominios a nivel cerebral (Gray *et al.*, 2002; Pessoa, 2008). Estas investigaciones han mostrado que, en el cerebro, las emociones y distintos procesos cognitivos (concretamente la memoria, la atención, el lenguaje o la capacidad de resolver problemas) están integrados en áreas críticas para la regulación del flujo de información entre regiones (Gu *et al.*, 2013). Los comportamientos complejos, entre los que se sitúa al aprendizaje, requieren de la acción conjunta de habilidades cognitivas y emocionales (basada en interacciones dinámicas en dichas redes neuronales) (Pessoa, 2008).

Según Mora (2008), los estudios en neurociencia indican que las emociones "encienden" las conexiones para que el cerebro alcance el máximo de sus funciones cognitivas. En este sentido, numerosos trabajos previos han mostrado la influencia de las emociones en distintos procesos cognitivos. Uno de los más estudiados ha sido la memoria (Dolan, 2002; Hertel y Parks, 2002; Pessoa, 2008). Se ha comprobado que la información relacionada con algún estímulo emocional se recuerda mejor que la neutra (Dunsmoor *et al.*, 2015; Sylwester 1994). En concreto, se ha mostrado que una activación de las emociones positivas puede dar lugar a mejores resultados de aprendizaje (Fredrickson, 1998), ya que los estímulos emocionales positivos provocan, a nivel de la amígdala, una excitación que mejora la memoria (Kensinger y Corkin, 2004; Pessoa, 2008; Tyng *et al.*, 2017). Estos estudios se han realizado mayoritariamente con la memoria de trabajo o memoria a corto plazo (Gray *et al.*, 2002), habiéndose explorado escasamente su influencia en la memoria a largo plazo. Además, las emociones influyen en otros procesos cognitivos como:

- La atención y la reflexión, que se ven favorecidas por climas emocionalmente positivos (Aydogan *et al.*, 2015; Carmona-Halty *et al.*, 2019; Dolan, 2002; Mega *et al.*, 2014; Pekrun, 2014).
- La toma de decisiones (Dolan, 2002; Otero, 2006; Linnenbrink-García y Pekrun, 2014; Shapiro, 2010), incluyendo las adoptadas durante los procesos de enseñanza-aprendizaje como la gestión del tiempo, la colaboración, el autocontrol y la elección de las estrategias de aprendizaje (Fredrickson, 2001; Mega *et al.*, 2014; Pekrun, 2014; Ranellucci *et al.*, 2015).
- El razonamiento y la comprensión (Allen, 2010; Dolan, 2002; Pekrun, 2014), favorecidas por las emociones positivas.
- La resolución de problemas (Chiang y Liu, 2014; Mega *et al.*, 2014).

Como consecuencia de estas interacciones emoción-cognición, se ha sugerido que las emociones académicas influyen en los resultados de aprendizaje alcanzados por los alumnos. De manera general, se ha puesto de manifiesto que las emociones positivas se asocian positivamente con el rendimiento académico (nivel de conocimientos posteriores a una determinada actividad o intervención), mientras que este se asocia negativamente con las emociones negativas (Goetz *et al.*, 2007; Goetz y Hall, 2013; Gogol *et al.*, 2014; Lichtenfeld *et al.*, 2012; Ozel *et al.*, 2013; Pekrun *et al.*, 2011; Trigwell *et al.*, 2012).

Sin embargo, el efecto de las emociones sobre el rendimiento académico no depende exclusivamente de la valencia, positiva o negativa (Pekrun, 2014). Según este investigador, aunque de manera general, las emociones positivas favorecen el aprendizaje y las negativas lo limitan, esta influencia no siempre se cumple. Puesto que, además de la valencia, influyen otros factores como la intensidad, el efecto respecto a la activación (que sean emociones estimulantes o depresoras) y que dichas emociones estén causadas por los procesos de enseñanza-aprendizaje (contenidos, metodologías, actividades y tareas...), y no por otros factores (como los compañeros, el docente u otros factores ajenos al proceso educativo) (Pekrun *et al.*, 2002; Pekrun, 2014; Phelps, 2006; Tyng *et al.*, 2017). Así, la mayoría de las emociones positivas, sobre todo las estimulantes, ayudan a centrar la atención del alumnado, a la vez que favorecen su motivación hacia el aprendizaje y facilitan la utilización de diferentes estrategias de aprendizaje y del pensamiento crítico; asociándose positivamente con el rendimiento académico. Sin embargo, en ocasiones, las emociones positivas pueden contribuir a disminuir los niveles de atención de los alumnos, sobre todo si se dan en exceso o no están relacionadas con los procesos de enseñanza-aprendizaje, asociándose negativamente con el rendimiento académico (Baid y Lambert, 2010; Gable y Harmon-Jones, 2008; Pekrun, 2014; Rieber y Noah, 2008).

Esta misma relación se establece para las emociones negativas. De manera general, las emociones negativas depresoras reducen los niveles de atención de los alumnos, así como sus niveles de motivación y la utilización de estrategias de aprendizaje; asociándose, por tanto, negativamente con los resultados de aprendizaje. Sin embargo, algunas emociones negativas estimulantes, experimentadas con una determinada intensidad, aumentan los niveles de atención de los alumnos y su motivación de logro (por ejemplo, ante un examen), asociándose positivamente con los resultados de aprendizaje (Artino y Jones, 2012; D'Mello *et al.*, 2014; Pekrun, 2006). En este sentido, se ha probado, con alumnos universitarios, que aumentos en los niveles de estrés se asocian positivamente con el rendimiento académico (Sarid *et al.*, 2004).

A pesar de la relevante influencia de las emociones en el dominio cognitivo y en el rendimiento académico, la investigación educativa ha profundizado mucho más en los aspectos cognitivos

que en los afectivos (Trigwell *et al.*, 2012). Por tanto, son necesarios más estudios que indaguen sobre el papel del dominio afectivo en los procesos educativos, y que profundicen sobre las interacciones establecidas entre los aspectos cognitivos y afectivos durante los procesos de enseñanza-aprendizaje (Trigwell *et al.*, 2012). En este sentido, es muy relevante analizar las asociaciones de las emociones con el aprendizaje (entendido como conocimientos adquiridos, o diferencia entre el conocimiento final y el conocimiento inicial de los alumnos tras los procesos de enseñanza). También es necesario indagar en el papel de las distintas emociones en el rendimiento académico, ya que la mayoría de la investigación educativa actual se centra en analizar la influencia de algunas emociones concretas, principalmente la ansiedad (Valiente *et al.*, 2012). Así, es necesario analizar la influencia de otras emociones negativas, así como en el papel de las emociones positivas, mucho menos estudiadas (Murphy *et al.*, 2019). Estas recomendaciones son válidas para diferentes áreas, incluida la Didáctica de las Ciencias, donde existen pocas investigaciones sobre el papel de las emociones académicas en el aprendizaje de contenidos científicos (Tomas y Ritchie, 2012), entre ellos los de Biología.

### **3.1.2 El aprendizaje influye en las emociones: las emociones académicas y su relación bidireccional con el aprendizaje**

Estudios neurofisiológicos han mostrado que los dominios afectivo y cognitivo están integrados y son interdependientes. Ambos dominios están, por tanto, recíprocamente condicionados: las emociones influyen en el aprendizaje, a la vez que este condiciona las emociones (Eldar y Niv, 2015).

El aprendizaje es una tarea cuyo resultado es, con frecuencia, incierto para los alumnos (estos no tienen certeza sobre el resultado final que le proporcionará la realización de un determinado esfuerzo). Por ello, dado su papel evolutivo (Damasio, 2010), las emociones están implicadas en la estimación previa que realiza el alumno para valorar el esfuerzo a realizar en función de las recompensas, internas (como la superación personal) o externas (por ejemplo sus calificaciones), a obtener. La precisión con la que el alumno ha realizado esta estimación, una vez obtenidas o no las recompensas, modifica a su vez sus emociones (Eldar *et al.*, 2016). De este modo, se ha mostrado que conseguir comprender conceptos complejos, realizar tareas consideradas como difíciles (Bellocchi y Ritchie, 2015) u obtener buenos resultados académicos (Borrachero *et al.*, 2017) genera emociones positivas en los alumnos.

Estas investigaciones apoyan la teoría del control-valor (Pekrun, 2006), que explica cómo los individuos ejercen un control de sus actividades en función del valor esperado y de sus emociones en relación a esas actividades. Según esta teoría, el aprendizaje está ligado con los futuros logros académicos, mediante una valoración permanente de esos logros, a través de las emociones que experimentan los alumnos en los diferentes contextos académicos. Así, las



emociones experimentadas durante el desarrollo de las actividades (por ejemplo, alegría y aburrimiento), y la sentidas tras obtener los resultados de aprendizaje (por ejemplo, orgullo y frustración), influyen en la estimación del valor de futuros procesos de enseñanza-aprendizaje (Pekrun *et al.*, 2014; Putwain *et al.*, 2018a). Un ejemplo de recompensa académica es el aprendizaje duradero que, según esta teoría, podría estar mediado por las emociones experimentadas durante su adquisición. Algunos estudios apoyan que esto podría ser así en el caso de las Matemáticas (Murayama *et al.*, 2013). Sin embargo, en el caso de la enseñanza de la Biología esta circunstancia ha sido poco explorada.

En base a estas interacciones bidireccionales emociones-aprendizaje se ha propuesto que las emociones anticipatorias (emociones que los alumnos esperan sentir con una actividad) pueden tener valor predictivo en relación al rendimiento académico de dicha actividad. De este modo, se ha señalado que una alta intensidad previa de emociones positivas predice buenos resultados de aprendizaje mientras que una alta intensidad de emociones negativas predice malos resultados (Pekrun *et al.*, 2002; Pekrun *et al.*, 2010; Pekrun *et al.*, 2017; Ruthig *et al.*, 2008; Steinmayr *et al.*, 2016; Villavicencio y Bernardo, 2013). Dadas las relaciones bidireccionales entre emociones y rendimiento académico, también se ha propuesto a los resultados de aprendizaje como predictores de las emociones. Así, se ha corroborado que los resultados de aprendizaje del pasado influyen en las emociones anticipatorias hacia actividades a realizar en el presente: los buenos resultados académicos como predictores de emociones positivas y los malos resultados como predictores de emociones negativas (Pekrun *et al.*, 2002; Pekrun *et al.*, 2006; Pekrun *et al.*, 2009; Pekrun *et al.*, 2017). Por tanto, dadas estas interacciones bidireccionales, es necesario abordar simultáneamente los aspectos afectivos y cognitivos en los procesos de enseñanza-aprendizaje. Esto es particularmente importante en los maestros en formación inicial, ya que la relación entre sus emociones y su aprendizaje puede determinar su futuro desempeño profesional (Mellado *et al.*, 2014).

## **3.2. Objetivos**

El objetivo general del presente capítulo es determinar las interacciones de las emociones académicas experimentadas por los maestros en formación inicial con su nivel de conocimientos de Biología y con el aprendizaje de Biología; tanto en las sesiones de Biología de su etapa como estudiantes de Educación Secundaria como antes y durante la implementación las prácticas activas de Biología diseñadas (objetivo general 3 de la Tesis Doctoral). Para alcanzar este objetivo general se plantean los siguientes objetivos específicos para muestras de estudiantes del Grado en Educación Primaria de la Universidad de Extremadura:

- Objetivo específico 3.1. Determinar las asociaciones entre las emociones retrospectivas de los participantes en las clases de Biología de Educación Secundaria (tanto en sesiones expositivas como prácticas) y el recuerdo de conceptos de Biología de esta etapa educativa.
- Objetivo específico 3.2. Analizar, en función del género, las asociaciones entre las emociones retrospectivas en las clases de Biología de Educación Secundaria y el recuerdo de conceptos biológicos de esta etapa educativa.
- Objetivo específico 3.3. Determinar si el nivel de conocimientos previos de Biología de Educación Secundaria de los participantes tiene valor predictivo en sus emociones anticipatorias ante la implementación de las prácticas activas de Biología.
- Objetivo específico 3.4. Analizar las asociaciones entre la intensidad de emociones, experimentadas por los participantes durante la implementación de las prácticas activas, y el nivel de conocimientos de Biología posteriores a estas.
- Objetivo específico 3.5. Analizar las asociaciones entre la intensidad de emociones, experimentadas por los participantes durante la implementación de las prácticas activas, y nivel de conocimientos de Biología a largo plazo.
- Objetivo específico 3.6. Analizar las asociaciones entre la intensidad de emociones, experimentadas por los participantes durante la implementación de las prácticas activas, y el aprendizaje de Biología alcanzado tras su implementación.
- Objetivo específico 3.7. Determinar si las emociones anticipatorias de los participantes, previas a la realización de las prácticas activas, tienen valor predictivo en el rendimiento académico (conocimiento de Biología posterior y a largo plazo) y en el aprendizaje de Biología alcanzado tras su implementación.
- Objetivo específico 3.8. Analizar, en función del género, las interacciones (abordadas en los objetivos específicos 3.3, 3.4, 3.5, 3.6 y 3.7) entre las emociones, experimentadas por los participantes antes y después de la implementación de las prácticas activas; y su nivel de conocimientos de Biología, tanto previos como adquiridos con las mismas.

### **3.3. Metodología**

El análisis de las interacciones de las emociones, de los maestros en formación inicial, con el conocimiento de Biología se realiza para: i) la etapa de Educación Secundaria (recuerdo de emociones y conocimientos de esta etapa) y ii) la etapa universitaria (emociones y conocimientos antes y después de la implementación de las prácticas activas de Biología diseñadas en la presente Tesis Doctoral). A continuación, se detallan las muestras e instrumentos empleados para llevar a cabo estos estudios, así como el procedimiento de análisis de datos.

#### **3.3.1 Análisis de las interacciones entre las emociones retrospectivas de los maestros en formación inicial en las clases de Biología de Educación Secundaria y el conocimiento de Biología adquirido en Educación Secundaria. Análisis en función del género**

##### **3.3.1.1 Muestra**

El análisis de las interacciones entre las emociones retrospectivas de Educación Secundaria (recuerdo de las emociones experimentadas en sesiones expositivas y prácticas de Biología de Educación Secundaria) y el conocimiento de Biología adquirido en esta etapa se realiza con la muestra de maestros en formación inicial participantes en el año académico 1 (n=160, tabla 1.1).

##### **3.3.1.2 Instrumentos**

Las emociones retrospectivas en clases de Biología de Educación Secundaria se valoran con el test autoinforme cuantitativo de emociones, diseñado y validado en la presente Tesis Doctoral (capítulo 2, apartado 2.3.2.2).

El conocimiento de Biología, adquirido por la muestra durante la etapa de Educación Secundaria, se cuantifica con el pretest diseñado para determinar los conocimientos previos a la práctica activa de Biología Celular, Física y Química (capítulo 1, apartado 1.3.2.1). Este cuestionario queda estructurado en tres secciones (anexo 1): sección 1 (S1, preconcepciones de Biología Celular comunes en Educación Secundaria), sección 2 (S2, conceptos básicos de Biología Celular impartidos en la ESO) y sección 3 (S3, preguntas del TIMSS para 2º de la ESO relacionadas con la Biología Celular).

##### **3.3.1.3 Análisis estadísticos**

Se analizan las interacciones entre las emociones retrospectivas (tanto individuales como los factores asociados a las emociones positivas y negativas) y el conocimiento de Biología de Educación Secundaria (tanto a nivel global como con cada una de las secciones del cuestionario: S1, S2 y S3) (objetivo específico 3.1).

Dado que los datos no se ajustan a una distribución normal ( $p$ -valor $<0,05$ , test de normalidad Kolmogoro-Smirnov y Shapiro-Wilk) se utiliza estadística no paramétrica. Los test de normalidad, el análisis de correlación (Spearman para las correlaciones de las emociones individuales y Pearson para las correlaciones de los factores asociados a las emociones positivas y negativas) y el análisis factorial se realizan con el programa SPSS (IBM software). Para la extracción de los factores asociados a los grupos de emociones se emplean mínimos cuadrados generalizados y una rotación Oblimin (capítulo 2, apartado 2.3.2.1). Una vez calculados, los factores son guardados como variables centradas.

El conocimiento de Biología adquirido en la etapa de Educación Secundaria se estima a partir de las puntuaciones de cada una de las secciones del test de conocimientos de Biología (S1, S2 y S3), que se tratan como variables centradas (calculadas restando la media y dividiendo por la desviación estándar,  $\text{media} \pm \text{desviación estándar} = 0 \pm 1$ ). El conocimiento se estima a partir de la media de estos tres valores centrados.

Se examinan, además, diferencias en estas interacciones en función del género de los participantes (objetivo específico 3.2). Para comparar los coeficientes de correlación de ambos géneros, dichos coeficientes se calculan para un intervalo de confianza del 95 % (dos desviaciones estándar) mediante remuestreo o *bootstrapping* ( $N=1000$ ). Los coeficientes de correlación se consideran significativamente diferentes cuando los intervalos de confianza no se solapan ( $p$ -valor $<0,001$ ).

### **3.3.2 Análisis de las interacciones de las emociones anticipatorias y experimentadas con las prácticas activas de Biología con el conocimiento de Biología y el aprendizaje de Biología. Análisis en función del género**

#### **3.3.2.1 Muestra**

El análisis de las interacciones de las emociones anticipatorias (sentidas ante la realización de las tres prácticas activas) y experimentadas (sentidas durante la realización de dichas prácticas) por los maestros en formación inicial, con su nivel de conocimientos de Biología (tanto previos como posteriores a las tres intervenciones) y con el aprendizaje de Biología se realiza con las muestras de maestros en formación inicial que participan en cada una de las implementaciones de las tres prácticas activas diseñadas en la presente Tesis Doctoral (tabla 1.1): 4 muestras correspondientes a las implementaciones de la práctica activa de Biología Celular, Física y Química (años académicos 1, 2, 3 y 4;  $n=160, 154, 149$  y  $112$ , respectivamente), 3 muestras correspondientes a las implementaciones de la práctica activa de Microbiología (años académicos 2, 3 y 4;  $n=154, 149$  y  $112$ , respectivamente) y 1 muestra correspondiente a la implementación de la práctica activa de Biología Evolutiva (año académico 5,  $n=143$ ).

### **3.3.2.2 Instrumentos**

Para determinar las emociones anticipatorias a las prácticas activas y las emociones experimentadas durante las mismas se emplea el cuestionario autoinforme cuantitativo de emociones, diseñado y validado en la presente Tesis Doctoral. Los participantes reportan sus emociones antes de comenzar cada intervención (emociones anticipatorias) y 15 días tras su implementación (emociones experimentadas) (capítulo 2, apartado 2.3.2.4).

Para determinar el conocimiento de Biología y el aprendizaje de Biología se emplean los cuestionarios (pretest, postest y retest) diseñados para determinar la efectividad de las tres prácticas activas en el aprendizaje de los participantes (capítulo 1, apartado 1.3.2.1):

- El conocimiento previo de Biología se estima mediante la nota del pretest, respondido por los participantes antes de la implementación de las prácticas activas.
- El conocimiento posterior de Biología se corresponde con la nota del postest, contestado por los participantes a los 15 días de cada intervención.
- El conocimiento de Biología a largo plazo se corresponde con la nota del retest, cumplimentado (solo en el año académico 2 para las prácticas activas de Biología Celular y Microbiología, n=107) por los participantes a los 2-3 meses de la realización del postest (capítulo 1, apartado 1.3.2.3).
- El aprendizaje de Biología o conocimientos de Biología adquiridos con las prácticas activas, se calcula como la resta entre la nota del postest y la nota del pretest. Para estimar el aprendizaje, se emplea solo aquella parte de la muestra que está en o por debajo del percentil 75 del pretest. De este modo, se eliminan aquellos participantes con un alto nivel de conocimientos previos sobre los contenidos científicos abordados en cada intervención.

En el caso de la práctica activa de Biología Celular, el aprendizaje no se estima ni en el año académico 1, al estar los datos desapareados (capítulo 1, apartado 1.3.2.1), ni en el año académico 2, por el bajo número de muestra (ya que en este curso la mitad de los alumnos no contestaron el pretest, capítulo 1, apartado 1.3.2.2).

Salvo en el año académico 1 (en el que se realiza un estudio prospectivo), la autoría de los cuestionarios se identifica con una clave anónima que permite emparejar los cuestionarios previos y posteriores, tanto de emociones como de conocimientos, de cada participante (capítulo 1, apartado 1.3.2.1).

### **3.3.2.3 Análisis estadísticos**

Se analizan, para la implementación de cada intervención en los diferentes años académicos, las siguientes interacciones:

- Interacciones entre los conocimientos previos de Biología (nota del pretest, conocimientos previos de la etapa de Educación Secundaria) y las emociones anticipatorias (reportadas por los participantes antes de cada intervención) (objetivo específico 3.3).
- Interacciones entre las emociones experimentadas durante las intervenciones (reportadas por los participantes a los 15 días de su realización) y los conocimientos de Biología tras las mismas (nota del postest) (objetivo específico 3.4).
- Interacciones entre las emociones experimentadas durante las intervenciones (reportadas por los participantes a los 15 días de su realización) y el conocimiento de Biología a largo plazo (nota del retest, solo para las prácticas activas de Biología Celular y de Microbiología durante el año académico 2) (objetivo específico 3.5).
- Interacciones entre las emociones experimentadas durante las intervenciones (reportadas por los participantes a los 15 días de su realización) y el aprendizaje de Biología (diferencia entre la nota del postest y la nota del pretest en un subconjunto de la muestra que está en o por debajo del percentil 75 del pretest) (objetivo específico 3.6).
- Interacciones entre las emociones anticipatorias (reportadas por los participantes antes de cada intervención) y i) los conocimientos de Biología posteriores a cada intervención (nota del postest), ii) los conocimientos de Biología a largo plazo (nota del retest, solo para las prácticas activas de Biología Celular y de Microbiología durante el año académico 2) y iii) el aprendizaje de Biología (diferencia entre la nota del postest y la nota del pretest en un subconjunto de la muestra que está en o por debajo del percentil 75 del pretest) (objetivo específico 3.7).

Estas interacciones se analizan tanto con las emociones individuales como con los factores asociados a las emociones positivas y las negativas.

El conocimiento y/o aprendizaje de Biología se estima a partir de las puntuaciones de los cuestionarios de conocimientos (pretest, postest, retest y diferencia postest-pretest), que se tratan como variables centradas (calculados restando la media y dividiendo por la desviación estándar,  $\text{media} \pm \text{desviación estándar} = 0 \pm 1$ ).

Dado que los datos no se ajustan a una distribución normal ( $p\text{-valor} < 0,05$ , test de normalidad Kolmogoro-Smirnov y Shapiro-Wilk) se utiliza estadística no paramétrica. Los test de normalidad, el análisis de correlación (Spearman para las correlaciones de las emociones individuales y Pearson para las correlaciones de los factores asociados a las emociones positivas y negativas) y el análisis factorial se realizan con el programa SPSS (IBM software). Para la extracción de los factores asociados a los grupos de emociones positivas y negativas se emplean

mínimos cuadrados generalizados y una rotación Oblimin (capítulo 2, apartado 2.3.2.1). Una vez calculados, los factores se guardan como variables centradas.

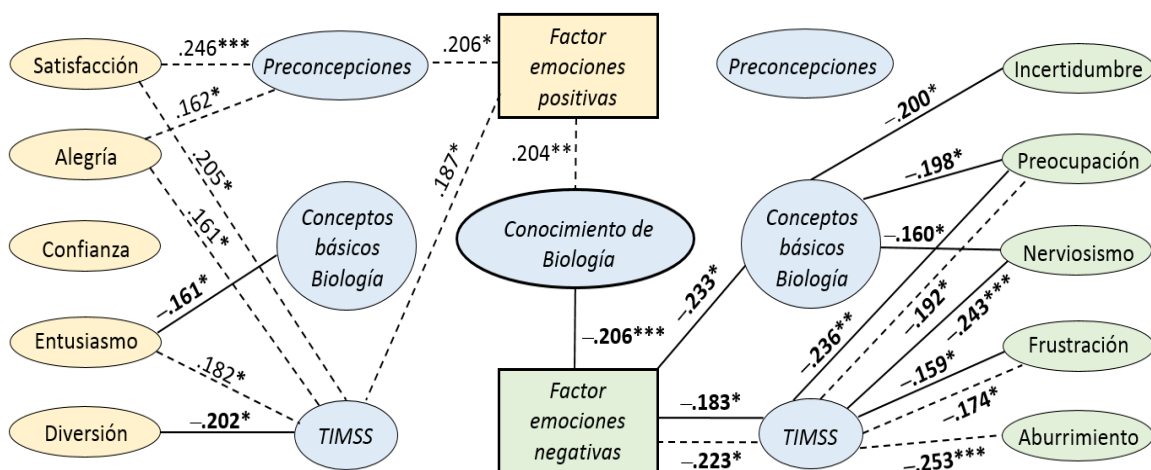
Se examinan, además, diferencias en cada una de estas interacciones en función del género de los participantes (objetivo específico 3.8). Para comparar los coeficientes de correlación de hombres y mujeres, estos se calculan para un intervalo de confianza del 95 % (dos desviaciones estándar) mediante remuestreo o *bootstrapping* (N=1000). Los coeficientes de correlación se consideran significativamente diferentes cuando los intervalos de confianza no se solapan (p-valor<0,001).

### 3.4. Resultados y discusión

#### 3.4.1 Análisis de las relaciones entre las emociones retrospectivas de los maestros en formación inicial hacia la enseñanza de Biología en Educación Secundaria y el recuerdo de conocimiento de Biología de Educación Secundaria. Influencia del género

El análisis de los resultados indica que existen asociaciones entre las emociones retrospectivas de los futuros maestros participantes durante el año académico 1 (n=160), en clases de Biología de Educación Secundaria (tanto expositivas como prácticas), y los conocimientos de Biología adquiridos por estos en dicha etapa educativa (figura 3.1). Asimismo, se observan correlaciones, tanto de cada emoción individual como de los factores asociados a las emociones positivas y negativas, con el conocimiento general de Biología, así como con las preconcepciones de Biología Celular de Educación Secundaria (S1), los conceptos básicos de Biología Celular de ESO (S2) y las preguntas del TIMSS de Biología Celular para 2º de la ESO (S3).

Los conocimientos analizados en estas tres secciones del cuestionario son el resultado de un aprendizaje desarrollado hace más de 5 años; ya que la formación previa de los participantes referente a aspectos de Biología Celular alcanzó, como máximo, en la mayor parte de los casos, el nivel correspondiente a la Educación Secundaria (tabla 1.1). Se trata, por tanto, de un aprendizaje duradero y consolidado.



**Figura 3.1** Modelo que representa las correlaciones significativas (correlación de Spearman/Pearson, \*\*\*p-valor<0,001 \*\*p-valor<0,01, \*p-valor <0,05) entre los resultados obtenidos en las pruebas de conocimiento (azul) relativas a preconcepciones (S1), conocimientos básicos de Biología Celular (S2) y preguntas del TIMSS (S3) de Educación Secundaria, y las emociones retrospectivas, positivas (amarillo) y negativas (verde), en clases expositivas (líneas continuas) y clases prácticas (líneas discontinuas) de Biología de Educación Secundaria. En la parte central se muestran las correlaciones de los factores correspondientes a cada grupo de emociones (positivas y negativas) con las distintas secciones del cuestionario y con el conocimiento de Biología (promedio de las secciones S1, S2, S3). En cursiva se representan las variables centradas. Las correlaciones negativas se muestran en negrita.



### **3.4.1.1 Interacciones entre las emociones retrospectivas individuales y el conocimiento de Biología**

Los estudios de correlación de Spearman, entre el recuerdo de la intensidad de las emociones individuales de los participantes como estudiantes de Biología de Educación Secundaria y la nota obtenida en las secciones S1, S2 y S3 del cuestionario, revelan asociaciones significativas entre la intensidad de algunas emociones y el recuerdo de conceptos de Biología Celular adquiridos durante la Educación Secundaria (figura 3.1). Los estudiantes que mostraron un mayor grado de recuerdo de conceptos elementales de Biología, medidos con las secciones S2 (conceptos de Biología Celular impartidos en la ESO) y S3 (preguntas del TIMSS), son los que recuerdan haber experimentado con menor intensidad, durante las clases expositivas, las emociones negativas testadas (correlación de Spearman,  $p$ -valor $<0,05$ ). Concretamente, en el caso de la sección S2, se observan correlaciones de -0,200 con la incertidumbre ( $p$ -valor $<0,01$ ), de -0,198 con la preocupación ( $p$ -valor $<0,01$ ) y de -0,160 con el nerviosismo ( $p$ -valor $<0,01$ ). Respecto a la sección S3, se han detectado correlaciones de -0,243 con el nerviosismo ( $p$ -valor $<0,001$ ) y de -0,159 con la frustración ( $p$ -valor $<0,01$ ). Además, los participantes que obtienen más puntuación en la evaluación de las preguntas del TIMSS (sección S3) son aquellos que recuerdan haber sentido menos preocupación (correlación de -0,192,  $p$ -valor $<0,01$ ), frustración (correlación de -0,174,  $p$ -valor $<0,01$ ) y aburrimiento (correlación de -0,253,  $p$ -valor $<0,001$ ) en las clases prácticas de Biología de Educación Secundaria.

Respecto a las emociones positivas, los estudiantes que describen más satisfacción, alegría y entusiasmo, para las clases prácticas de Educación Secundaria, son aquellos que obtienen mejores resultados en las secciones S1 (preconcepciones) y S3 (preguntas del TIMSS) del cuestionario. En relación la sección S1, se observan correlaciones de 0,246 con la satisfacción ( $p$ -valor $<0,001$ ) y de 0,162 con la alegría ( $p$ -valor $<0,01$ ); mientras que para la sección S3 se han detectado correlaciones de 0,205 con la satisfacción ( $p$ -valor $<0,01$ ), de 0,161 con la alegría ( $p$ -valor $<0,01$ ) y de 0,202 con la diversión ( $p$ -valor $<0,01$ ). El entusiasmo y la diversión experimentados durante las clases expositivas presentan un comportamiento singular, ya que se asocian negativamente con la retención de los contenidos de las secciones S2 (correlación de -0,161 con el entusiasmo,  $p$ -valor $<0,01$ ) y S3 (correlación de -0,202 con la diversión,  $p$ -valor $<0,01$ ).

### **3.4.1.2 Interacciones entre los factores de las emociones retrospectivas positivas y negativas y el conocimiento de Biología**

Los estudios de correlación de Pearson con los factores latentes (figura 3.1), asociados a las emociones positivas y negativas, muestran que: i) los maestros en formación inicial participantes que obtienen mayores puntuaciones en la sección S1 son aquellos que recuerdan

haber experimentado más emociones positivas en clases prácticas (correlación de 0,206, p-valor<0,05); ii) aquellos que obtienen mayores puntuaciones en la sección S2 son los que recuerdan haber experimentado menos emociones negativas en clases expositivas (correlación de -0,233, p-valor<0,05); y iii) aquellos que obtienen mayores puntuaciones en la sección S3 son los que recuerdan haber experimentado más emociones positivas en clases prácticas (correlación de 0,187, p-valor<0,05) y menos emociones negativas, tanto en clases expositivas (correlación de -0,183, p-valor<0,05) como prácticas (correlación de -0,223, p-valor<0,05). En conjunto, al promediar las 3 secciones del cuestionario, se observa que aquellos futuros maestros que recuerdan una mayor cantidad de contenidos, de Biología Celular de Educación Secundaria, son aquellos que describen más emociones positivas durante las clases prácticas (correlación de 0,204, p-valor<0,01) y menos emociones negativas durante las clases expositivas de Educación Secundaria (correlación de -0,206, p-valor<0,001).

#### **3.4.1.3 Estudio de las interacciones emociones retrospectivas-conocimiento de Biología en función del género**

Respecto a los análisis en función del género de los participantes (tabla 3.1), los resultados muestran que las emociones positivas, experimentadas por las mujeres en clases expositivas de Biología de Educación Secundaria, se asocian negativamente con el aprendizaje duradero de Biología; mientras que dichas asociaciones no son significativas en hombres. Esta correlación negativa se observa tanto para el factor asociado a las emociones positivas en clases expositivas (correlación de -0,235, p-valor<0,05) como para algunas emociones positivas a nivel individual: alegría (correlación de -0,250, p-valor<0,05), entusiasmo (correlación de -0,241, p-valor<0,05) y diversión (correlación de -0,282, p-valor<0,01). En cambio, se observa que el recuerdo de conceptos de Biología de Educación Secundaria de los hombres se asocia positivamente con las emociones positivas recordadas en clases prácticas de Biología de esta etapa educativa, así como negativamente con las emociones negativas experimentadas tanto en clases expositivas como en clases prácticas. Respecto a las emociones positivas, se observa, solo en hombres, una correlación de 0,296 (p-valor<0,05) entre el factor asociado a las emociones positivas en clases prácticas y el aprendizaje duradero de Biología. Esta asociación significativa se observa también para algunas emociones individuales: alegría (correlación de 0,331, p-valor<0,05) y satisfacción (correlación de 0,287, p-valor<0,05). Esta última, además, se detecta también en mujeres (correlación de 0,212, p-valor<0,05). La alegría es la única emoción en la que se observan diferencias significativas, entre hombres y mujeres, en su correlación con el recuerdo de conceptos de Biología de Educación Secundaria (tabla 3.1).

En relación a las emociones negativas, se observan, solo en hombres, correlaciones negativas entre los factores de las emociones negativas en clases expositivas (correlación de -0,522, p-valor<0,01) y prácticas (correlación de -0,322, p-valor<0,05) de Biología de Educación

Secundaria y el aprendizaje duradero. Ambos coeficientes de correlación son significativamente diferentes de los de las mujeres (tabla 3.1). Dichas interacciones se observan en algunas emociones negativas a nivel individual; concretamente: el nerviosismo (correlación de -0,324, p-valor<0,05), la frustración (correlación de -0,538, p-valor<0,01) y la preocupación (correlación de -0,384, p-valor<0,01) en sesiones expositivas (siendo estos tres coeficientes de correlación diferentes entre hombres y mujeres), así como la preocupación en clases prácticas (correlación de -0,309, p-valor<0,05). Estas interacciones no se observan en mujeres, en las que solo se detecta una correlación de -0,275 (p-valor<0,01) entre el aburrimiento experimentado en clases prácticas y el conocimiento de Biología.

**Tabla 3.1.** Coeficientes de correlación de Spearman/Pearson (\*\*p-valor<0,01, \*p-valor <0,05) entre el conocimiento de Biología de Educación Secundaria y las emociones retrospectivas en clases expositivas y prácticas de Biología de Educación Secundaria, en mujeres (M) y hombres (H). A la izquierda se recogen los análisis con las emociones individuales, y a la derecha con los factores asociados a las emociones positivas y negativas. Las correlaciones significativas se resaltan en negrita. En sombreado se señalan las diferencias significativas entre los coeficientes de correlación de hombres y mujeres, calculadas mediante remuestreo o *bootstrapping*.

	<i>Correlaciones con emociones individuales</i>				<i>Correlaciones con los factores asociados a las emociones positivas y negativas</i>			
	<i>Clases expositivas</i>		<i>Clases prácticas</i>		<i>Clases expositivas</i>		<i>Clases Prácticas</i>	
	<i>M</i>	<i>H</i>	<i>M</i>	<i>H</i>	<i>M</i>	<i>H</i>	<i>M</i>	<i>H</i>
<i>Alegría</i>	<b>-0,250*</b>	0,012	0,073	<b>0,331*</b>	<b>-0,235*</b>	-0,160	0,148	<b>0,296*</b>
<i>Confianza</i>	-0,098	-0,018	-0,082	0,196				
<i>Satisfacción</i>	-0,082	-0,066	<b>0,212*</b>	<b>0,287*</b>				
<i>Entusiasmo</i>	<b>-0,241*</b>	-0,052	0,147	0,224				
<i>Diversión</i>	<b>-0,282**</b>	-0,134	0,097	0,115				
<i>Nerviosismo</i>	-0,135	<b>-0,324*</b>	-0,014	-0,232	-0,086	<b>-0,522**</b>	-0,072	<b>-0,322*</b>
<i>Aburrimiento</i>	0,159	-0,194	<b>-0,275**</b>	-0,181				
<i>Frustración</i>	0,001	<b>-0,538**</b>	-0,158	-0,254				
<i>Preocupación</i>	-0,112	<b>-0,384**</b>	0,020	<b>-0,309*</b>				
<i>Incertidumbre</i>	0,055	-0,235	0,053	-0,141				

#### 3.4.1.4 Discusión

En su conjunto, los resultados anteriormente expuestos indican que aquellos futuros maestros que recuerdan en mayor medida conceptos básicos de Biología de Educación Secundaria, son aquellos que recuerdan haber experimentado más emociones positivas en clases prácticas y menos emociones negativas tanto en clases expositivas como prácticas. Además, se observa un sesgo de género, ya que estas asociaciones solo se observan en los participantes de sexo masculino. Las asociaciones detectadas (positivas entre la intensidad de las emociones positivas

y el aprendizaje duradero de Biología, y negativas entre este y la intensidad de las emociones negativas) concuerdan con los resultados obtenidos en diversos estudios realizados por Pekrun y su grupo de investigación (Daniels *et al.*, 2008; Daniels *et al.*, 2009; Goezt y Hall, 2013; Pekrun *et al.*, 2002; Pekrun *et al.*, 2009; Pekrun *et al.*, 2011; Pekrun *et al.*, 2014; Ranellucci *et al.*, 2015; Ruthig *et al.*, 2008; Trigwell *et al.*, 2012); según los cuales los resultados de aprendizaje se correlacionan positivamente con las emociones positivas y negativamente con las emociones negativas. Sin embargo, la mayor parte de estas investigaciones se han realizado en relación a las Matemáticas, la Física, la Química o los idiomas (alemán e inglés principalmente), siendo la Biología una disciplina poco estudiada en estos aspectos.

En la mayor parte de las investigaciones anteriormente citadas se ha comprobado la asociación de las emociones con el rendimiento académico medido a corto plazo, y no con el aprendizaje duradero, uno de los principales logros académicos que, de acuerdo con teoría del control-valor (Pekrun, 2006), está significativamente asociado con las emociones. Esta asociación a largo plazo entre las emociones y el aprendizaje duradero de contenidos científicos ha sido abordada en pocas investigaciones; como el de Murayama *et al.* (2013), que muestra una asociación a largo plazo de las emociones con el aprendizaje duradero de Matemáticas. Los resultados anteriormente expuestos ponen de manifiesto que existe una asociación duradera entre algunos resultados de aprendizaje de Biología, perpetuados desde la Educación Secundaria, y las emociones experimentadas por una muestra de maestros en formación en su etapa de estudiantes de Educación Secundaria. Asimismo, los resultados revelan que esas asociaciones varían en función del contexto académico analizado, pudiendo resultar la enseñanza práctica clave para favorecer el aprendizaje duradero; dado que este se asocia, en prácticas, positivamente con las emociones positivas y negativamente con algunas de las emociones negativas.

La correlación positiva observada entre el aprendizaje duradero y el recuerdo de emociones positivas en clases prácticas concuerda con las aportaciones de Kensinger y Corkin (2004) y Tyng *et al.* (2017), quienes han comprobado que los estímulos emocionales positivos provocan, a nivel de la amígdala, una excitación que mejora la memoria. El importante papel de las emociones en la memoria ha sido abordado en numerosas investigaciones, sin embargo, de manera análoga a lo indicado para el rendimiento académico, estos estudios se han centrado en la memoria de trabajo o a corto plazo. Por tanto, la asociación entre emociones académicas y memoria a largo plazo ha sido aún poco explorada (Gray *et al.*, 2002).

Por otro lado, se han detectado algunas correlaciones negativas entre la intensidad de algunas emociones positivas (en concreto entusiasmo y diversión) recordadas en clases expositivas de Educación Secundaria y el aprendizaje duradero. Estas correlaciones implican que aquellos futuros maestros que recuerdan haber sentido más entusiasmo y diversión, durante las clases

expositivas de Educación Secundaria, son aquellos que recuerdan menos conceptos básicos de Biología de esta etapa educativa. Además, se observa un sesgo de género en estas interacciones, ya que solo se observan en mujeres. Esta asociación negativa entre la intensidad de algunas emociones positivas y el aprendizaje ha sido descrita previamente por Pekrun (2014), según el cual, aunque de manera general las emociones positivas favorecen el aprendizaje y las negativas lo limitan, esta relación no se produce siempre. Por lo tanto, los efectos de las emociones en el aprendizaje y la memoria no siempre son univalentes: las emociones pueden facilitar o perjudicar el aprendizaje, y la retención de la memoria a largo plazo, dependiendo de numerosos factores (Tyng *et al.*, 2017). En ocasiones, algunas emociones positivas, sobre todo si se dan en exceso durante los procesos de enseñanza-aprendizaje, pueden contribuir a disminuir los niveles de atención de los alumnos (Gable y Harmon-Jones, 2008) y su memoria de trabajo, asociándose negativamente con el rendimiento académico (por ejemplo, la diversión o el entusiasmo) (Pekrun, 2014). Esta relación es también válida para las emociones positivas que surgen durante los procesos de aprendizaje, pero que no están relacionadas con el tema abordado en el aula o con la actividad desarrollada, sino con el propio alumno (por ejemplo, el orgullo) o hacia sus compañeros (por ejemplo, la admiración) (Pekrun *et al.*, 2002). Las asociaciones negativas entre los resultados de aprendizaje y un exceso de emociones positivas, en concreto de entusiasmo, han sido descritas en otros trabajos previos en los que se han implementado metodologías basadas en la gamificación (Rieber y Noah, 2008). Estas asociaciones negativas detectadas entre algunas de las emociones positivas y el rendimiento académico, sobre todo femenino, plantean la necesidad de abordar cómo emplear y regular de manera efectiva las emociones positivas de los alumnos para enfocarlas hacia los aprendizajes que se desean alcanzar (Pekrun *et al.*, 2002; Goetz *et al.*, 2016). Como afirman Baid y Lambert (2010), el uso de las emociones positivas como la diversión debe manejarse correctamente en el aula, teniendo que estar relacionado con los temas a impartir, para que puedan favorecer su aprendizaje.

Las asociaciones detectadas entre el recuerdo de la intensidad de algunas emociones y el aprendizaje de Biología de Educación Secundaria no indican una determinada causalidad. No se puede inferir si el aprendizaje es consecuencia de una experiencia emocional positiva o negativa en esta etapa educativa, o bien, si dichos resultados han determinado las emociones que recuerdan los estudiantes hacia las clases de Biología de esta etapa. Se requieren, por tanto, de futuras investigaciones con las que conocer, con más detalle, el papel regulador de las emociones académicas en el aprendizaje duradero de Biología. Independientemente de la relación causa-efecto, los resultados revelan que existe una asociación duradera entre ambas variables afectivas y cognitivas, acomodándose al papel de las emociones en el proceso adaptativo de los seres humanos: las personas están motivadas para recordar detalles de eventos

emocionales, ya que esta información es útil para predecir y controlar acontecimientos importantes del futuro (Dunsmoor *et al.*, 2015).

### **3.4.2 Análisis de las relaciones entre las emociones anticipatorias de maestros en formación inicial ante las prácticas activas de Biología y el recuerdo de conceptos de Biología de Educación Secundaria**

El análisis de los resultados indica que existen asociaciones entre el nivel de conocimientos previos de Biología de Educación Secundaria de los participantes y sus emociones anticipatorias, previas a la implementación de las prácticas activas diseñadas en la presente Tesis Doctoral (tablas 3.2, 3.3 y 3.4).

#### **3.4.2.1 Análisis de las asociaciones de las emociones anticipatorias de la práctica activa de Biología Celular y los conocimientos previos de Biología**

Los análisis de correlación de Spearman muestran que la expectativa de algunas de las emociones, que los maestros en formación inicial participantes esperan experimentar ante la realización de la práctica activa de Biología Celular, está relacionada con el grado de recuerdo de conceptos básicos de Biología Celular impartidos en Educación Secundaria (estimados mediante la nota del pretest) (tabla 3.2). Concretamente, se observan correlaciones negativas entre el grado de recuerdo de conceptos de Biología Celular de Educación Secundaria y la intensidad esperada de algunas emociones negativas, destacando las correlaciones negativas con la preocupación (años académicos 1, 3 y 4) y la frustración (años académicos 1 y 3). Además, estas asociaciones negativas se observan para otras emociones negativas: aburrimiento (año académico 1) y nerviosismo (año académico 3). Respecto a las emociones positivas, en el año académico 2 se observa una correlación positiva entre la intensidad esperada de entusiasmo y el recuerdo de conocimientos de Biología Celular de Educación Secundaria; mientras que en el año académico 3 se observa una correlación negativa entre la intensidad esperada de alegría y el recuerdo de conocimientos de Biología Celular de Educación Secundaria.

**Tabla 3.2.** Coeficientes de correlación de la intensidad de las emociones anticipatorias previas a la implementación de la práctica activa diseñada para la enseñanza de Biología Celular con el grado de recuerdo de conceptos de Biología Celular de Educación Secundaria (nota del pretest) durante los años académicos 1, 2, 3 y 4. En negrita se resaltan las correlaciones significativas (Correlación de Spearman, \*\*p-valor<0,01, \*p-valor<0,05). En sombreado se señalan las diferencias significativas entre los coeficientes de correlación de hombres y mujeres, calculadas mediante remuestreo o *bootstrapping*.

<i>Año académico 1</i>			
<i>Emociones anticipatorias previas a la implementación de la práctica activa de Biología Celular</i>	<i>Coefficiente de correlación con el recuerdo de conceptos de Biología de Educación Secundaria</i>		
	<i>Total</i>	<i>M</i>	<i>H</i>
<i>Alegría</i>	0,069	0,082	0,035
<i>Confianza</i>	0,079	0,072	-0,003
<i>Satisfacción</i>	0,071	0,076	-0,020
<i>Entusiasmo</i>	0,125	0,127	0,027
<i>Diversión</i>	0,121	0,126	0,054
<i>Nerviosismo</i>	-0,062	-0,027	-0,025
<i>Aburrimiento</i>	<b>-0,157*</b>	-0,106	-0,109
<i>Frustración</i>	<b>-0,227**</b>	-0,128	<b>-0,309*</b>
<i>Preocupación</i>	<b>-0,190*</b>	-0,094	<b>-0,276*</b>
<i>Incertidumbre</i>	-0,011	0,031	-0,026
<i>Año académico 2</i>			
<i>Alegría</i>	0,068	0,205	-0,086
<i>Confianza</i>	0,033	0,167	0,036
<i>Satisfacción</i>	0,141	<b>0,277*</b>	-0,048
<i>Entusiasmo</i>	<b>0,222*</b>	<b>0,383**</b>	0,013
<i>Diversión</i>	0,176	0,196	-0,157
<i>Nerviosismo</i>	0,111	0,186	0,135
<i>Aburrimiento</i>	0,038	-0,127	0,115
<i>Frustración</i>	-0,021	-0,068	-0,150
<i>Preocupación</i>	-0,038	0,021	0,027
<i>Incertidumbre</i>	-0,030	-0,038	-0,037
<i>Año académico 3</i>			
<i>Alegría</i>	<b>-0,210*</b>	<b>-0,248*</b>	-0,121
<i>Confianza</i>	-0,027	-0,042	0,073
<i>Satisfacción</i>	-0,074	-0,062	-0,114
<i>Entusiasmo</i>	-0,020	0,041	-0,091
<i>Diversión</i>	-0,085	-0,053	-0,096
<i>Nerviosismo</i>	<b>-0,174*</b>	-0,184	<b>-0,261*</b>
<i>Aburrimiento</i>	0,017	0,049	-0,024
<i>Frustración</i>	<b>-0,167*</b>	-0,110	-0,154
<i>Preocupación</i>	<b>-0,179*</b>	-0,151	<b>-0,257*</b>
<i>Incertidumbre</i>	0,001	-0,007	-0,017
<i>Año académico 4</i>			
<i>Alegría</i>	-0,054	-0,092	0,002
<i>Confianza</i>	-0,033	-0,096	0,056
<i>Satisfacción</i>	0,008	-0,023	0,067
<i>Entusiasmo</i>	-0,050	-0,073	0,011
<i>Diversión</i>	-0,092	0,029	-0,010
<i>Nerviosismo</i>	0,037	0,160	-0,195
<i>Aburrimiento</i>	-0,164	-0,122	-0,210
<i>Frustración</i>	0,093	0,052	0,155
<i>Preocupación</i>	<b>-0,195*</b>	-0,220	-0,157
<i>Incertidumbre</i>	-0,092	0,016	-0,265

### **3.4.2.2 Análisis de las asociaciones de las emociones anticipatorias de la práctica activa de Microbiología y los conocimientos previos de Biología**

Respecto a la práctica activa de Microbiología, los análisis de correlación de Spearman muestran que la expectativa de algunas de las emociones, tanto positivas como negativas, que los participantes esperan experimentar con su realización, está relacionada con el grado de recuerdo de conceptos microbiológicos básicos impartidos en Educación Secundaria (tabla 3.3). Respecto a las emociones negativas, la expectativa de algunas de ellas está relacionada negativamente con el grado de recuerdo de conceptos de Microbiología de Educación Secundaria: nerviosismo (años académicos 2 y 4), preocupación (año académico 2) y aburrimiento (año académico 3). Respecto a las emociones positivas, solo se detecta una correlación positiva entre los conocimientos previos de Microbiología y la intensidad esperada de confianza en el año académico 2.



**Tabla 3.3.** Coeficientes de correlación de la intensidad de las emociones anticipatorias previas a la implementación de la práctica activa diseñada para la enseñanza de Microbiología con el grado de recuerdo de conceptos de Microbiología de Educación Secundaria (nota del pretest) durante los años académicos 2, 3 y 4. En negrita se resaltan las correlaciones significativas (Correlación de Spearman, \*\*p-valor<0,01, \*p-valor<0,05). En sombreado se señalan las diferencias significativas entre los coeficientes de correlación de hombres y mujeres, calculadas mediante remuestreo o *bootstrapping*.

<i>Año académico 2</i>			
<i>Emociones anticipatorias previas a la implementación de la práctica activa de Microbiología</i>	<i>Coefficiente de correlación con el recuerdo de conceptos de Biología de Educación Secundaria</i>		
	<i>Total</i>	<i>M</i>	<i>H</i>
<i>Alegría</i>	0,114	0,156	0,021
<i>Confianza</i>	<b>0,255**</b>	<b>0,252**</b>	0,221
<i>Satisfacción</i>	0,059	0,092	-0,010
<i>Entusiasmo</i>	0,076	0,136	0,023
<i>Diversión</i>	0,006	0,059	-0,093
<i>Nerviosismo</i>	<b>-0,192*</b>	<b>-0,205*</b>	-0,135
<i>Aburrimiento</i>	-0,008	-0,012	-0,205
<i>Frustración</i>	-0,104	-0,070	-0,168
<i>Preocupación</i>	<b>-0,149*</b>	-0,147	-0,204
<i>Incertidumbre</i>	-0,127	-0,123	-0,107
<i>Año académico 3</i>			
<i>Alegría</i>	-0,006	0,115	-0,178
<i>Confianza</i>	0,072	0,076	0,109
<i>Satisfacción</i>	-0,014	0,041	-0,118
<i>Entusiasmo</i>	0,004	0,060	-0,107
<i>Diversión</i>	-0,116	-0,069	-0,179
<i>Nerviosismo</i>	0,025	0,090	-0,079
<i>Aburrimiento</i>	<b>-0,169*</b>	<b>-0,233*</b>	-0,067
<i>Frustración</i>	-0,117	-0,115	-0,123
<i>Preocupación</i>	0,016	0,033	0,015
<i>Incertidumbre</i>	0,030	0,071	-0,045
<i>Año académico 4</i>			
<i>Alegría</i>	-0,106	-0,131	-0,083
<i>Confianza</i>	0,015	-0,042	0,069
<i>Satisfacción</i>	0,011	-0,079	0,120
<i>Entusiasmo</i>	-0,044	-0,022	-0,117
<i>Diversión</i>	-0,041	-0,152	0,081
<i>Nerviosismo</i>	<b>-0,211*</b>	-0,219	-0,184
<i>Aburrimiento</i>	0,172	0,203	0,095
<i>Frustración</i>	0,108	0,123	0,066
<i>Preocupación</i>	0,097	0,216	-0,053
<i>Incertidumbre</i>	-0,104	-0,116	-0,102

### 3.4.2.3 Análisis de las asociaciones de las emociones anticipatorias de la práctica activa de Biología Evolutiva y los conocimientos previos de Biología

En relación a la práctica activa de Biología Evolutiva, basada en analogías e implementada en el año académico 5; los análisis de correlación de Spearman entre la expectativa de emociones y sus conocimientos previos sobre conceptos evolutivos (tabla 3.4) muestran asociaciones negativas entre el nivel de conocimientos previos de Biología Evolutiva y la intensidad esperada de algunas emociones negativas; concretamente aburrimiento, preocupación e incertidumbre.

**Tabla 3.4.** Coeficientes de correlación de la intensidad de las emociones anticipatorias previas a la implementación de la práctica activa diseñada para la enseñanza de Biología Evolutiva con el grado de recuerdo de conceptos de filogenia de Educación Secundaria (nota del pretest) durante el año académico 5. En negrita se resaltan las correlaciones significativas (Correlación de Spearman, \*\*p-valor<0,01, \*p-valor<0,05). En sombreado se señalan las diferencias significativas entre los coeficientes de correlación de hombres y mujeres, calculadas mediante remuestreo o *bootstrapping*.

<i>Emociones anticipatorias previas a la implementación de la práctica activa de Biología Evolutiva</i>	<i>Coefficiente de correlación con el recuerdo de conceptos de Biología de Educación Secundaria</i>		
	<i>Total</i>	<i>M</i>	<i>H</i>
<i>Alegría</i>	-0,001	0,032	-0,020
<i>Confianza</i>	0,137	0,169	-0,102
<i>Satisfacción</i>	-0,062	-0,035	-0,026
<i>Entusiasmo</i>	-0,019	0,036	-0,024
<i>Diversión</i>	-0,065	-0,016	<b>-0,297*</b>
<i>Nerviosismo</i>	0,038	-0,149	0,042
<i>Aburrimiento</i>	<b>-0,185*</b>	<b>-0,262*</b>	0,161
<i>Frustración</i>	-0,165	<b>-0,224*</b>	0,076
<i>Preocupación</i>	<b>-0,172*</b>	<b>-0,279**</b>	0,138
<i>Incertidumbre</i>	<b>-0,255*</b>	<b>-0,273**</b>	-0,120

### 3.4.2.4 Estudio de las asociaciones emociones anticipatorias-conocimientos previos en función del género

Los análisis, en función del género, de las interacciones entre los conocimientos previos de Biología de los participantes y sus emociones anticipatorias, revelan algunas diferencias significativas entre los coeficientes de correlación de hombres y mujeres, sobre todo en la práctica activa de Biología Evolutiva (tabla 3.4). En dicha práctica, implementada solo durante el año académico 5, se observan, solo en mujeres, correlaciones negativas entre el nivel de conocimientos previos y la expectativa de algunas emociones negativas (aburrimiento, frustración, preocupación e incertidumbre). Además, salvo para la incertidumbre, los coeficientes de correlación de estas emociones negativas son significativamente diferentes a los de los hombres. Además, se observa, en los hombres, una correlación negativa, significativamente diferente a la de las mujeres, entre la intensidad esperada de diversión y el nivel de conocimientos previos. Asimismo, el coeficiente de correlación entre estos y la

expectativa de confianza es significativamente diferente entre ambos géneros, siendo más negativo para los hombres.

Respecto a la práctica activa diseñada para la enseñanza de Biología Celular (tabla 3.2), los análisis revelan que las asociaciones negativas entre algunas emociones negativas (frustración en el año académico 1, nerviosismo en el año académico 3 y preocupación en los años académicos 1 y 3) y el recuerdo de conceptos biológicos de Educación Secundaria, son sólo significativas en hombres. Sin embargo, sólo existen diferencias significativas con los coeficientes de correlación de ambos géneros en el año académico 1 (además de en la incertidumbre en el año académico 4). Mientras, el análisis de las emociones positivas muestra que las asociaciones de estas con el conocimiento previo de Biología Celular, tanto positivas (satisfacción y entusiasmo en el año académico 2) como negativas (alegría en el año académico 3), son solo significativas en mujeres. Sólo se observan diferencias significativas en los coeficientes de correlación de ambos géneros en las asociaciones positivas detectadas en el año académico 2 para la satisfacción y el entusiasmo.

En relación a la práctica activa diseñada para la enseñanza de Microbiología (tabla 3.3), se observan, solo en mujeres, asociaciones negativas entre algunas emociones negativas (nerviosismo en el año académico 2 y aburrimiento en el año académico 3) y el recuerdo de conceptos de Microbiología de Educación Secundaria. Sin embargo, sólo existen diferencias significativas entre los coeficientes de correlación de ambos géneros para la intensidad esperada de preocupación en el año académico 4. Respecto a las emociones positivas, la correlación entre la expectativa de confianza y el conocimiento previo de Microbiología detectada en el año académico 2 es solo significativa en mujeres, aunque sin existir diferencias con el coeficiente de correlación de los hombres. Estas diferencias solo se observan para el coeficiente de correlación del conocimiento previo de Microbiología y la intensidad esperada de alegría en el año académico 3 (más positiva en mujeres).

#### **3.4.2.5 Discusión**

En líneas generales, teniendo en cuenta el conjunto de los resultados anteriormente expuestos, se han detectado asociaciones negativas entre la intensidad de algunas emociones negativas, que los participantes esperan experimentar con una serie de actividades prácticas de Biología incluidas en su programa formativo, y su grado de recuerdo de conceptos biológicos básicos impartidos en Educación Secundaria. Las emociones anticipatorias negativas que se asocian con el conocimiento previo de Biología de Educación Secundaria son distintas en los distintos años académicos y en las distintas prácticas activas implementadas. Sin embargo, se observa una pauta común: correlaciones negativas entre algunas emociones negativas y el nivel de conocimientos previos. Esta pauta común se aprecia al analizar las interacciones entre el factor

de las emociones anticipatorias negativas y la nota del pretest. Como se muestra más adelante (apartado 3.4.5 de este capítulo), estas asociaciones quedan reflejadas en los modelos factoriales, en los que se observan asociaciones negativas entre la nota del pretest y el factor correspondiente a las emociones anticipatorias negativas. No se observan grandes diferencias en estas interacciones en función del género de los participantes, salvo para la práctica activa de Biología Evolutiva, en la que las asociaciones entre emociones negativas y conocimientos previos se observan solo en mujeres.

Estos resultados indican que aquellos futuros maestros participantes que esperan sentir una mayor intensidad de emociones negativas, con la realización de prácticas de Biología, son aquellos que recuerdan en menor grado los contenidos de Biología impartidos en Educación Secundaria. Estas observaciones concuerdan con distintas investigaciones previas que han puesto de manifiesto la influencia de los bajos niveles de formación científica de los futuros maestros en sus emociones negativas hacia el aprendizaje de las ciencias (Bonill y Márquez, 2011; Brígido *et al.*, 2013a; Cortés *et al.*, 2012). Por otro lado, las asociaciones detectadas están en consonancia con diversos estudios previos que han comprobado la influencia del rendimiento académico del pasado en las emociones que los alumnos anticipan hacia actividades del presente (Pekrun *et al.*, 2002; Pekrun *et al.*, 2006; Pekrun *et al.*, 2009; Pekrun *et al.*, 2017). En concreto, las correlaciones detectadas concuerdan con la observación de los malos resultados de aprendizaje como predictores de emociones negativas, relación detectada en estas investigaciones previas para el aburrimiento, la ira, la vergüenza y la desesperación. Estos estudios también han revelado relaciones significativas entre los resultados de aprendizaje del pasado y las emociones anticipatorias positivas (en concreto los buenos resultados como predictores de entusiasmo, ilusión y orgullo), correlaciones que solo se detectan en dos casos en la presente investigación: para la confianza ante la implementación de la práctica activa de Microbiología y para el entusiasmo esperado ante la práctica de Biología Celular. Además, se detectan algunas correlaciones negativas entre la intensidad esperada de algunas emociones positivas y los conocimientos previos (alegría para la práctica de Biología Celular en el año académico 3 y diversión de los hombres en la práctica activa de Biología Evolutiva). Se requieren, por tanto, futuros estudios con los que profundizar en la influencia del nivel de conocimientos científicos previos de Educación Secundaria de los futuros maestros en sus emociones anticipatorias hacia las ciencias. Estas emociones anticipatorias se han conectado ya, tanto por investigaciones previas (Brígido *et al.*, 2013b) como en los resultados del capítulo 2 de esta investigación (apartado 2.4.4), con las emociones que experimentaron como alumnos de esta etapa educativa.

### **3.4.3 Análisis de las relaciones entre las emociones experimentadas por los maestros en formación inicial con las prácticas activas de Biología, el conocimiento de Biología y el aprendizaje de Biología**

El análisis de los resultados indica que existen interacciones entre las emociones experimentadas por los futuros maestros participantes, durante la implementación de las prácticas activas de Biología, y el nivel de conocimientos de Biología posteriores a estas (nota del postest) (tablas 3.5, 3.6 y 3.7). Además, indican la presencia de interacciones entre las emociones experimentadas por los participantes durante las prácticas activas y el nivel de conocimientos de Biología a largo plazo, estimado mediante un retest en el año académico 2 para las prácticas activas de Biología Celular y Microbiología (tabla 3.8). Asimismo, muestran interacciones entre las emociones experimentadas por los participantes durante las prácticas activas y el aprendizaje de conceptos biológicos (conocimientos adquiridos con la realización de las prácticas activas, calculado como la diferencia entre la nota del postest y la nota del pretest en un subconjunto de datos de la muestra que está en o por debajo del percentil 75 del pretest) (tablas 3.9, 3.10 y 3.11).

#### **3.4.3.1 Análisis de las interacciones entre las emociones experimentadas con las prácticas activas de Biología y el conocimiento posterior de Biología**

Respecto a la práctica activa de Biología Celular, los análisis de correlación de Spearman reflejan que la intensidad de algunas emociones, experimentadas por los maestros en formación inicial participantes con su implementación, está relacionada con el nivel de conocimientos de Biología tras la misma (tabla 3.5). De este modo, se observan correlaciones positivas entre la intensidad de algunas emociones positivas y la nota del postest: alegría (años académicos 1, 2 y 4), confianza (años académicos 2 y 4), satisfacción (años académicos 1 y 4), entusiasmo (años académicos 1, 2 y 4) y diversión (año académico 1). Respecto a las emociones negativas, algunas de ellas se asocian negativamente a la nota del postest (preocupación en los años académicos 1, 3 y 4; aburrimiento y frustración en el año académico 1; incertidumbre en el año académico 3 y nerviosismo en el año académico 4).

**Tabla 3.5.** Coeficientes de correlación de la intensidad de las emociones sentidas durante la implementación de la práctica activa diseñada para la enseñanza de Biología Celular con el nivel de conocimientos de Biología posteriores a su implementación (nota del postest) durante los años académicos 1, 2 ,3 y 4. En negrita se resaltan las correlaciones significativas (Correlación de Spearman, \*\*\*p-valor<0,001, \*\*p-valor<0,01, \*p-valor<0,05). En sombreado se señalan las diferencias significativas entre los coeficientes de correlación de hombres y mujeres, calculadas mediante remuestreo o *bootstrapping*.

<i>Año académico 1</i>			
<i>Emociones experimentadas con la implementación de la práctica activa de Biología Celular</i>	<i>Coefficiente de correlación con la nota del postest</i>		
	<i>Total</i>	<i>M</i>	<i>H</i>
<i>Alegría</i>	<b>0,276***</b>	<b>0,237*</b>	<b>0,364**</b>
<i>Confianza</i>	0,130	0,138	0,135
<i>Satisfacción</i>	<b>0,278***</b>	<b>0,334***</b>	<b>0,259*</b>
<i>Entusiasmo</i>	<b>0,279***</b>	<b>0,257**</b>	<b>0,316*</b>
<i>Diversión</i>	<b>0,213**</b>	0,180	<b>0,260*</b>
<i>Nerviosismo</i>	-0,056	0,001	-0,160
<i>Aburrimiento</i>	-0,149	-0,163	-0,162
<i>Frustración</i>	<b>-0,200*</b>	<b>-0,251*</b>	-0,081
<i>Preocupación</i>	<b>-0,196*</b>	<b>-0,203*</b>	-0,180
<i>Incertidumbre</i>	-0,068	-0,069	-0,054
<i>Año académico 2</i>			
<i>Alegría</i>	<b>0,181*</b>	0,147	0,244
<i>Confianza</i>	<b>0,162*</b>	0,188	0,159
<i>Satisfacción</i>	0,038	0,010	0,082
<i>Entusiasmo</i>	<b>0,238**</b>	<b>0,216*</b>	<b>0,308*</b>
<i>Diversión</i>	0,121	0,117	0,122
<i>Nerviosismo</i>	-0,140	-0,184	-0,104
<i>Aburrimiento</i>	-0,150	-0,123	-0,212
<i>Frustración</i>	-0,095	-0,091	-0,152
<i>Preocupación</i>	-0,076	0,008	-0,188
<i>Incertidumbre</i>	-0,155	<b>-0,196*</b>	-0,141
<i>Año académico 3</i>			
<i>Alegría</i>	-0,035	0,133	<b>-0,306*</b>
<i>Confianza</i>	-0,062	0,061	-0,231
<i>Satisfacción</i>	-0,060	0,084	-0,216
<i>Entusiasmo</i>	0,075	0,092	0,065
<i>Diversión</i>	-0,054	-0,014	-0,100
<i>Nerviosismo</i>	0,021	0,111	-0,093
<i>Aburrimiento</i>	<b>-0,212**</b>	<b>-0,220*</b>	-0,184
<i>Frustración</i>	-0,010	-0,101	0,167
<i>Preocupación</i>	<b>-0,184*</b>	-0,162	-0,156
<i>Incertidumbre</i>	<b>-0,182*</b>	<b>-0,254*</b>	-0,078
<i>Año académico 4</i>			
<i>Alegría</i>	<b>0,235*</b>	<b>0,245*</b>	0,202
<i>Confianza</i>	<b>0,263**</b>	<b>0,257*</b>	<b>0,308*</b>
<i>Satisfacción</i>	<b>0,244*</b>	0,235	0,294
<i>Entusiasmo</i>	<b>0,193*</b>	0,143	<b>0,316*</b>
<i>Diversión</i>	0,156	0,113	0,277
<i>Nerviosismo</i>	<b>-0,208*</b>	-0,181	-0,236
<i>Aburrimiento</i>	-0,055	-0,041	-0,091
<i>Frustración</i>	-0,186	-0,195	-0,208
<i>Preocupación</i>	<b>-0,268**</b>	-0,213	<b>-0,409**</b>
<i>Incertidumbre</i>	-0,150	-0,106	-0,254

En relación a la práctica activa de Microbiología, los estudios de correlación de Spearman reflejan que la intensidad de algunas emociones, experimentadas por los participantes durante la implementación de esta intervención, está relacionada con el nivel de conocimientos de Biología posteriores a su implementación (tabla 3.6). Estos correlacionan, en los distintos años académicos, positivamente con todas las emociones positivas: diversión (años académicos 2, 3 y 4), alegría, confianza, satisfacción (años académicos 2 y 3) y entusiasmo (año académico 3). Respecto a las emociones negativas, algunas correlacionan negativamente con la nota del postest, destacando el aburrimiento (años académicos 2, 3 y 4). Se observan, además, correlaciones significativas para la incertidumbre (años académicos 3 y 4) y la preocupación (año académico 4).

**Tabla 3.6.** Coeficientes de correlación de la intensidad de las emociones sentidas durante la implementación de la práctica activa diseñada para la enseñanza de Microbiología con el nivel de conocimientos de Biología posteriores a su implementación (nota del postest) durante los años académicos 2 ,3 y 4. En negrita se resaltan las correlaciones significativas (Correlación de Spearman, \*\*\*p-valor<0,001, \*\*p-valor<0,01, \*p-valor<0,05). En sombreado se señalan las diferencias significativas entre los coeficientes de correlación de hombres y mujeres, calculadas mediante remuestreo o *bootstrapping*.

<i>Año académico 2</i>			
<i>Emociones experimentadas con la implementación de la práctica activa de Microbiología</i>	<i>Coefficiente de correlación con la nota del postest</i>		
	<i>Total</i>	<i>M</i>	<i>H</i>
<i>Alegría</i>	<b>0,220*</b>	0,056	<b>0,486***</b>
<i>Confianza</i>	<b>0,251**</b>	0,108	<b>0,561***</b>
<i>Satisfacción</i>	<b>0,274***</b>	0,194	<b>0,457**</b>
<i>Entusiasmo</i>	0,161	0,035	<b>0,372*</b>
<i>Diversión</i>	<b>0,243**</b>	<b>0,226*</b>	0,218
<i>Nerviosismo</i>	-0,096	0,038	<b>-0,314*</b>
<i>Aburrimiento</i>	<b>-0,216*</b>	-0,188	<b>-0,397**</b>
<i>Frustración</i>	-0,083	-0,103	-0,036
<i>Preocupación</i>	-0,042	0,103	-0,280
<i>Incertidumbre</i>	-0,110	-0,031	<b>-0,312*</b>
<i>Año académico 3</i>			
<i>Alegría</i>	<b>0,206*</b>	0,178	0,257
<i>Confianza</i>	<b>0,180*</b>	0,132	0,272
<i>Satisfacción</i>	<b>0,265**</b>	<b>0,241*</b>	<b>0,285*</b>
<i>Entusiasmo</i>	<b>0,315***</b>	<b>0,263*</b>	<b>0,410**</b>
<i>Diversión</i>	<b>0,178*</b>	<b>0,204*</b>	0,103
<i>Nerviosismo</i>	-0,118	-0,151	-0,080
<i>Aburrimiento</i>	<b>-0,186*</b>	<b>-0,225*</b>	-0,168
<i>Frustración</i>	-0,127	-0,021	<b>-0,310*</b>
<i>Preocupación</i>	-0,079	-0,045	-0,102
<i>Incertidumbre</i>	<b>-0,204*</b>	-0,197	-0,224
<i>Año académico 4</i>			
<i>Alegría</i>	0,087	0,185	-0,014
<i>Confianza</i>	0,062	0,189	-0,071
<i>Satisfacción</i>	0,018	0,064	-0,048
<i>Entusiasmo</i>	0,156	<b>0,302*</b>	0,021
<i>Diversión</i>	<b>0,195*</b>	<b>0,397**</b>	-0,062
<i>Nerviosismo</i>	-0,170	-0,209	-0,136
<i>Aburrimiento</i>	<b>-0,246*</b>	-0,231	-0,234
<i>Frustración</i>	-0,173	-0,192	-0,121
<i>Preocupación</i>	<b>-0,211*</b>	-0,152	<b>-0,306*</b>
<i>Incertidumbre</i>	<b>-0,199*</b>	-0,220	-0,187



Respecto a la práctica activa de Biología Evolutiva, los estudios de correlación de Spearman muestran que la intensidad de algunas emociones experimentadas por los participantes durante su implementación, sobre todo negativas, está relacionada con el nivel de conocimientos de Biología posteriores a la intervención (tabla 3.7). De este modo, los análisis revelan asociaciones negativas entre la intensidad de todas las emociones negativas testadas y la nota del postest. Respecto a las emociones positivas, se observa una correlación positiva con la intensidad de satisfacción.

**Tabla 3.7.** Coeficientes de correlación de la intensidad de las emociones sentidas durante la implementación de la práctica activa diseñada para la enseñanza de Biología Evolutiva con el nivel de conocimientos de Biología posteriores a su implementación (nota del postest) durante el año académico 5. En negrita se resaltan las correlaciones significativas (Correlación de Spearman, \*\*p-valor<0,01, \*p-valor<0,05). En sombreado se señalan las diferencias significativas entre los coeficientes de correlación de hombres y mujeres, calculadas mediante remuestreo o *bootstrapping*.

<i>Emociones experimentadas con la implementación de la práctica activa de Biología Evolutiva</i>	<i>Coeficiente de correlación con la nota del postest</i>		
	<i>Total</i>	<i>M</i>	<i>H</i>
<i>Alegría</i>	0,020	-0,024	0,153
<i>Confianza</i>	0,100	<b>0,203*</b>	0,005
<i>Satisfacción</i>	<b>0,221**</b>	<b>0,263*</b>	0,181
<i>Entusiasmo</i>	0,113	0,073	<b>0,312*</b>
<i>Diversión</i>	0,083	0,090	0,283
<i>Nerviosismo</i>	<b>-0,163*</b>	-0,149	-0,262
<i>Aburrimiento</i>	<b>-0,197**</b>	<b>-0,304**</b>	-0,165
<i>Frustración</i>	<b>-0,157*</b>	<b>-0,243*</b>	-0,097
<i>Preocupación</i>	<b>-0,151*</b>	-0,083	<b>-0,412**</b>
<i>Incertidumbre</i>	<b>-0,180*</b>	<b>-0,203*</b>	-0,276

### 3.4.3.2 Análisis de las interacciones entre las emociones experimentadas con las prácticas activas de Biología y el conocimiento de Biología a largo plazo

Las asociaciones detectadas entre la intensidad de las emociones sentidas durante las intervenciones de Biología Celular y Microbiología y el conocimiento posterior de Biología (positivas para las emociones positivas y negativas para algunas de las emociones negativas) se observan también al analizar, con los datos recogidos en el año académico 2, las interacciones con el nivel de conocimientos de Biología a largo plazo (nota del retest) (tabla 3.8).

De este modo, en la práctica activa de Biología Celular se observan asociaciones positivas entre la nota del retest y las intensidades de alegría y satisfacción sentidas durante su implementación. Asimismo, se ha detectado una correlación negativa entre la intensidad de frustración y la nota del retest.

Respecto a la práctica activa de Microbiología, en esta se observan asociaciones positivas entre la nota del retest y la intensidad de todas las emociones positivas. Además, se detectan asociaciones negativas entre la nota del retest y las intensidades de aburrimiento y frustración.

**Tabla 3.8.** Coeficientes de correlación de la intensidad de las emociones sentidas durante la implementación de las prácticas activas diseñadas para la enseñanza de Biología Celular y Microbiología con el nivel de conocimiento acerca de ambas disciplinas biológicas a largo plazo (nota del retest) durante el año académico 2. En negrita se resaltan las correlaciones significativas (Correlación de Spearman, \*\*\*p-valor<0,001, \*\*p-valor<0,01, \*p-valor<0,05). En sombreado se señalan las diferencias significativas entre los coeficientes de correlación de hombres y mujeres, calculadas mediante remuestreo o *bootstrapping*.

Año académico 2			
Emociones experimentadas con la implementación de la práctica activa de Biología Celular	Coeficiente de correlación con la nota del retest		
	Total	M	H
Alegría	<b>0,220*</b>	0,225	0,161
Confianza	0,054	0,020	0,111
Satisfacción	<b>0,228*</b>	0,102	<b>0,373*</b>
Entusiasmo	0,195	0,010	0,294
Diversión	-0,080	0,102	-0,331
Nerviosismo	0,111	0,101	0,142
Aburrimiento	0,020	-0,040	0,086
Frustración	<b>-0,221*</b>	<b>-0,275*</b>	-0,164
Preocupación	0,117	0,051	0,259
Incertidumbre	0,055	0,019	0,160
Emociones experimentadas con la implementación de la práctica activa de Microbiología	Coeficiente de correlación con la nota del retest		
	Total	M	H
Alegría	<b>0,378***</b>	<b>0,316*</b>	<b>0,456**</b>
Confianza	<b>0,299**</b>	0,220	<b>0,344*</b>
Satisfacción	<b>0,345***</b>	0,208	<b>0,577***</b>
Entusiasmo	<b>0,334**</b>	<b>0,268*</b>	<b>0,424**</b>
Diversión	<b>0,239*</b>	0,175	<b>0,349*</b>
Nerviosismo	-0,099	0,023	-0,302
Aburrimiento	<b>-0,225*</b>	-0,238	-0,304
Frustración	<b>-0,211*</b>	<b>-0,260*</b>	<b>-0,333*</b>
Preocupación	0,019	0,014	-0,190
Incertidumbre	-0,045	0,122	-0,049

### 3.4.3.3 Análisis de las interacciones entre las emociones experimentadas con las prácticas activas de Biología y el aprendizaje de Biología

Respecto a la práctica activa de Biología Celular (en la que sólo se estima el aprendizaje durante los años académicos 3 y 4), los análisis de correlación revelan asociaciones positivas entre las intensidades de algunas emociones positivas y el conocimiento de Biología adquirido con la intervención, así como asociaciones negativas entre este y las intensidades de algunas

emociones negativas (tabla 3.9). Concretamente, el aprendizaje de Biología correlaciona positivamente con las intensidades de confianza y satisfacción sentidas durante la intervención (año académico 4), y negativamente con la preocupación, el aburrimiento, la frustración (año académico 3) y el nerviosismo (año académico 4).

**Tabla 3.9.** Coeficientes de correlación de la intensidad de las emociones sentidas durante la implementación de la práctica activa diseñada para la enseñanza de Biología Celular con el aprendizaje de Biología Celular (calculado como la diferencia entre la nota del postest y la nota del pretest en un subconjunto de datos de la muestra que está en o por debajo del percentil 75 del pretest) durante los años académicos 3 y 4. En negrita se resaltan las correlaciones significativas (Correlación de Spearman, \*\*p-valor<0,01, \*p-valor<0,05). En sombreado se señalan las diferencias significativas entre los coeficientes de correlación de hombres y mujeres, calculadas mediante remuestreo o *bootstrapping*.

Año académico 3			
Emociones experimentadas con la implementación de la práctica activa de Biología Celular	Coeficiente de correlación con el aprendizaje de Biología Celular		
	Total	M	H
Alegría	-0,019	0,121	-0,310
Confianza	0,066	0,073	0,062
Satisfacción	0,045	0,074	-0,029
Entusiasmo	0,197	<b>0,268*</b>	0,122
Diversión	-0,021	0,100	-0,260
Nerviosismo	-0,047	-0,008	0,024
Aburrimiento	<b>-0,322**</b>	<b>-0,393**</b>	-0,230
Frustración	<b>-0,242*</b>	-0,225	-0,245
Preocupación	<b>-0,226*</b>	-0,167	-0,199
Incertidumbre	-0,122	-0,114	-0,107
Año académico 4			
Alegría	0,130	0,070	0,334
Confianza	<b>0,274*</b>	0,242	<b>0,440*</b>
Satisfacción	<b>0,225*</b>	0,049	0,180
Entusiasmo	-0,008	0,001	-0,077
Diversión	0,032	0,021	0,053
Nerviosismo	<b>-0,259*</b>	<b>-0,296*</b>	-0,157
Aburrimiento	0,154	0,153	0,268
Frustración	0,115	0,061	<b>0,402*</b>
Preocupación	-0,162	-0,191	-0,121
Incertidumbre	0,089	0,067	0,335

Respecto a la práctica activa de Microbiología, los resultados reflejan asociaciones positivas entre las intensidades de algunas emociones positivas experimentadas con su implementación y el aprendizaje de Biología, así como asociaciones negativas entre este y las intensidades de algunas de las emociones negativas (tabla 3.10). Dentro de las emociones positivas destacan la diversión (años académicos 2 y 4), la satisfacción (año académico 2) y el entusiasmo (año académico 3). Respecto a las emociones negativas, todas ellas correlacionan negativamente con

el aprendizaje de Biología en el año académico 4. Además, la frustración lo hace también en el año académico 3.

**Tabla 3.10.** Coeficientes de correlación de la intensidad de las emociones sentidas durante la implementación de la práctica activa diseñada para la enseñanza de Microbiología con el aprendizaje de Microbiología (calculado como la diferencia entre la nota del postest y la nota del pretest en un subconjunto de datos de la muestra que está en o por debajo del percentil 75 del pretest) durante los años académicos 2, 3 y 4. En negrita se resaltan las correlaciones significativas (Correlación de Spearman, \*\*p-valor<0,01, \*p-valor<0,05). En sombreado se señalan las diferencias significativas entre los coeficientes de correlación de hombres y mujeres, calculadas mediante remuestreo o *bootstrapping*.

<i>Año académico 2</i>			
<i>Emociones experimentadas con la implementación de la práctica activa de Microbiología</i>	<i>Coefficiente de correlación con el aprendizaje de Microbiología</i>		
	<i>Total</i>	<i>M</i>	<i>H</i>
<i>Alegría</i>	0,126	0,005	0,343
<i>Confianza</i>	0,028	0,105	-0,160
<i>Satisfacción</i>	<b>0,230*</b>	0,187	0,282
<i>Entusiasmo</i>	0,083	0,049	0,136
<i>Diversión</i>	<b>0,326**</b>	<b>0,359**</b>	0,235
<i>Nerviosismo</i>	0,020	0,100	-0,119
<i>Aburrimiento</i>	-0,027	0,054	-0,094
<i>Frustración</i>	-0,172	-0,027	-0,342
<i>Preocupación</i>	0,057	0,142	-0,223
<i>Incertidumbre</i>	0,001	0,021	0,139
<i>Año académico 3</i>			
<i>Alegría</i>	0,181	0,035	<b>0,328*</b>
<i>Confianza</i>	0,129	0,083	0,171
<i>Satisfacción</i>	0,156	0,117	0,190
<i>Entusiasmo</i>	<b>0,208*</b>	0,199	0,240
<i>Diversión</i>	0,188	0,113	0,237
<i>Nerviosismo</i>	-0,088	-0,159	0,011
<i>Aburrimiento</i>	-0,138	-0,007	<b>-0,283*</b>
<i>Frustración</i>	<b>-0,221*</b>	-0,104	<b>-0,323*</b>
<i>Preocupación</i>	-0,180	-0,158	-0,196
<i>Incertidumbre</i>	0,025	-0,083	0,165
<i>Año académico 4</i>			
<i>Alegría</i>	0,173	<b>0,346*</b>	-0,023
<i>Confianza</i>	0,052	0,185	-0,087
<i>Satisfacción</i>	0,053	0,203	-0,185
<i>Entusiasmo</i>	0,122	0,225	0,034
<i>Diversión</i>	<b>0,231*</b>	<b>0,438**</b>	-0,011
<i>Nerviosismo</i>	<b>-0,207*</b>	<b>-0,302*</b>	-0,063
<i>Aburrimiento</i>	<b>-0,270**</b>	-0,272	-0,267
<i>Frustración</i>	<b>-0,221*</b>	<b>-0,322*</b>	-0,063
<i>Preocupación</i>	<b>-0,209*</b>	<b>-0,352*</b>	-0,203
<i>Incertidumbre</i>	<b>-0,284**</b>	-0,199	-0,226

Respecto a las interacciones emociones-aprendizaje para la práctica activa de Biología Evolutiva (tabla 3.11), los resultados revelan asociaciones positivas entre el aprendizaje de Biología y las intensidades de satisfacción y de entusiasmo sentidas durante la intervención. No se observan asociaciones entre el aprendizaje y las emociones negativas.

**Tabla 3.11.** Coeficientes de correlación de la intensidad de las emociones sentidas durante la implementación de la práctica activa diseñada para la enseñanza de Biología Evolutiva y el aprendizaje de conceptos evolutivos (calculado como la diferencia entre la nota del postest y la nota del pretest en un subconjunto de datos de la muestra que está en o por debajo del percentil 75 del pretest). En negrita se resaltan las correlaciones significativas (Correlación de Spearman, \*p-valor<0,05). En sombreado se señalan las diferencias significativas entre los coeficientes de correlación de hombres y mujeres, calculadas mediante remuestreo o *bootstrapping*.

<i>Emociones experimentadas con la implementación de la práctica activa de Biología Evolutiva</i>	<i>Coefficiente de correlación con el aprendizaje de Biología Evolutiva</i>		
	<i>Total</i>	<i>M</i>	<i>H</i>
<i>Alegría</i>	0,086	-0,009	-0,065
<i>Confianza</i>	0,083	0,156	-0,026
<i>Satisfacción</i>	<b>0,168*</b>	0,199	0,011
<i>Entusiasmo</i>	<b>0,174*</b>	0,121	0,254
<i>Diversión</i>	0,073	0,078	0,028
<i>Nerviosismo</i>	-0,092	0,006	-0,085
<i>Aburrimiento</i>	-0,068	-0,078	-0,128
<i>Frustración</i>	-0,018	-0,094	0,214
<i>Preocupación</i>	-0,087	0,046	-0,253
<i>Incertidumbre</i>	-0,074	-0,095	-0,059

#### **3.4.3.4 Estudio, en función del género, de las asociaciones de las emociones experimentadas con las prácticas activas de Biología con el conocimiento y el aprendizaje de Biología**

El análisis, en función del género, de las interacciones entre las emociones sentidas con las prácticas activas y el conocimiento posterior de Biología revela algunas diferencias entre los coeficientes de correlación de hombres y mujeres (tablas 3.5, 3.6 y 3.7). Estos análisis muestran, de manera general, correlaciones positivas con las emociones positivas y negativas con las emociones negativas en ambos géneros, solo en hombres o solo en mujeres; pero solo se observan diferencias significativas entre los coeficientes de correlación de hombres y mujeres en algunos casos. En las prácticas activas de Biología Evolutiva y Microbiología se observan algunos sesgos de género, ya que las correlaciones positivas con algunas emociones positivas y negativas con algunas emociones negativas son mayores en hombres (en concreto alegría, confianza, satisfacción y entusiasmo en el año académico 2 de la práctica de Microbiología; entusiasmo y diversión en la práctica de Biología Evolutiva; nerviosismo y preocupación en el año académico 2 y frustración en el año académico 3 de la práctica de Microbiología; y preocupación en la práctica de Biología Evolutiva). Respecto a la práctica activa diseñada para

la enseñanza de Biología Celular, en esta se observan algunas diferencias significativas entre los coeficientes de correlación de hombres y mujeres en el año académico 3: las correlaciones entre algunas de las emociones positivas (en concreto alegría, confianza y satisfacción) y la nota del postest en hombres son negativas y significativamente distintas a las de las mujeres.

Respecto al análisis, en función del género, de las asociaciones entre emociones sentidas durante las prácticas activas de Biología Celular y Microbiología y el nivel de conocimientos de Biología a largo plazo (año académico 2), se observan algunas diferencias entre los coeficientes de correlación de hombres y mujeres (tabla 3.8). En concreto, para ambas prácticas activas, existe una interacción positiva entre la intensidad de satisfacción y la nota del retest que es solo significativa en hombres y cuyo coeficiente de correlación es distinto al de las mujeres. Los análisis revelan, además, algunas diferencias entre los coeficientes de correlación de ambos géneros (la correlación entre el entusiasmo y la nota del retest es más positiva en hombres en la práctica de Biología Celular, así como las asociaciones entre la diversión en la práctica de Biología Celular y el nerviosismo con la práctica de Microbiología son más negativas en hombres).

Finalmente, en relación al análisis, en función del género, de las correlaciones entre emociones y aprendizaje de Biología; no se observan, salvo alguna excepción, grandes diferencias entre los coeficientes de correlación de hombres y mujeres (tablas 3.9, 3.10 y 3.11). Aunque existen algunos coeficientes de correlación que son solo significativos en hombres o en mujeres, en la mayoría de los casos no existen diferencias significativas entre los coeficientes de correlación de ambos géneros. Incluso, en algunos de los casos en los que estas diferencias se observan, los coeficientes de correlación son mayores en hombres o en mujeres en distintos años académicos (como se observa con los coeficientes de correlación entre aprendizaje y emociones positivas para la práctica activa de Microbiología). Destaca, en el año académico 4 para la práctica activa de Biología Celular, una correlación positiva entre la frustración y el aprendizaje que es solo significativa en hombres y cuyo coeficiente de correlación es significativamente diferente al de las mujeres. Además, en el año académico 3, los coeficientes de correlación del aprendizaje con la alegría y la diversión son diferentes entre ambos géneros, siendo negativos para los hombres

#### **3.4.3.5 Discusión**

En líneas generales, teniendo en cuenta el conjunto de los resultados anteriormente expuestos, se han detectado asociaciones positivas entre la intensidad de algunas de las emociones positivas, experimentadas por los participantes durante el desarrollo de las prácticas activas, y el nivel de conocimientos de Biología posteriores a estas. Asimismo, los resultados revelan asociaciones negativas entre el nivel de conocimientos de Biología tras las prácticas activas y la intensidad de algunas emociones negativas. Estas correlaciones positivas y negativas entre

algunas emociones positivas y negativas y la nota del postest se observan también en las interacciones de las emociones con el nivel de conocimientos de Biología a largo plazo (sobre todo con la práctica activa de Microbiología). Respecto al aprendizaje de conceptos biológicos, teniendo en cuenta los resultados expuestos, se han detectado asociaciones positivas entre este y la intensidad de algunas de las emociones positivas; así como correlaciones negativas con algunas de las emociones negativas. Las emociones sentidas por los participantes, durante el desarrollo de las prácticas activas, que se asocian con el rendimiento académico (conocimiento de Biología posterior a las intervenciones y a largo plazo) y con el aprendizaje son distintas en los distintos años académicos en los que se implementan las prácticas activas. Sin embargo, se advierte una tendencia: asociaciones positivas con algunas de las emociones positivas y asociaciones negativas con algunas de las emociones negativas. Esta pauta común se observa al analizar las correlaciones del conocimiento de Biología y el aprendizaje con los factores asociados a las emociones, positivas y negativas, sentidas durante las prácticas activas. Como se muestra en apartado 3.4.5 de este capítulo, estas asociaciones quedan reflejadas en los modelos factoriales, en los que se observan las asociaciones de los factores de las emociones positivas y negativas con las notas del postest, del retest y con el aprendizaje de Biología.

Estos resultados indican que aquellos maestros en formación inicial participantes que han experimentado una mayor intensidad de algunas emociones positivas y una menor intensidad de algunas emociones negativas, con la implementación de las prácticas activas diseñadas en la presente Tesis Doctoral, son aquellos que tienen un mayor nivel de conocimientos de Biología tras las intervenciones y que han aprendido una mayor cantidad de conceptos biológicos. Estas observaciones coinciden con distintos estudios previos que han hallado asociaciones significativas entre el rendimiento académico (notas de una o varias asignaturas, notas de exámenes o de cuestionarios de conocimientos) y algunas emociones experimentadas por los alumnos de distintas etapas educativas (sobre todo negativas, principalmente la ansiedad) en dominios como las Matemáticas, la Física, la Química o los idiomas (Goetz *et al.*, 2007; Goetz y Hall, 2013; Gogol *et al.*, 2014; Lichtenfeld *et al.*, 2012; Ozel *et al.*, 2013; Pekrun *et al.*, 2011; Trigwell *et al.*, 2012). Sin embargo, no se disponen de estudios que aborden la interacción de otras emociones, sobre todo de las emociones positivas, con el rendimiento académico en ciencias (Murphy *et al.*, 2019), ni particularmente en Biología, como los resultados de esta investigación. Asimismo, tampoco se ha indagado en la asociación entre estas variables durante la enseñanza práctica activa de esta disciplina o con muestras de maestros en formación inicial.

La relación entre emociones y rendimiento académico ha puesto de manifiesto que el aprendizaje es un proceso tanto cognitivo como afectivo (Garritz, 2009; Hargreaves, 1998; Zembylas, 2007; Pintrich *et al.*, 1993): las emociones experimentadas durante los procesos de

enseñanza influyen en distintos procesos cognitivos como la memoria, la atención, la reflexión, la capacidad para resolver problemas... (Aydoğan *et al.*, 2015; Bradley, 2000; Carmona-Halty *et al.*, 2019; Chiang y Liu, 2014; Dolan 2002; Dunsmoor *et al.*, 2015; Fredrickson, 1998; Gu *et al.*, 2013; Kensinger y Corkin, 2004; Mega *et al.*, 2014; Pessoa, 2008; Ranellucci *et al.*, 2015; Tyng *et al.*, 2017); y afectan a los resultados de aprendizaje alcanzados por los alumnos. Sin embargo, a diferencia de las investigaciones previas sobre el papel de las emociones académicas, los resultados de este apartado revelan asociaciones, no sólo con el rendimiento académico o nivel de conocimientos posteriores, sino también con el conocimiento de Biología adquirido tras la implementación de prácticas activas. En definitiva, estos resultados revelan una asociación de las emociones académicas con el aprendizaje logrado por los alumnos con la enseñanza práctica activa de Biología.

De manera general, las investigaciones anteriormente citadas han mostrado que las emociones positivas se asocian positivamente con los resultados de aprendizaje mientras que las emociones negativas lo hacen negativamente (Pekrun, 2014). Este patrón se observa en los resultados de esta investigación. Sin embargo, de acuerdo con dichos resultados, esta relación de las emociones positivas y negativas con el rendimiento académico y con el aprendizaje no se produce siempre. En ocasiones, algunas emociones positivas se asocian negativamente con estas variables (como se observa en la correlación negativa, detectada en hombres, entre la alegría y la nota del postest en la práctica activa de Biología Celular en el año académico 3); al igual que algunas emociones negativas se asocian positivamente (como la correlación positiva detectada en hombres entre la intensidad de frustración y el aprendizaje de Biología Celular en el año académico 4). Es decir, las emociones pueden facilitar o perjudicar el rendimiento académico y el aprendizaje, y eso no depende solo de su valencia (positiva o negativa); sino también de otros factores como su efecto respecto a la activación (que sean emociones estimulantes o depresoras), su intensidad o que dichas emociones estén causadas por los procesos de enseñanza-aprendizaje (contenidos abordados, actividades planteadas, metodologías implementadas...), y no por otros factores (Pekrun *et al.*, 2002; Phelps, 2006; Tyng *et al.*, 2017). Este hecho se explica por el efecto de las emociones en los niveles de atención (Pekrun, 2014). En ocasiones, un exceso de emociones positivas, o de emociones positivas no relacionadas con el proceso de enseñanza-aprendizaje, puede contribuir a disminuir los niveles de atención de los alumnos y, por tanto, relacionarse negativamente con el rendimiento académico (Gable y Harmon-Jones, 2008). De modo análogo, una determinada intensidad de algunas emociones negativas estimulantes (como el nerviosismo, la preocupación...), relacionada con los procesos de enseñanza, puede aumentar los niveles de atención de los alumnos y relacionarse positivamente con el rendimiento académico (Artino y Jones, 2012; D'Mello *et al.*, 2014; Pekrun, 2006; Tyng *et al.*, 2017).



Los resultados obtenidos concuerdan, además, con investigaciones que han mostrado que la información emocional se recuerda mejor que la información neutra (Dunsmoor *et al.*, 2015; Sylwester, 1994). Las correlaciones positivas encontradas entre la intensidad de algunas emociones positivas y las variables analizadas (conocimiento de Biología posterior, conocimiento de Biología a largo plazo y aprendizaje de Biología) se ajustan a trabajos previos que han revelado que una activación de las emociones positivas puede dar lugar a mejores resultados de aprendizaje (Fredrickson, 1998; Kensinger y Corkin, 2004; Pessoa, 2008; Tyng *et al.*, 2017), ya que estas provocan en la amígdala una excitación que mejora la memoria.

Las asociaciones detectadas entre emociones, conocimiento de Biología y aprendizaje no permiten establecer una relación causa-efecto; pero sugieren que las emociones experimentadas por los alumnos durante las prácticas activas implementadas mejoran el aprendizaje, que el aprendizaje obtenido durante dichas prácticas activas estimula a las emociones, o que ambos fenómenos ocurren a la vez. Esto último es plausible, dado que se han detectado relaciones bidireccionales entre los dominios cognitivos y afectivo: el dominio afectivo configura al dominio cognitivo y viceversa (Eldar y Niv, 2015). El aprendizaje podría haber sido provocado, por tanto, bien a través de la relación que tienen las actividades excitantes con procesos cognitivos como la memoria (Kensinger y Corkin, 2004) y la atención (Aydogan *et al.*, 2015), o bien a través de la relación entre las emociones positivas y la modulación de la motivación (Bradley, 2000). En consecuencia, se requieren futuras investigaciones con las que profundizar en la causalidad dentro de las interacciones emociones-aprendizaje. Con todo, los resultados revelan que existe una asociación significativa entre ambas variables cognitivas y afectivas durante la enseñanza activa de la Biología a maestros en formación inicial. Esta asociación entre emociones y aprendizaje concuerda con el papel evolutivo de las emociones (Damasio, 2010).

#### **3.4.4 Análisis de las relaciones entre las emociones anticipatorias ante las prácticas activas de Biología, el conocimiento de Biología y el aprendizaje de Biología**

El análisis de los resultados refleja la existencia de interacciones entre las emociones anticipatorias de los futuros maestros, previas a las prácticas activas de Biología, y el nivel de conocimientos de Biología posteriores su implementación (nota del postest) (tablas 3.12, 3.13 y 3.14). Asimismo se observan interacciones de dichas emociones anticipatorias con el nivel de conocimientos de Biología a largo plazo (tabla 3.15), estimado mediante un retest en el año académico 2; y con el aprendizaje de conceptos biológicos (entendido como los conocimientos adquiridos con la realización de las prácticas activas, y calculando este como la diferencia entre la nota del postest y la nota del pretest en un subconjunto de datos de la muestra que está en o por debajo del percentil 75 del pretest) (tablas 3.16, 3.17 y 3.18).

### 3.4.4.1 Análisis de las interacciones entre las emociones anticipatorias a las prácticas activas de Biología y el conocimiento posterior de Biología

Respecto a la práctica activa de Biología Celular, los análisis de correlación de Spearman reflejan que la expectativa previa de algunas emociones negativas está relacionada con los conocimientos de Biología posteriores a su realización, concretamente la frustración en el año académico 3 y el aburrimiento en el año académico 4 (tabla 3.12). No se detectan asociaciones significativas entre la nota del posttest y la expectativa de ninguna de las emociones positivas analizadas.

**Tabla 3.12.** Coeficientes de correlación de la intensidad de las emociones anticipatorias previas a la implementación de la práctica activa diseñada para la enseñanza de Biología Celular con el nivel de conocimientos de Biología posteriores a su implementación (nota del posttest) durante los años académicos 2, 3 y 4. En negrita se resaltan las correlaciones significativas (Correlación de Spearman, \*p-valor<0,05). En sombreado se señalan las diferencias significativas entre los coeficientes de correlación de hombres y mujeres, calculadas mediante remuestreo o *bootstrapping*.

Año académico 2			
Emociones anticipatorias previas a la implementación de la práctica activa de Biología Celular	Coeficiente de correlación con la nota del posttest		
	Total	M	H
Alegría	0,024	0,045	0,008
Confianza	-0,048	-0,128	0,130
Satisfacción	-0,003	0,001	0,112
Entusiasmo	0,062	-0,034	<b>0,260*</b>
Diversión	0,017	-0,047	-0,008
Nerviosismo	-0,019	0,085	-0,205
Aburrimiento	-0,082	-0,093	-0,117
Frustración	0,082	0,167	-0,096
Preocupación	0,013	-0,015	0,051
Incertidumbre	-0,077	0,016	-0,208
Año académico 3			
Alegría	-0,138	-0,088	-0,187
Confianza	0,014	0,046	-0,108
Satisfacción	0,004	0,017	0,009
Entusiasmo	0,034	0,040	0,041
Diversión	-0,148	-0,138	-0,158
Nerviosismo	-0,034	-0,039	-0,053
Aburrimiento	-0,060	-0,115	0,191
Frustración	<b>-0,152*</b>	<b>-0,233*</b>	-0,019
Preocupación	0,003	-0,118	0,014
Incertidumbre	0,016	0,028	0,029
Año académico 4			
Alegría	0,048	0,080	-0,020
Confianza	0,026	-0,056	0,156
Satisfacción	0,061	-0,001	0,193
Entusiasmo	0,069	0,057	0,072
Diversión	0,077	0,094	0,006
Nerviosismo	-0,138	-0,170	-0,054
Aburrimiento	<b>-0,187*</b>	-0,231	-0,029
Frustración	0,092	0,173	-0,044
Preocupación	0,126	0,099	0,192
Incertidumbre	-0,073	-0,053	-0,075

En relación a la práctica activa de Microbiología, los resultados reflejan que la expectativa previa de algunas emociones positivas se asocia positivamente con el nivel de conocimientos de Biología posteriores (tabla 3.13): la alegría (años académicos 2 y 4), el entusiasmo (años académicos 2 y 3), la confianza y la diversión (año académico 2). Además, se observan asociaciones, mayoritariamente negativas, entre el conocimiento posterior y algunas emociones anticipatorias negativas: nerviosismo y frustración (año académico 2), preocupación (años académicos 2 y 3) y aburrimiento (años académicos 3 y 4). Asimismo, en el año académico 4, se detecta una correlación positiva entre la intensidad previa de nerviosismo y la nota del postest.

**Tabla 3.13.** Coeficientes de correlación de la intensidad de las emociones anticipatorias previas a la implementación de la práctica activa diseñada para la enseñanza de Microbiología con el nivel de conocimientos de Biología posteriores a su implementación (nota del postest) durante los años académicos 2 ,3 y 4. En negrita se resaltan las correlaciones significativas (Correlación de Spearman, \*\*p-valor<0,01, \*p-valor<0,05). En sombreado se señalan las diferencias significativas entre los coeficientes de correlación de hombres y mujeres, calculadas mediante remuestreo o *bootstrapping*.

<i>Año académico 2</i>			
<i>Emociones anticipatorias previas a la implementación de la práctica activa de Microbiología</i>	<i>Coefficiente de correlación con la nota del postest</i>		
	<i>Total</i>	<i>M</i>	<i>H</i>
<i>Alegría</i>	<b>0,260**</b>	0,172	<b>0,413**</b>
<i>Confianza</i>	<b>0,252**</b>	<b>0,218*</b>	0,262
<i>Satisfacción</i>	0,121	0,049	0,165
<i>Entusiasmo</i>	<b>0,225**</b>	0,194	<b>0,332*</b>
<i>Diversión</i>	<b>0,249**</b>	<b>0,243*</b>	0,256
<i>Nerviosismo</i>	<b>-0,172*</b>	-0,165	-0,193
<i>Aburrimiento</i>	-0,139	<b>-0,269**</b>	-0,161
<i>Frustración</i>	<b>-0,167*</b>	-0,191	-0,153
<i>Preocupación</i>	<b>-0,228**</b>	-0,160	<b>-0,340*</b>
<i>Incertidumbre</i>	0,012	0,020	-0,028
<i>Año académico 3</i>			
<i>Alegría</i>	0,160	<b>0,224*</b>	0,033
<i>Confianza</i>	0,089	<b>0,258*</b>	-0,238
<i>Satisfacción</i>	0,035	-0,013	0,129
<i>Entusiasmo</i>	<b>0,166*</b>	0,186	0,092
<i>Diversión</i>	0,078	0,056	0,068
<i>Nerviosismo</i>	0,010	-0,064	0,120
<i>Aburrimiento</i>	<b>-0,168*</b>	-0,127	-0,235
<i>Frustración</i>	<b>-0,196*</b>	-0,199	-0,194
<i>Preocupación</i>	-0,011	0,043	-0,204
<i>Incertidumbre</i>	-0,080	-0,023	-0,170
<i>Año académico 4</i>			
<i>Alegría</i>	<b>0,249*</b>	<b>0,423**</b>	0,030
<i>Confianza</i>	0,101	0,077	0,158
<i>Satisfacción</i>	0,105	<b>0,273*</b>	-0,065
<i>Entusiasmo</i>	0,126	<b>0,299*</b>	-0,124
<i>Diversión</i>	0,185	<b>0,332*</b>	-0,036
<i>Nerviosismo</i>	<b>0,211*</b>	<b>0,288*</b>	0,123
<i>Aburrimiento</i>	<b>-0,276**</b>	<b>-0,316*</b>	-0,174
<i>Frustración</i>	-0,183	-0,188	-0,102
<i>Preocupación</i>	-0,105	-0,156	-0,021
<i>Incertidumbre</i>	0,040	0,151	-0,078

Respecto a la práctica activa de Biología Evolutiva, los resultados de su implementación, durante el año académico 5, muestran una asociación negativa entre la expectativa de frustración y el conocimiento posterior de Biología (tabla 3.14).

**Tabla 3.14.** Coeficientes de correlación de la intensidad de las emociones anticipatorias previas a la implementación de la práctica activa diseñada para la enseñanza de Biología Evolutiva con el nivel de conocimientos de Biología posteriores a su implementación (nota del postest) durante el año académico 5. En negrita se resaltan las correlaciones significativas (Correlación de Spearman, \*\*p-valor<0,01, \*p-valor<0,05). En sombreado se señalan las diferencias significativas entre los coeficientes de correlación de hombres y mujeres, calculadas mediante remuestreo o *bootstrapping*.

<i>Emociones anticipatorias previas a la implementación de la práctica activa de Biología Evolutiva</i>	<i>Coefficiente de correlación con la nota del postest</i>		
	<i>Total</i>	<i>M</i>	<i>H</i>
<i>Alegría</i>	0,090	0,077	0,116
<i>Confianza</i>	0,035	0,093	-0,140
<i>Satisfacción</i>	0,062	0,069	-0,049
<i>Entusiasmo</i>	0,040	0,067	-0,074
<i>Diversión</i>	0,089	0,124	-0,098
<i>Nerviosismo</i>	-0,145	-0,077	-0,246
<i>Aburrimiento</i>	-0,160	-0,063	<b>-0,330*</b>
<i>Frustración</i>	<b>-0,225**</b>	-0,178	<b>-0,300*</b>
<i>Preocupación</i>	-0,059	-0,041	-0,072
<i>Incertidumbre</i>	-0,118	-0,032	-0,279

### 3.4.4.2 Análisis de las interacciones entre las emociones anticipatorias a las prácticas activas de Biología y el conocimiento de Biología a largo plazo

El análisis de las interacciones entre la intensidad de las emociones anticipatorias previas a las prácticas activas de Biología Celular y Microbiología (año académico 2) y el nivel de conocimientos de Biología a largo plazo (nota del retest) muestra algunas asociaciones entre ambas variables (tabla 3.15).

Respecto a la práctica activa de Biología Celular, a pesar de que en los análisis del conocimiento posterior de Biología no se observan asociaciones con la intensidad de ninguna emoción anticipatoria positiva (tabla 3.12), estas sí que se asocian con el conocimiento de Biología a largo plazo. De este modo, se observan correlaciones positivas entre la nota del retest y la intensidad de todas las emociones positivas analizadas: alegría, confianza, entusiasmo, satisfacción y diversión.

Respecto a la práctica activa de Microbiología, las asociaciones detectadas entre el conocimiento posterior de Biología y algunas emociones anticipatorias positivas y negativas (tabla 3.13) se observan también al analizar las interacciones con el conocimiento de Biología a largo plazo. En concreto, se detectan correlaciones positivas entre la nota del retest y las

intensidades esperadas de alegría y entusiasmo, así como una correlación negativa entre la expectativa de aburrimiento y la nota del retest.

**Tabla 3.14.** Coeficientes de correlación de la intensidad de las emociones anticipatorias previas a la implementación de las prácticas activas diseñadas para la enseñanza de Biología Celular y Microbiología con el nivel de conocimiento acerca de ambas disciplinas biológicas a largo plazo (nota del retest) durante el año académico 2. En negrita se resaltan las correlaciones significativas (Correlación de Spearman, \*\*\*p-valor<0,001; \*\*p-valor<0,01, \*p-valor<0,05). En sombreado se señalan las diferencias significativas entre los coeficientes de correlación de hombres y mujeres, calculadas mediante remuestreo o *bootstrapping*.

Año académico 2			
Emociones anticipatorias previas a la implementación de la práctica activa de Biología Celular	Coeficiente de correlación con la nota del retest		
	Total	M	H
Alegría	<b>0,332**</b>	0,190	<b>0,592***</b>
Confianza	<b>0,315**</b>	<b>0,272*</b>	<b>0,377*</b>
Satisfacción	<b>0,331**</b>	0,224	<b>0,488**</b>
Entusiasmo	<b>0,405***</b>	<b>0,361**</b>	<b>0,473**</b>
Diversión	<b>0,327**</b>	<b>0,391**</b>	0,224
Nerviosismo	-0,069	0,008	-0,146
Aburrimiento	-0,057	-0,024	-0,155
Frustración	-0,070	0,009	-0,222
Preocupación	-0,112	0,120	<b>-0,483**</b>
Incertidumbre	0,111	0,233	-0,074
Emociones anticipatorias previas a la implementación de la práctica activa de Microbiología	Coeficiente de correlación con la nota del retest		
	Total	M	H
Alegría	<b>0,203*</b>	0,027	<b>0,387*</b>
Confianza	0,078	-0,058	0,170
Satisfacción	0,169	0,130	0,199
Entusiasmo	<b>0,268**</b>	<b>0,263*</b>	<b>0,348*</b>
Diversión	0,161	0,072	0,258
Nerviosismo	0,076	0,215	-0,138
Aburrimiento	<b>-0,198*</b>	<b>-0,287*</b>	-0,272
Frustración	0,083	0,175	-0,101
Preocupación	-0,058	0,073	-0,267
Incertidumbre	0,076	0,226	-0,130

### 3.4.4.3 Análisis de las interacciones entre las emociones anticipatorias a las prácticas activas de Biología y el aprendizaje de Biología

Respecto a la práctica activa de Biología Celular, solo se observa una correlación negativa entre la expectativa de frustración y el aprendizaje de Biología en el año académico 4 (tabla 3.16).

**Tabla 3.16.** Coeficientes de correlación de la intensidad de las emociones anticipatorias previas a la implementación de la práctica activa diseñada para la enseñanza de Biología Celular con el aprendizaje de Biología Celular (calculado como la diferencia entre la nota del postest y la nota del pretest en un subconjunto de datos de la muestra que está en o por debajo del percentil 75 del pretest) durante los años académicos 3 y 4. En negrita se resaltan las correlaciones significativas (Correlación de Spearman, \*p-valor<0,05). En sombreado se señalan las diferencias significativas entre los coeficientes de correlación de hombres y mujeres, calculadas mediante remuestreo o *bootstrapping*.

<i>Año académico 3</i>			
<i>Emociones anticipatorias previas a la implementación de la práctica activa de Biología Celular</i>	<i>Coefficiente de correlación con el aprendizaje de Biología Celular</i>		
	<i>Total</i>	<i>M</i>	<i>H</i>
<i>Alegría</i>	-0,106	0,009	-0,244
<i>Confianza</i>	-0,008	-0,057	0,050
<i>Satisfacción</i>	-0,002	0,061	-0,068
<i>Entusiasmo</i>	-0,074	-0,003	-0,135
<i>Diversión</i>	-0,175	-0,191	-0,109
<i>Nerviosismo</i>	-0,032	0,111	-0,250
<i>Aburrimiento</i>	-0,034	-0,040	-0,044
<i>Frustración</i>	<b>-0,205*</b>	<b>-0,258*</b>	-0,133
<i>Preocupación</i>	0,026	-0,023	0,076
<i>Incertidumbre</i>	0,068	0,088	0,062
<i>Año académico 4</i>			
<i>Alegría</i>	-0,138	-0,066	-0,320
<i>Confianza</i>	-0,026	-0,087	0,073
<i>Satisfacción</i>	-0,010	-0,042	0,034
<i>Entusiasmo</i>	-0,068	-0,030	-0,235
<i>Diversión</i>	-0,027	-0,017	-0,065
<i>Nerviosismo</i>	-0,161	-0,186	-0,083
<i>Aburrimiento</i>	-0,009	-0,035	0,037
<i>Frustración</i>	-0,056	-0,090	0,052
<i>Preocupación</i>	0,074	0,094	0,067
<i>Incertidumbre</i>	0,130	0,175	0,066

En relación a la práctica activa de Microbiología, los análisis de correlación de Spearman revelan que el aprendizaje de Biología se asocia con la intensidad previa de algunas emociones (tabla 3.17). En relación a las emociones anticipatorias positivas, algunas de ellas se asocian positivamente con el aprendizaje, en concreto: alegría (año académico 4), entusiasmo (año académico 3) y diversión (año académico 2). Además, el análisis muestra una asociación negativa entre el aprendizaje de Biología y las expectativas de frustración y aburrimiento en el año académico 4. En este mismo año académico se observa, asimismo, una correlación positiva entre el aprendizaje de Biología y la expectativa de nerviosismo.

**Tabla 3.17.** Coeficientes de correlación de la intensidad de las emociones anticipatorias previas a la implementación de la práctica activa diseñada para la enseñanza de Microbiología con el aprendizaje de Microbiología (calculado como la diferencia entre la nota del postest y la nota del pretest en un subconjunto de datos de la muestra que está en o por debajo del percentil 75 del pretest) durante los años académicos 2, 3 y 4. En negrita se resaltan las correlaciones significativas (Correlación de Spearman, \*\*p-valor<0,01, \*p-valor<0,05). En sombreado se señalan las diferencias significativas entre los coeficientes de correlación de hombres y mujeres, calculadas mediante remuestreo o *bootstrapping*.

<i>Año académico 2</i>			
<i>Emociones anticipatorias previas a la implementación de la práctica activa de Microbiología</i>	<i>Coefficiente de correlación con el aprendizaje de Microbiología</i>		
	<i>Total</i>	<i>M</i>	<i>H</i>
<i>Alegría</i>	0,076	-0,053	<b>0,400*</b>
<i>Confianza</i>	-0,125	-0,106	-0,146
<i>Satisfacción</i>	0,015	-0,012	0,070
<i>Entusiasmo</i>	0,156	0,094	<b>0,306*</b>
<i>Diversión</i>	<b>0,186*</b>	0,160	0,265
<i>Nerviosismo</i>	0,094	0,138	0,009
<i>Aburrimiento</i>	-0,101	-0,218	0,169
<i>Frustración</i>	-0,042	-0,013	-0,112
<i>Preocupación</i>	-0,043	0,013	-0,155
<i>Incertidumbre</i>	0,161	0,156	0,158
<i>Año académico 3</i>			
<i>Alegría</i>	0,128	0,166	0,101
<i>Confianza</i>	0,133	<b>0,285*</b>	-0,182
<i>Satisfacción</i>	0,109	0,106	0,187
<i>Entusiasmo</i>	<b>0,227*</b>	0,208	0,259
<i>Diversión</i>	0,190	0,209	0,218
<i>Nerviosismo</i>	-0,148	-0,139	-0,074
<i>Aburrimiento</i>	<b>-0,241*</b>	<b>-0,283*</b>	-0,163
<i>Frustración</i>	-0,183	<b>-0,244*</b>	-0,020
<i>Preocupación</i>	-0,043	-0,010	-0,224
<i>Incertidumbre</i>	0,002	0,020	-0,078
<i>Año académico 4</i>			
<i>Alegría</i>	<b>0,187*</b>	<b>0,391**</b>	-0,065
<i>Confianza</i>	0,016	0,042	0,007
<i>Satisfacción</i>	0,084	<b>0,314*</b>	-0,185
<i>Entusiasmo</i>	0,040	0,189	-0,162
<i>Diversión</i>	0,074	0,242	-0,187
<i>Nerviosismo</i>	<b>0,242*</b>	<b>0,306*</b>	0,190
<i>Aburrimiento</i>	<b>-0,228*</b>	<b>-0,292*</b>	-0,083
<i>Frustración</i>	<b>-0,196*</b>	-0,154	-0,217
<i>Preocupación</i>	-0,092	-0,191	0,093
<i>Incertidumbre</i>	0,128	0,200	0,094

Respecto a la práctica activa de Biología Evolutiva, el análisis de los resultados de su implementación (tabla 3.18) muestra asociaciones positivas entre algunas emociones anticipatorias positivas (en concreto alegría y satisfacción) y el aprendizaje de Biología, así como correlaciones negativas entre este y la intensidad de algunas emociones anticipatorias negativas (concretamente nerviosismo y aburrimiento).

**Tabla 3.18.** Coeficientes de correlación de la intensidad de las emociones anticipatorias previas a la implementación de la práctica activa diseñada para la enseñanza de Biología Evolutiva con el aprendizaje de conceptos evolutivos (calculado como la diferencia entre la nota del postest y la nota del pretest en un subconjunto de datos de la muestra que está en o por debajo del percentil 75 del pretest) durante el año académico 5 (N=106). En negrita se resaltan las correlaciones significativas (Correlación de Spearman, \*\*p-valor<0,01, \*p-valor<0,05). En sombreado se señalan las diferencias significativas entre los coeficientes de correlación de hombres y mujeres, calculadas mediante remuestreo o *bootstrapping*.

<i>Emociones anticipatorias previas a la implementación de la práctica activa de Biología Evolutiva</i>	<i>Coefficiente de correlación con el aprendizaje de Biología Evolutiva</i>		
	<i>Total</i>	<i>M</i>	<i>H</i>
<i>Alegría</i>	<b>0,242*</b>	<b>0,389**</b>	-0,161
<i>Confianza</i>	0,163	<b>0,227*</b>	-0,319
<i>Satisfacción</i>	<b>0,235*</b>	0,209	-0,021
<i>Entusiasmo</i>	0,097	0,181	-0,338
<i>Diversión</i>	0,182	0,186	<b>-0,401*</b>
<i>Nerviosismo</i>	<b>-0,263**</b>	-0,181	-0,031
<i>Aburrimiento</i>	<b>-0,273**</b>	-0,144	-0,238
<i>Frustración</i>	-0,176	-0,032	-0,128
<i>Preocupación</i>	-0,117	-0,065	0,089
<i>Incertidumbre</i>	-0,127	-0,044	-0,061

#### **3.4.4.4 Estudio, en función del género, de las asociaciones de las emociones anticipatorias previas a las prácticas activas de Biología con el conocimiento y el aprendizaje de Biología**

El análisis, en función del género, de las interacciones entre las emociones anticipatorias previas a la implementación de las prácticas activas de Biología y el nivel de conocimientos de Biología posteriores a su realización no revela resultados concluyentes (tablas 3.12, 3.13 y 3.14). Estos análisis muestran correlaciones significativas solo en hombres, solo en mujeres, o en ambos géneros; pero solo se observan diferencias significativas entre los coeficientes de correlación de hombres y mujeres en algunos casos. Sin embargo, en ocasiones los coeficientes de correlación son mayores en hombres (confianza y entusiasmo en el año académico 2 para la práctica de Biología Celular; alegría en el año académico 2 para la práctica de Microbiología; nerviosismo, frustración e incertidumbre en el año académico 2 para la práctica de Biología Celular; y preocupación en el año académico 3 para la práctica de Microbiología) y otras veces en mujeres (confianza en el año académico 3 y alegría, satisfacción, entusiasmo y diversión en el año académico 4 para la práctica de Microbiología; aburrimiento en el año académico 3 para la



práctica de Biología Celular; y aburrimiento e incertidumbre en la práctica de Biología Evolutiva).

Respecto al análisis, en función del género, de las asociaciones entre las emociones anticipatorias y el conocimiento de Biología a largo plazo, se observan algunas diferencias entre los coeficientes de correlación de hombres y mujeres (tabla 3.15). En concreto, se observan, solo en hombres, correlaciones positivas, significativamente diferentes a las de las mujeres, entre la expectativa de algunas emociones positivas y la nota del retest (alegría para ambas prácticas activas y satisfacción para la práctica activa de Biología Celular). En relación a las interacciones con las emociones negativas, los resultados revelan, solo en hombres y en la práctica activa de Biología Celular, una correlación negativa significativamente diferente a la de las mujeres entre la expectativa de preocupación y la nota del retest. Además, los coeficientes de correlación entre la intensidad esperada de algunas emociones negativas y la nota del retest son más negativos en hombres (incertidumbre para la práctica activa de Biología Celular; y nerviosismo, frustración, preocupación e incertidumbre para la práctica activa de Microbiología).

Finalmente, el análisis, en función del género, de las asociaciones entre las emociones anticipatorias y el aprendizaje de Biología (tablas 3.16, 3.17 y 3.18) muestra correlaciones significativas en hombres, en mujeres o en ambos; pero solo se observan diferencias significativas entre los coeficientes de correlación de ambos géneros en algunos casos. En relación a las emociones positivas, de manera mayoritaria, su expectativa correlaciona más intensamente con el aprendizaje de Biología de las mujeres (confianza en el año académico 2 para la práctica de Microbiología; alegría, satisfacción, entusiasmo y diversión en el año académico 3 para la práctica de Microbiología; y alegría, confianza y entusiasmo en la práctica de Biología Evolutiva). Sin embargo, esto también se observa en hombres (alegría y entusiasmo en el año académico 2 para la práctica de Microbiología). Además, destacan correlaciones más negativas entre la intensidad esperada de algunas emociones positivas y el aprendizaje de Biología en hombres (alegría en el año académico 1 de la práctica de Biología Celular y diversión en la práctica de Biología Evolutiva).

#### **3.4.4.5 Discusión**

En líneas generales, teniendo en cuenta el conjunto de los resultados anteriormente expuestos, se han detectado asociaciones positivas entre la intensidad de algunas emociones anticipatorias positivas y el nivel de conocimientos de Biología posteriores a las prácticas activas, así como asociaciones principalmente negativas entre este y algunas emociones anticipatorias negativas. Además, destaca, en el año académico 4 para la práctica activa de Biología Celular, una asociación positiva entre la expectativa de nerviosismo y la nota del postest. Las asociaciones

detectadas entre las emociones anticipatorias y el conocimiento posterior de Biología también se observan al analizar las interacciones con el nivel de conocimientos de Biología a largo plazo: asociaciones positivas entre algunas emociones anticipatorias positivas y la nota del retest, y asociaciones negativas entre estos y algunas emociones anticipatorias negativas. Respecto al aprendizaje de Biología, se han detectado asociaciones significativas entre este y algunas emociones anticipatorias, tanto positivas como negativas. De manera general, se observan asociaciones positivas con algunas emociones positivas y negativas con algunas emociones negativas; aunque esto no es siempre así (correlación positiva entre la expectativa de nerviosismo y el aprendizaje de Microbiología en el año académico 4).

Las emociones anticipatorias que se asocian con el rendimiento académico (conocimiento de Biología posterior a las intervenciones y a largo plazo) y con el aprendizaje son distintas en los distintos años académicos y en función de las prácticas activas implementadas. Sin embargo, se advierte una tendencia general: asociaciones positivas de estas variables con algunas emociones anticipatorias positivas y asociaciones negativas con algunas emociones anticipatorias negativas. Esta tendencia se observa al analizar las correlaciones del conocimiento de Biología y el aprendizaje con los factores asociados a las emociones anticipatorias positivas y negativas. Como se muestra en apartado 3.4.5 de este capítulo, estas asociaciones quedan reflejadas en los modelos factoriales, en los que se observan las asociaciones de los factores de las emociones anticipatorias, positivas y negativas, con las notas del posttest y retest y con el aprendizaje de Biología.

Estos resultados indican que la expectativa de algunas emociones, que los futuros maestros participantes esperan sentir ante la implementación de las prácticas activas de Biología diseñadas en la presente Tesis Doctoral, está relacionada con el rendimiento académico y con el aprendizaje de conceptos de Biología alcanzado tras las intervenciones. En base a los resultados obtenidos, se establecen asociaciones mayoritariamente positivas entre estos y las expectativas de algunas emociones positivas; así como asociaciones mayoritariamente negativas con la expectativa de algunas emociones negativas. Estos resultados concuerdan con distintos estudios previos (Pekrun *et al.*, 2002; Pekrun *et al.*, 2017; Ruthig *et al.*, 2008; Villavicencio y Bernardo, 2013) que han mostrado que una alta intensidad de emociones anticipatorias positivas (entusiasmo, orgullo e ilusión) predice buenos resultados de aprendizaje. Por otro lado, los resultados obtenidos concuerdan con otras investigaciones previas (Pekrun *et al.*, 2010; Pekrun *et al.*, 2017; Steinmayr *et al.*, 2016) que han mostrado que una alta intensidad de emociones anticipatorias negativas (como el aburrimiento o la preocupación) predice malos resultados de aprendizaje.

El valor predictivo de las emociones negativas se observa en las asociaciones con el conocimiento de Biología y con el aprendizaje de Biología en las tres prácticas activas, aunque no siempre es negativo para todas las emociones negativas. Concretamente, la expectativa de nerviosismo se asocia positivamente con el aprendizaje de conceptos biológicos (en el caso de la práctica activa de Microbiología). Como afirma Pekrun (2014), las asociaciones entre las emociones negativas y el aprendizaje no son siempre negativas; pudiendo establecerse interacciones positivas con la intensidad de algunas emociones negativas estimulantes, como el nerviosismo. Como ya se ha indicado previamente a lo largo de este capítulo, el papel de las emociones no es unidireccional: un poco de nerviosismo puede favorecer el aprendizaje (Tyng *et al.*, 2017). Esta relación positiva entre el nerviosismo y el aprendizaje puede explicarse por el efecto de las emociones en la atención: una determinada intensidad de nerviosismo ante una actividad, puede aumentar la atención de los estudiantes durante su desarrollo, favoreciendo el aprendizaje. Esto mismo puede aplicarse para la asociación negativa detectada, en hombres, entre la expectativa de diversión y el aprendizaje de Biología Evolutiva. Se precisan, por tanto, futuros estudios con los que ahondar en el valor predictivo de las emociones anticipatorias en el aprendizaje.

### **3.4.5 Modelos sobre las interacciones entre los factores asociados a las emociones, el conocimiento de Biología y el aprendizaje de Biología**

En los apartados anteriores (apartados 3.4.2, 3.4.3 y 3.4.4) se ha mostrado la existencia de asociaciones significativas entre algunas emociones individuales (tanto positivas como negativas) y los conocimientos de Biología de los participantes (previos y posteriores a las intervenciones, así como adquiridos con estas). Sin embargo, no se observan pautas claras de asociación para cada emoción individual dado que, según la práctica activa implementada y el año académico analizado, se encuentran asociaciones diferentes entre las distintas emociones individuales y el conocimiento de Biología. No obstante, sí se observa, de forma consistente, que las emociones positivas individuales (tanto anticipatorias como experimentadas con las actividades) correlacionan positivamente con el conocimiento de Biología (conocimiento previo, conocimiento posterior y aprendizaje); y que las emociones negativas individuales (tanto anticipatorias como experimentadas con las actividades) correlacionan negativamente con estas variables. Estas observaciones sugieren que los factores latentes que resultan de las emociones positivas y negativas, tanto anticipatorias como sentidas con las prácticas activas, podrían estar asociados con el conocimiento previo, el conocimiento posterior y el aprendizaje.

El análisis de estas asociaciones indica que existen correlaciones entre los factores asociados a las emociones positivas y a las emociones negativas y los conocimientos previos (nota del pretest), los conocimientos posteriores (o rendimiento académico, nota del postest) y el

aprendizaje (conocimientos adquiridos con las prácticas activas, calculado como la diferencia entre la nota del postest y la nota del pretest en un subconjunto de datos que está en o por debajo del percentil 75 del pretest) (figuras 3.2, 3.3 y 3.4).

### **3.4.5.1 Papel de las emociones anticipatorias de los maestros en formación inicial ante la enseñanza práctica de Biología**

#### ***3.4.5.1.1 Análisis del valor predictivo del conocimiento previo de Biología de Educación Secundaria de los maestros en formación inicial en sus emociones anticipatorias***

Las emociones anticipatorias son una expresión del grado de atracción (valencia positiva) o repulsión (valencia negativa) de los participantes hacia una actividad a realizar. Para analizar hasta qué punto las emociones anticipatorias de los futuros maestros están determinadas por su nivel de conocimientos previos del tema de la actividad a realizar (objetivo específico 3.3), se analizan las correlaciones entre los factores correspondientes a las emociones anticipatorias positivas y negativas y el conocimiento previo de Biología de Educación Secundaria (nota del pretest). En el 50 % de los experimentos realizados se observa una correlación negativa entre el nivel de conocimientos previos y las emociones anticipatorias negativas. Concretamente, esta asociación se observa:

- En la práctica activa de Biología Celular en los años académicos 1 y 3 (figura 3.2).
- En la práctica activa de Microbiología en el año académico 2 (figura 3.3).
- En la práctica activa de Biología Evolutiva, implementada en el año académico 5 (figura 3.4).

Estos resultados indican que, con frecuencia, los maestros en formación inicial con un nivel menor de conocimientos de Biología de Educación Secundaria, sienten, ante la perspectiva de realizar una práctica de Biología, más emociones negativas. Este resultado concuerda con las correlaciones negativas detectadas para emociones anticipatorias negativas a nivel individual en el apartado 3.4.2 de este capítulo (tablas 3.2, 3.3 y 3.4); así como con las referencias incluidas en el mismo, que señalan el valor predictivo de un mal rendimiento académico pasado en las emociones académicas hacia actividades del presente.

#### ***3.4.5.1.2 Análisis del valor predictivo de las emociones anticipatorias de los maestros en formación inicial en el conocimiento de Biología y el aprendizaje de Biología***

Para indagar en el valor predictivo de las emociones anticipatorias de los futuros maestros en su rendimiento académico (conocimiento de Biología posterior a las intervenciones y a largo plazo) y en el aprendizaje de Biología alcanzado tras la implementación de las prácticas activas (objetivo específico 3.7), se analizan las correlaciones de los factores correspondientes a las emociones anticipatorias positivas y negativas con el conocimiento de Biología posterior (nota

del postest), a largo plazo (nota del retest) y con el aprendizaje (calculando como la diferencia entre la nota del postest y la nota del pretest en aquella parte de la muestra que está en o por debajo del percentil 75 del pretest).

Se observan las siguientes asociaciones:

- En el 42,86 % de los experimentos realizados se observan correlaciones positivas entre el factor de las emociones anticipatorias positivas y la nota del postest (concretamente en los 3 años académicos de la práctica activa de Microbiología, figura 3.3).
- En el 42,86 % de los experimentos realizados se observan correlaciones negativas entre el factor de las emociones anticipatorias negativas y la nota del postest (concretamente en los años académicos 3 y 4 de la práctica activa de Biología Celular, figura 3.2; y en el año académico 2 de la práctica activa de Microbiología, figura 3.3).
- En el 100 % de los experimentos realizados en los que se evalúa el nivel de conocimientos de Biología a largo plazo (prácticas activas de Biología Celular y Microbiología, año académico 2) se observa una correlación positiva entre el factor de las emociones anticipatorias positivas y la nota del retest (figuras 3.2 y 3.3).
- En el 50 % de las intervenciones se observan correlaciones positivas entre el factor de las emociones anticipatorias positivas y el aprendizaje (concretamente en los años académicos 2 y 3 de la práctica activa de Microbiología, figura 3.3; y en la práctica activa de Biología Evolutiva, figura 3.4).
- En el 33,33 % de los experimentos se observan correlaciones negativas entre el factor de las emociones anticipatorias negativas y el aprendizaje (concretamente en el año académico 4 de la práctica activa de Microbiología, figura 3.3; y en la práctica activa de Biología Evolutiva, figura 3.4).

Estos resultados indican que, con frecuencia, aquellos futuros maestros que describen, antes de la implementación de las prácticas activas, una mayor intensidad de emociones positivas y una menor intensidad de emociones negativas; son aquellos que, tras la realización de estas actividades, tienen un mejor rendimiento académico y aprenden más contenidos de Biología. Estos resultados coinciden con las correlaciones detectadas para las emociones anticipatorias a nivel individual en el apartado 3.4.4 de este capítulo (tablas 3.12, 3.13, 3.14, 3.15, 3.16, 3.17 y 3.18); así como con las referencias bibliográficas incluidas en él, que indican el valor predictivo de las emociones anticipatorias de los alumnos en su rendimiento académico.

### **3.4.5.2 Papel de las emociones sentidas por los maestros en formación inicial durante la enseñanza práctica activa de la Biología**

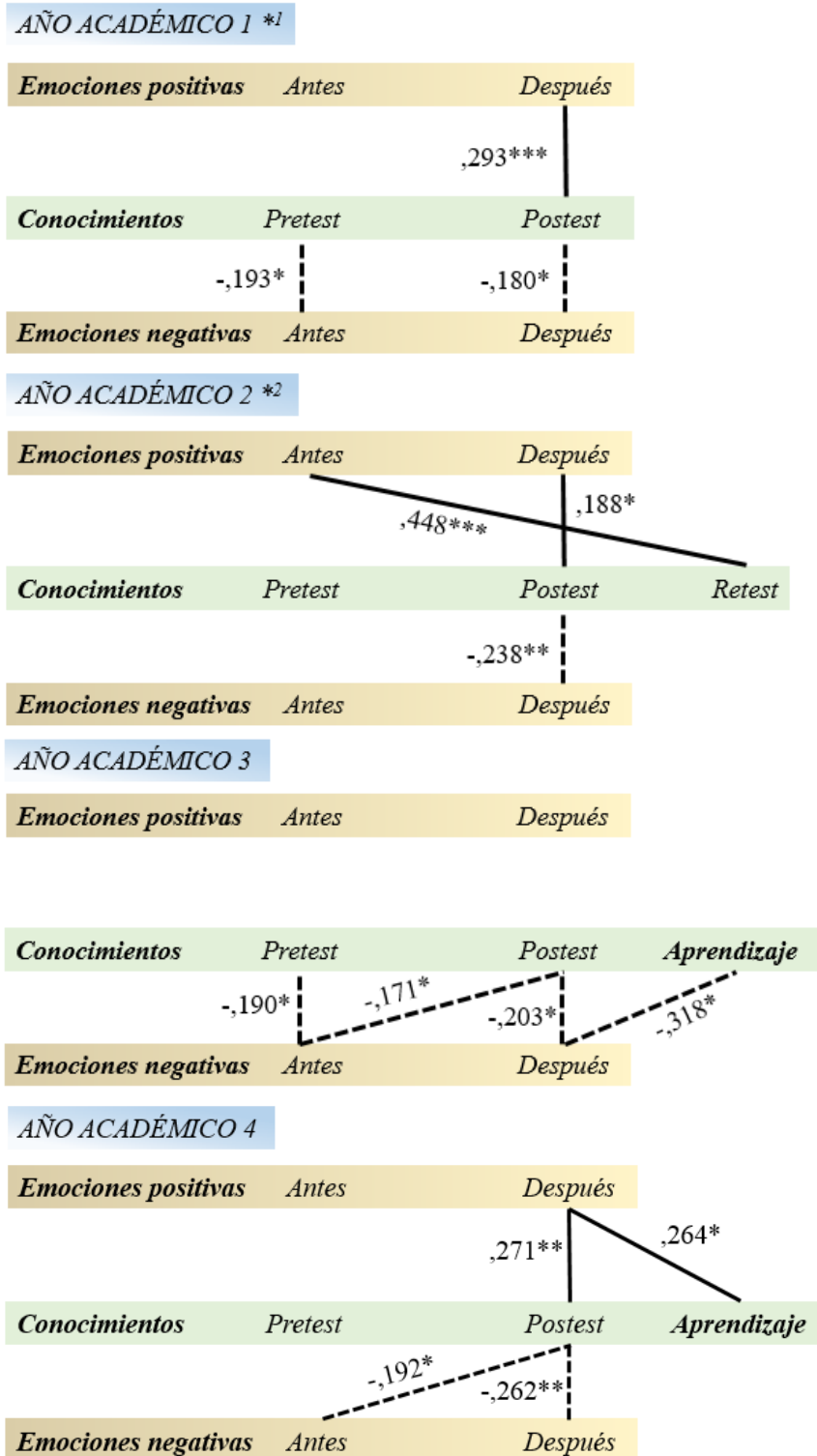
Para estudiar las asociaciones entre las emociones experimentadas por los futuros maestros, durante la realización de las prácticas activas, el rendimiento académico (conocimiento de

Biología posterior a las intervenciones y a largo plazo) y el aprendizaje de Biología logrados por estos tras su implementación (objetivos específicos 3.4, 3.5 y 3.6) se analizan las correlaciones de los factores correspondientes a las emociones, positivas y negativas, sentidas durante las prácticas activas con las notas del postest y del retest y con el aprendizaje (calculando como la diferencia entre la nota del postest y la nota del pretest en un subconjunto de datos de la muestra que está en o por debajo del percentil 75 del pretest). Se observan las siguientes asociaciones:

- En el 87,5 % de los experimentos realizados se observan correlaciones positivas entre el factor de las emociones positivas y la nota del postest (concretamente en los años académicos 1, 2 y 4 de la práctica activa de Biología Celular, figura 3.2; en los años académicos 2, 3 y 4 de la práctica activa de Microbiología, figura 3.3; y en la práctica activa de Biología Evolutiva, figura 3.4).
- En el 87,5 % de los experimentos realizados se observan correlaciones negativas entre el factor de las emociones negativas y la nota del postest (concretamente en los años académicos 1, 2, 3 y 4 de la práctica activa de Biología Celular, figura 3.2; en los años académicos 2 y 4 de la práctica activa de Microbiología, figura 3.3; y en la práctica activa de Biología Evolutiva, figura 3.4).
- En el 50 % de los experimentos realizados en los que se evalúa el nivel de conocimientos de Biología a largo plazo (práctica activa de Microbiología, año académico 2) se observa una correlación positiva entre el factor de las emociones positivas y la nota del retest (figura 3.3).
- En el 83,33 % de las intervenciones se observan correlaciones positivas entre el factor de las emociones positivas y el aprendizaje (concretamente el año académico 4 de la práctica activa de Biología Celular, figura 3.2; en los años académicos 2, 3 y 4 de la práctica activa de Microbiología, figura 3.3; y en la práctica activa de Biología Evolutiva, figura 3.4).
- En el 33,33 % de los experimentos realizados se observan correlaciones negativas entre el factor de las emociones negativas y el aprendizaje (concretamente el año académico 3 de la práctica activa de Biología Celular, figura 3.2; y en el año académico 4 de la práctica activa de Microbiología, figura 3.3).

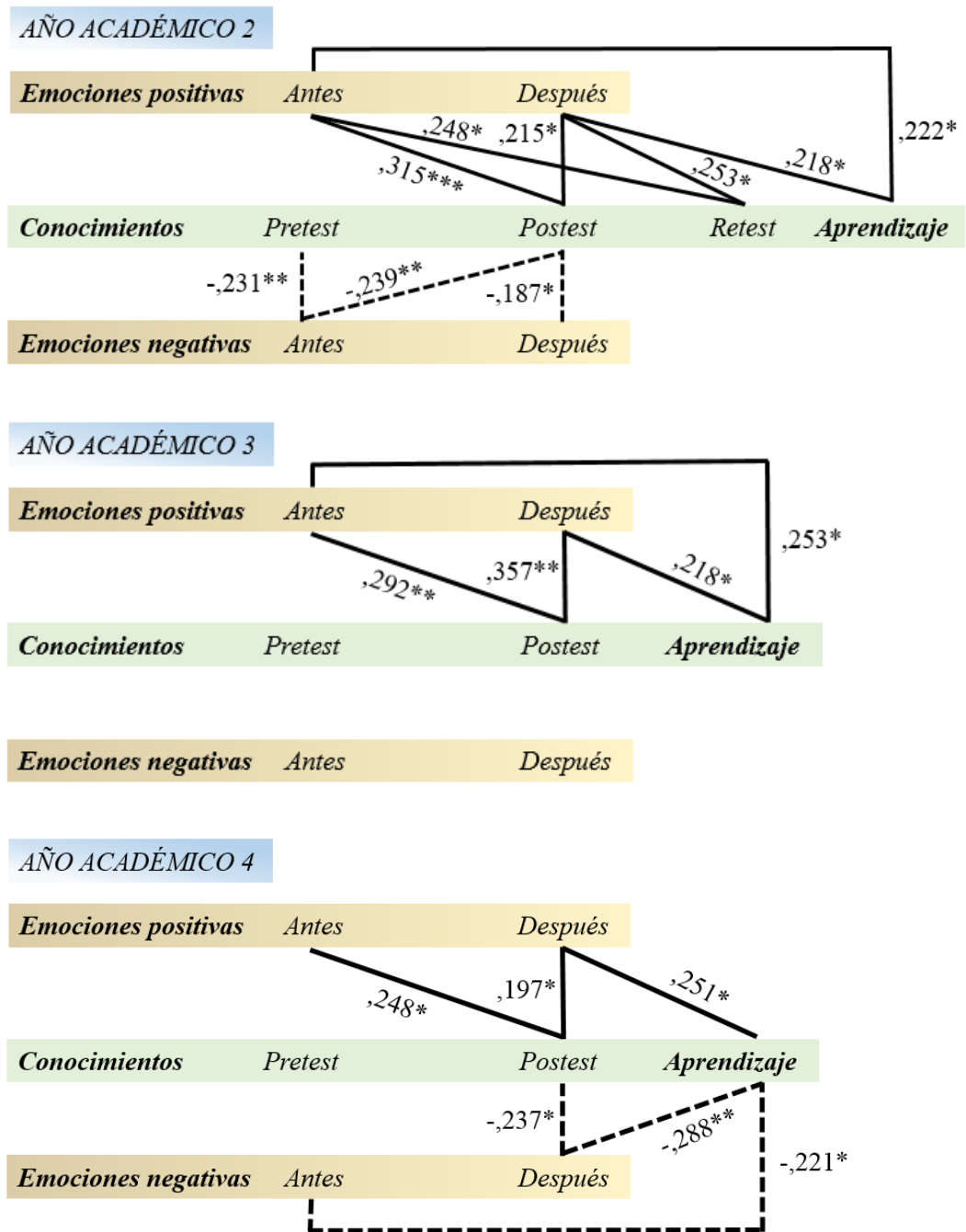
Estos resultados sugieren que aquellos futuros maestros que han sentido, durante el desarrollo de las prácticas activas diseñadas e implementadas en esta Tesis Doctoral, más emociones positivas y menos emociones negativas; son aquellos que han tenido un mejor rendimiento académico y han aprendido más Biología. Destacan las correlaciones entre el aprendizaje de Biología y el factor de las emociones positivas sentidas durante las prácticas activas implementadas, detectadas para la mayoría de los experimentos. Estos resultados concuerdan con las correlaciones detectadas para las emociones individuales en el apartado 3.4.3 del

presente capítulo (tablas 3.5, 3.6, 3.7, 3.8, 3.9, 3.10 y 3.11); y con las referencias bibliográficas incluidas en este, que señalan asociaciones de las emociones académicas con el rendimiento académico. Además de apoyar esta interacción, estos resultados revelan que las emociones académicas, sobre todo positivas, se asocian con el conocimiento de Biología adquirido tras las intervenciones, es decir, con el aprendizaje de Biología.

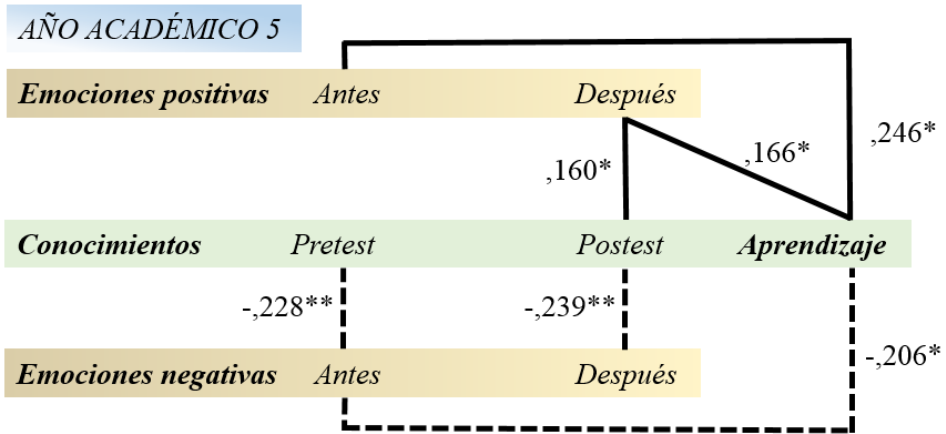


**Figura 3.2** Modelo que representa las asociaciones significativas de los factores asociados a las emociones positivas (arriba) y negativas (abajo), esperadas ante la práctica activa de Biología Celular (antes) y experimentadas durante esta (después); con los conocimientos de Biología previos (pretest), posteriores (postest) y el aprendizaje de Biología en los años académicos 1, 2, 3 y 4. En el año académico 1 (\*1) no se analizan interacciones entre datos de los cuestionarios previos y posteriores a la práctica, ni se estima el aprendizaje, al tratarse de datos desapareados. En el año académico 2 (\*2) no se estima aprendizaje de Biología, ya que la mitad de los participantes no completa el pretest. En el año académico 2 se analizan, además, las interacciones de las emociones con el conocimiento de Biología a largo plazo (retest). Las estrellas sobre las líneas continuas (correlaciones positivas) y discontinuas (correlaciones negativas) indican \*\*\*p-valor<0,001 \*\*p-valor<0,01, \*p-valor <0,05 (correlación de Pearson).





**Figura 3.3** Modelo que representa las asociaciones significativas de los factores asociados a las emociones positivas (arriba) y negativas (abajo), esperadas ante la práctica activa de Microbiología (antes) y experimentadas durante esta (después); con los conocimientos de Biología previos (pretest), posteriores (posttest) y el aprendizaje de Biología durante los años académicos 2, 3 y 4. En el año académico 2 se analizan, además, las interacciones de las emociones con los conocimientos de Biología a largo plazo (retest). Las estrellas sobre las líneas continuas (correlaciones positivas) y discontinuas (correlaciones negativas) indican \*\*\*p-valor<0,001\*\*p-valor<0,01, \*p-valor <0,05 (correlación de Pearson).



**Figura 3.4** Modelo que representa las asociaciones significativas de los factores asociados a las emociones positivas (arriba) y negativas (abajo), esperadas ante la práctica activa de Biología Evolutiva (antes) y experimentadas durante esta (después); con los conocimientos de Biología previos (pretest), posteriores (posttest) y el aprendizaje de Biología en el año académico 5. Las estrellas sobre las líneas continuas (correlaciones positivas) y discontinuas (correlaciones negativas) indican \*\*p-valor<0,01, \*p-valor <0,05 (correlación de Pearson).

### **3.5. Conclusiones**

En este capítulo se han analizado las asociaciones entre las emociones académicas de muestras de maestros en formación inicial (retrospectivas de Educación Secundaria, anticipatorias ante la realización de las prácticas activas de Biología diseñadas en la presente Tesis Doctoral y realmente experimentadas durante las mismas) y el nivel de conocimientos de Biología (previos de Educación Secundaria, posteriores a la implementación de las intervenciones y adquiridos con estas). Los resultados muestran asociaciones significativas de algunas de las emociones, positivas y negativas, sentidas por los participantes antes y después de las tres prácticas activas (basadas en la investigación dirigida y el uso de analogías, y en las que se resaltan la interdisciplinariedad y las interrelaciones CTS) con el conocimiento de Biología y el aprendizaje de Biología. Respecto a los objetivos específicos se concluye que:

- El conocimiento de Biología de Educación Secundaria interacciona con las emociones retrospectivas de esta etapa (negativamente con las emociones negativas y mayoritariamente de forma positiva con las emociones positivas); lo que sugiere que los maestros en formación inicial participantes que recuerdan en mayor medida conceptos básicos de Biología de Educación Secundaria son aquellos que recuerdan haber experimentado, con la enseñanza de Biología en esta etapa educativa, más emociones positivas en clases prácticas y menos emociones negativas en clases expositivas y prácticas. Asimismo, estos estudiantes son los que recuerdan haber sentido una menor intensidad de algunas emociones positivas en clases expositivas.
- Existen sesgos de género en las interacciones entre las emociones retrospectivas en clases de Biología de Educación Secundaria y el grado de recuerdo de conceptos de Biología adquiridos en esta etapa educativa. Particularmente en los maestros en formación inicial de género masculino, el recuerdo de conceptos biológicos básicos interacciona negativamente con las emociones retrospectivas negativas en clases expositivas y prácticas.
- El nivel de conocimientos previos de Biología de Educación Secundaria puede tener valor predictivo en relación a las emociones anticipatorias, fundamentalmente negativas, que los maestros en formación inicial esperan experimentar ante la enseñanza práctica de Biología: los futuros maestros que presentan bajos niveles de conocimientos previos de Biología de Educación Secundaria son aquellos que reportan mayores intensidades de emociones negativas ante las prácticas activas de Biología diseñadas. No se observa sesgo de género en estas interacciones, salvo en la práctica activa de Biología Evolutiva (en la que la relación negativa entre los conocimientos previos y las emociones anticipatorias negativas se produce solo en las futuras maestras).

- El conocimiento de Biología posterior a las prácticas activas (nota del postest) interacciona positivamente con las emociones positivas y negativamente con las emociones negativas. Estas asociaciones sugieren que los maestros en formación inicial participantes que tienen un mayor nivel de conocimientos de Biología posteriores a la implementación de las prácticas activas diseñadas son aquellos que, durante su realización, experimentaron más emociones positivas y menos emociones negativas. No se observa sesgo de género en estas interacciones.
- El conocimiento de Biología a largo plazo (nota del retest) interacciona positivamente con las emociones positivas y negativamente con algunas de las emociones negativas. Estas interacciones sugieren que los maestros en formación inicial participantes que tienen un mayor nivel de conocimientos de Biología transcurrido un largo plazo de la implementación de las prácticas activas diseñadas son aquellos que, durante su realización, experimentaron una mayor intensidad de emociones positivas y una menor intensidad de algunas emociones negativas. No se observan diferencias en estas interacciones entre ambos géneros, salvo para la emoción satisfacción, que solo interacciona positivamente con el conocimiento de Biología a largo plazo en los futuros maestros varones.
- El aprendizaje de Biología interacciona, de manera general, positivamente con las emociones positivas y negativamente con algunas de las emociones negativas. Estas asociaciones sugieren que los maestros en formación inicial participantes que aprenden más Biología son aquellos que, durante la implementación de las prácticas activas, experimentan una mayor intensidad de emociones positivas y una menor intensidad de algunas emociones negativas. No se observa sesgo de género en estas interacciones.
- Las emociones anticipatorias, esperadas por los maestros en formación inicial participantes ante la realización de las prácticas activas de Biología, pueden tener valor predictivo en el rendimiento académico y en el aprendizaje de Biología: los futuros maestros con mayores niveles de conocimiento de Biología posteriores y que aprenden más Biología, tras la implementación de las prácticas activas de Biología diseñadas, son aquellos que, antes de su realización, esperaban sentir, de manera general, más emociones positivas y menos emociones negativas. Se observan algunos sesgos de género en estas interacciones, ya que la relación positiva entre algunas emociones positivas y el conocimiento de Biología a largo plazo se produce solo en los futuros maestros varones; mientras que la relación positiva entre la expectativa de algunas emociones positivas y el aprendizaje de Biología es más intensa en las futuras maestras.

### **3.6. Implicaciones en la formación inicial de maestros**

En base a los resultados obtenidos en este capítulo, y considerando el importante papel de las emociones en los procesos de enseñanza-aprendizaje de las ciencias, pueden establecerse algunas implicaciones educativas en lo referente a la formación inicial de maestros. Estas implicaciones podrían extenderse, además, a otros niveles educativos como la Educación Secundaria; puesto que se plantean teniendo en cuenta las asociaciones detectadas entre las emociones retrospectivas de los participantes en las clases de Biología de esta etapa educativa y su grado de recuerdo de conceptos biológicos clave. De este modo, los resultados revelan que aquellos alumnos que retienen una mayor cantidad de conceptos básicos de Biología impartidos en Educación Secundaria son aquellos que recuerdan haber experimentado más emociones positivas y menos negativas en las sesiones prácticas de esta etapa educativa. Por tanto, la implementación de actividades prácticas de Biología no sólo tiene un papel motivador recordado a largo plazo (como se ha puesto de manifiesto en el capítulo 2), sino que también podría estar ligado al aprendizaje duradero de contenidos científicos clave. Ante esto, se recomienda, para favorecer las emociones positivas hacia las ciencias, y el aprendizaje duradero de conceptos científicos básicos, implementar más actividades prácticas de Biología, así como de otras disciplinas científicas, en esta etapa educativa. Esta recomendación es muy notoria, ya que los profesores de ciencias de Educación Secundaria reconocen que plantean pocas actividades prácticas en la enseñanza de sus asignaturas (Martínez-Losada y García-Barros, 2005). Por otro lado, los resultados revelan que el aprendizaje duradero de Biología de Educación Secundaria está relacionado con bajas intensidades de emociones negativas en clases expositivas. Por tanto, el manejo, por parte de los docentes de esta etapa educativa, de las emociones negativas de sus alumnos en este tipo de sesiones, podría resultar relevante para favorecer el aprendizaje científico a largo plazo.

Además de la gestión de las emociones negativas, es necesario considerar también a las emociones positivas que surgen en los procesos de enseñanza, sobre todo en clases expositivas. De acuerdo con los resultados, y especialmente en mujeres, un exceso de algunas emociones positivas en clases expositivas (como la diversión o el entusiasmo) se asocia con menores niveles de aprendizaje duradero. Los docentes deben, en consecuencia, ser conscientes de que un clima de aula positivo no siempre favorece el aprendizaje duradero en sus alumnos. Esto se pone de manifiesto en los resultados mostrados en los capítulos 2 y 3 de la presente Tesis Doctoral: a pesar de que las mujeres participantes recuerdan haber experimentado, en las clases prácticas de Biología de Educación Secundaria, más emociones positivas que sus compañeros varones; las emociones positivas solo se asocian positivamente, en sesiones prácticas, con el aprendizaje duradero de los hombres. Por ello, cuando surjan emociones positivas como la diversión en el aula, es necesario un manejo de estas por parte de los docentes, quienes deben

relacionar dichas emociones con los contenidos a impartir y las actividades a realizar en el aula para conseguir un efecto positivo de las mismas sobre el aprendizaje (Baid y Lambert, 2010).

Las interacciones entre aprendizaje duradero de contenidos de ciencias de Educación Secundaria y las emociones deben tenerse en cuenta, asimismo, en los procesos de formación inicial del profesorado; ya que los resultados muestran que dicho grado de recuerdo está relacionado, no sólo con el recuerdo emocional en Educación Secundaria, sino también con las emociones que los maestros en formación inicial experimentan hacia el aprendizaje de las ciencias como alumnos del Grado en Educación Primaria. Destacan las interacciones detectadas entre el nivel de conocimientos previos de Biología de Educación Secundaria y las emociones anticipatorias negativas. Estos resultados indican que las emociones de los futuros maestros, hacia las ciencias y su enseñanza-aprendizaje, están influenciadas tanto por su recuerdo emocional en clases de ciencias de Educación Secundaria, detectado en el capítulo 2 de este trabajo y en la investigación de Brígido *et al.* (2013b), como por sus conocimientos científicos de esta etapa. Esto último es muy relevante, ya que de los bajos niveles de formación científica de los futuros maestros podrían influir en sus emociones negativas hacia las ciencias (Bonill y Márquez, 2011; Brígido *et al.*, 2013a; Cortés *et al.*, 2012). En base a estos resultados, sería conveniente abrir una reflexión acerca de la influencia del nivel de conocimientos previos científicos de Educación Secundaria, de los maestros en formación inicial, en sus emociones negativas. El diseño e implementación de sesiones basadas en estas interacciones podría ser relevante para contribuir a la disminución de las emociones negativas de los futuros maestros hacia las ciencias y su enseñanza (Mellado *et al.*, 2014; Damasio, 2010), así como para contribuir a evitar la transferencia de estas en su futura acción docente (Beilock *et al.*, 2010; Frenzel *et al.*, 2009).

Las emociones anticipatorias hacia la enseñanza práctica de la Biología de los maestros en formación inicial no sólo se asocian con sus conocimientos previos de Educación Secundaria, sino también, de acuerdo con los resultados de esta investigación, con su nivel de conocimientos posteriores a estas actividades y con el aprendizaje logrado con las mismas. Las asociaciones (principalmente positivas) detectadas entre la intensidad previa de algunas emociones positivas y el aprendizaje, así como las asociaciones (mayoritariamente negativas) detectadas entre este y algunas de las emociones negativas; ponen de manifiesto la necesidad de considerar las emociones previas de los futuros maestros a la hora de implementar con estos actividades científicas en el aula o en el laboratorio. Esto es necesario, dado que estas emociones pueden predisponer a los alumnos, influyendo en su rendimiento académico (Pekrun *et al.*, 2002; Pekrun *et al.*, 2006; Pekrun *et al.*, 2009). Los resultados obtenidos revelan la necesidad de fomentar, de manera general, un clima emocionalmente positivo ante la implementación de actividades de ciencias con los futuros maestros (caracterizado por altas expectativas de

emociones positivas y bajas expectativas de emociones negativas). Sin embargo, como se ha indicado anteriormente, el efecto de las emociones no es siempre univalente (Pekrun, 2014), y, como muestran los resultados, en ocasiones, expectativas de emociones negativas (como el nerviosismo) y positivas (como la diversión) se asocian positiva y negativamente, respectivamente, con el conocimiento de Biología y con el aprendizaje. Por tanto, algunas emociones negativas previas podrían tener un valor positivo en relación al aprendizaje; mientras que el exceso de algunas emociones positivas podría jugar un papel perjudicial. Los docentes de los programas de formación inicial de maestros deberían, por tanto, ser conscientes de la importancia de las emociones previas de sus alumnos; reparando en el valor predictivo de altas intensidades de emociones positivas y bajas intensidades de emociones negativas en el aprendizaje, aunque sin asumir esto de manera absoluta para todas las emociones académicas.

Además de mostrar la influencia de las emociones anticipatorias de los maestros en formación inicial, los resultados de esta investigación muestran la importancia de considerar las emociones sentidas por estos alumnos durante la enseñanza activa de la Biología. A pesar de no indicar una relación causa-efecto entre el dominio afectivo y el cognitivo, las correlaciones de dichas emociones con el rendimiento académico y el aprendizaje apoyan que el diseño e implementación de una intervención didáctica en la que se consideren las emociones que los alumnos experimentan durante la misma podría favorecer el aprendizaje. Los coeficientes de correlación de las emociones con el conocimiento posterior de Biología, a largo plazo y con el aprendizaje, muestran en qué medida una modificación de las emociones experimentadas por el alumnado, durante la realización de actividades prácticas activas de Biología (recogidas en el capítulo 2), podría mejorar el rendimiento académico y el aprendizaje de esta disciplina (recogido en el capítulo 1). En concreto, los resultados obtenidos sugieren que el aprendizaje de Biología, de maestros en formación inicial, podría ser favorecido si se plantearan actividades prácticas activas con las que se disminuyesen las emociones negativas, fundamentalmente la preocupación, y se aumentasen las emociones positivas; especialmente la alegría, la confianza y el entusiasmo. Es decir, la intervención educativa sobre el estado emocional de los alumnos puede favorecer el aprendizaje; como recientemente han comprobado Rozek *et al.* (2019), quienes, al intervenir sobre la ansiedad hacia las ciencias de una muestra de alumnos de Educación Secundaria, lograron mejorar el rendimiento académico.

Nuevamente, los resultados revelan que el efecto de las emociones, en este caso experimentadas durante los procesos de enseñanza, en el aprendizaje no es univalente (Pekrun, 2014). A pesar de que, de manera general, las emociones positivas favorecen el aprendizaje, mientras que algunas de las emociones negativas lo limitan; en ocasiones, algunas emociones positivas (como la alegría) y negativas (como la frustración) se asocian de manera inversa con el aprendizaje. Por tanto, es necesario que los docentes consideren la importancia de las emociones

experimentadas por sus estudiantes durante los procesos de enseñanza, intentando favorecer las emociones positivas y disminuir la intensidad de las emociones negativas. Sin embargo, deben considerar que las emociones positivas, para relacionarse de manera positiva con el aprendizaje, deben estar provocadas por aspectos relativos a los procesos de enseñanza como los contenidos tratados, las metodologías implementadas o las distintas tareas propuestas por el docente (Pekrun *et al.*, 2002; Perkrun, 2014; Tyng *et al.*, 2017). Asimismo, es preciso tener en cuenta que el papel de las emociones negativas no es siempre negativo para el aprendizaje. Como muestran los resultados, determinadas intensidades de emociones negativas, relacionadas con los procesos de enseñanza-aprendizaje, pueden relacionarse positivamente con el aprendizaje; lo que podría deberse a una mejora de la atención de los alumnos (Tyng *et al.*, 2017).

Los resultados obtenidos podrían tener interesantes implicaciones en el diseño de los programas formativos de los futuros maestros. Así, podría ser valioso incluir, en los procesos de formación inicial del profesorado, secuencias de enseñanza-aprendizaje con las que se adquieran estrategias para el desarrollo de este tipo de prácticas activas. Esto podría mejorar su futura acción como docentes de ciencias, puesto que las prácticas activas también son motivantes para los alumnos de Educación Primaria (Nicolaou *et al.*, 2015; Van-Deur y Murray-Harvey, 2005). Esto es necesario ya que, como afirman Fernández-Abascal *et al.* (2001), los buenos profesores de ciencias deben sustituir las emociones negativas de sus alumnos por emociones positivas, a través del planteamiento de actividades científicas creativas y emocionantes (Mellado *et al.*, 2014). Además, la implementación de estas actividades en aulas de Educación Primaria con alumnado de este nivel educativo, por parte de maestros (tanto en ejercicio como en formación inicial durante sus prácticas de enseñanza), constituye una interesante futura línea de investigación. Por último, sería conveniente abordar estas interacciones conocimientos previos-emociones, emociones previas-aprendizaje y emociones-aprendizaje en la enseñanza activa de Biología con los maestros en formación, en sesiones en las que se forme a estos en competencias emocionales (Mellado *et al.*, 2014). Esto puede resultar relevante para que estos alumnos tengan en cuenta estas interacciones en su futuro desempeño profesional.



**CAPÍTULO 4. VALOR, EMOCIONES Y APRENDIZAJE  
EN LA ENSEÑANZA PRÁCTICA ACTIVA DE BIOLOGÍA  
A MAESTROS EN FORMACIÓN INICIAL**



## **4.1. Introducción**

Los alumnos realizan, durante los procesos de enseñanza-aprendizaje, evaluaciones subjetivas de las distintas actividades académicas. Las teorías, y los resultados de las investigaciones más actuales, sostienen que ese valor está relacionado con las emociones que experimentan los alumnos y con el rendimiento académico que logran (los resultados de aprendizaje o conocimiento final tras una actividad). Sin embargo, hay numerosos aspectos por estudiar con mayor profundidad como: i) la relación entre el valor y las emociones académicas durante la enseñanza activa de las ciencias, ii) la relación del valor con el aprendizaje (entendiendo este como los conocimientos adquiridos con una actividad, o la diferencia entre el conocimiento final y el conocimiento inicial), iii) el análisis de las distintas subescalas del valor (interés, utilidad y coste) en la enseñanza activa de las ciencias y su relación con las emociones y el aprendizaje, o iv) las diferencias, en función del género de los alumnos, relacionadas con las emociones, el valor y el aprendizaje, entre otros. En este capítulo se analizan las interacciones del valor otorgado por estudiantes del Grado en Educación Primaria de la Universidad de Extremadura a las prácticas activas de Biología diseñadas en la Tesis Doctoral, con las emociones sentidas durante las mismas y con el aprendizaje logrado tras su realización. El valor se estima mediante dos procedimientos: a través de un solo ítem y mediante un test multi-ítem con el que estimar tres constructos del valor: interés, utilidad y coste. Para ello, en primer lugar, se recogen los resultados de investigaciones previas relativas a los procesos de asignación de valor, su relevancia en contextos educativos y su relación con las emociones y el rendimiento académico. Posteriormente, se detalla la metodología seguida para analizar las interacciones del valor con las emociones y el aprendizaje (muestra, instrumentos y análisis de datos). Tras esto, se abordan los resultados, su discusión y sus implicaciones en los procesos de formación inicial.

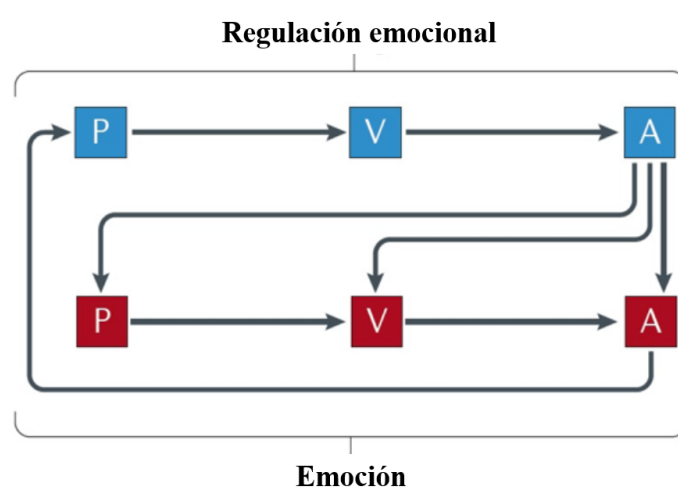
### **4.1.1 Emociones y asignación de valor**

La adaptabilidad es una característica esencial para la supervivencia de los seres vivos. El proceso adaptativo implica la percepción e integración de señales internas y externas, así como la posterior elaboración de una respuesta apropiada para responder a estas (Koshland, 2002). En los seres vivos, tanto la percepción como la integración de las señales están moduladas por su estado interno, que realiza una evaluación subjetiva para determinar si dichas señales son “buenas” o “malas” para el individuo y que, a su vez, controla distintas acciones fisiológicas con las que responder. En los humanos, ese estado interno está gobernado por las emociones (Damasio, 2010), que activan una serie de cambios cognitivos, fisiológicos y motores, como resultado de la determinación de que un estímulo, interno (hambre, dolor, expectativas, recuerdos...) o externo (ruido, dificultad...), es beneficioso o perjudicial para el sujeto. De acuerdo con esto, las emociones reflejan la capacidad de asignar valor a los estímulos que el ser

humano percibe a su alrededor e influyen en la toma de decisiones para responder a ellos. Las emociones tienen un efecto modulador sobre (Damasio, 2010):

- La percepción de los estímulos en un determinado contexto.
- La discriminación de aquellos aspectos del estímulo que son contextualmente más importantes para el individuo frente a aquellos que pueden excluirse del procesamiento posterior.
- La evaluación de los estímulos sobresalientes en términos de relevancia para los objetivos, deseos o necesidades del individuo en el contexto en el que este se encuentra.
- La elaboración de una respuesta, que consiste en la traducción de las evaluaciones subjetivas en cambios en la experiencia, la memoria afectiva, el comportamiento y/o la fisiología autónoma.

Como consecuencia, las emociones forman parte de la secuencia percepción-valoración-acción con la que los individuos responden a las señales de su entorno (figura 4.1). Además, este proceso está regulado (regulación emocional), de modo que la respuesta resultante es percibida y valorada y, en base a esta valoración (en la que se analiza si la respuesta ha sido adecuada o no), se genera una acción que influirá en las respuestas emocionales futuras (en la percepción, en la valoración y en la acción) (Etkin *et al.*, 2015; Riedel *et al.*, 2018) (figura 4.1).



**Figura 4.1.** Secuencia percepción (P), valoración (V) y acción (A) durante la reactividad (diagrama inferior, en rojo) y regulación emocional (diagrama superior, en azul). La acción resultante de la reactividad es percibida y valorada de manera que, el resultado de esta última valoración, controle respuestas emocionales futuras (la percepción, la valoración y la acción) (Etkin *et al.*, 2015).

Actualmente, las emociones son consideradas como producto de un proceso evolutivo selectivo con el cual valorar acontecimientos, en un determinado contexto, y estimar si son deseables para el individuo (Etkin *et al.*, 2015; Damasio, 2010). Esto también ocurre en ambientes académicos. De acuerdo con la teoría del control-valor (Pekrun, 2006), el valor que los alumnos otorgan a las actividades académicas está recíprocamente relacionado con sus emociones en relación a dichas actividades. Por tanto, las emociones académicas influyen en la asignación de valor a los

procesos de enseñanza-aprendizaje, así como en la toma de decisiones y en la elaboración de respuestas que los alumnos realizan durante los mismos. Este proceso, como se muestra en la figura 4.1, estaría regulado emocionalmente: en función de lo adecuado de la respuesta (la concordancia entre el valor esperado inicialmente del desempeño y el obtenido finalmente) se generan en el alumno emociones que influyen en sus futuras respuestas. Experimentos controlados en laboratorios de psicología apoyan esta posibilidad (Eldar *et al.*, 2016). Los alumnos, ante una actividad académica determinada (como una clase expositiva o una práctica de laboratorio), realizan una valoración subjetiva (analizando diferentes aspectos del valor como el interés, la utilidad y el coste de dicha actividad) que determina sus emociones (el grado de aversión o atracción hacia la actividad). De acuerdo con la teoría del control-valor, las emociones académicas están asociadas a estas valoraciones e influyen en el desempeño de los alumnos. Tras la actividad, la misma vuelve a ser percibida y valorada (analizando de nuevo el interés, la utilidad y el coste). En función del resultado de esta valoración, surgen en el alumno emociones que afectarán a futuras actividades, que serán percibidas y valoradas de un modo distinto a la actividad inicial. Por ejemplo, si tras la actividad aumenta el interés o la percepción de la utilidad surgirán emociones positivas como la alegría o la satisfacción, respectivamente; mientras que si aumenta el coste percibido por los alumnos surgirán en ellos emociones negativas como el nerviosismo o la frustración. Es decir, si la actividad ha resultado mejor de lo esperado, el alumno tendrá una disposición más favorable hacia actividades posteriores; mientras que si el resultado es peor de lo esperado inicialmente aumentará su rechazo hacia actividades futuras. La gestión, por parte del profesorado, de estas emociones que surgen durante y tras los procesos de enseñanza puede resultar clave, de acuerdo con investigaciones recientes, para mejorar el rendimiento académico de los alumnos (Rozek *et al.*, 2019).

En base a la teoría del control-valor de Pekrun existen algunos indicios que muestran que el valor se asocia positivamente con las emociones académicas positivas y negativamente con las emociones académicas negativas (Artino, 2009; Pekrun *et al.*, 2014; Villavicencio y Bernardo, 2013). No obstante, a este respecto, es importante matizar que en los trabajos citados solo se consideran aspectos exclusivamente positivos del valor (excluyendo aspectos negativos como el coste). A pesar de estos indicios, es reseñable indicar que son muy escasas las investigaciones centradas en las interacciones entre las emociones y el valor subjetivo atribuido a los procesos de enseñanza-aprendizaje, más aún si consideramos exclusivamente la Didáctica de las Ciencias Experimentales y la formación inicial de maestros. Esta falta de investigaciones se debe, en parte, a la falta de instrumentos con los que estimar el valor subjetivo hacia diferentes actividades didácticas. Por ello, son precisas más investigaciones con las que profundizar en las interacciones de las emociones académicas y el valor en distintos contextos educativos; entre ellos la enseñanza de las ciencias de la formación inicial del profesorado.

### **4.1.2 La estimación de valor en los procesos de enseñanza-aprendizaje**

Los alumnos asignan valor a las distintas actividades de enseñanza-aprendizaje. De acuerdo con la investigación actual, las valoraciones subjetivas que los estudiantes realizan sobre una determinada tarea se pueden dividir en varios constructos como el interés (hace referencia al disfrute del alumno al realizar la tarea), la utilidad (se refiere a la utilidad de la tarea para el futuro del alumno), el logro (o importancia de obtener un buen resultado tras la tarea) y el coste (valoración que incluye los aspectos negativos relacionados con la tarea como el esfuerzo extra que esta requiere, la pérdida de oportunidades por llevarla a cabo y la carga emocional) (Eccles y Wigfield, 2002). De acuerdo con la teoría de la expectativa-valor (Eccles y Wigfield, 2002), estas valoraciones de los estudiantes influyen en su rendimiento académico. De este modo, los alumnos con valoraciones positivas (mayores niveles de interés, logro y utilidad) persisten en la tarea hasta completarla, obteniendo mejores resultados de aprendizaje. Desde el constructivismo también se hace referencia a la utilidad para cambiar las ideas alternativas de ciencias de los estudiantes. En concreto, la investigación de referencia de Posner *et al.* (1982) establece cuatro condiciones para el cambio conceptual: conocer y valorar las ideas iniciales de los estudiantes y, si son insatisfactorias, presentar nuevas ideas que les resulten inteligibles, plausibles y útiles.

Mientras, los alumnos que atribuyen a la tarea un elevado coste, no están motivados para continuar con la actividad, por lo que obtienen peores resultados. Es decir, las valoraciones que realizan los estudiantes sobre actividades académicas modulan su toma de decisiones y su comportamiento, afectando a su rendimiento académico (Eccles y Wigfield, 2002). La influencia del valor en el rendimiento podría estar mediada por su influencia en distintos procesos cognitivos (García y Pintrich, 1994). Según estos autores, el valor otorgado por los alumnos a las actividades educativas influye en el uso de recursos cognitivos, en la elección de estrategias de aprendizaje y en el pensamiento crítico.

La relación entre el valor y el rendimiento académico se ha observado en algunos estudios (Artino *et al.*, 2010; Giles *et al.*, 2006; Itzek-Greulich *et al.*, 2017; Lee *et al.*, 2014; Machemer y Crawford, 2007; McClendon, 1996). Sin embargo, es necesario seguir indagando en cómo valoran los alumnos las distintas metodologías educativas, como la enseñanza activa (Machemer y Crawford, 2007); y en la influencia de estas valoraciones subjetivas en su rendimiento académico y sus emociones. Además, a pesar de los indicios de asociaciones entre el valor y el rendimiento académico, no se ha indagado en las asociaciones del valor con el aprendizaje (entendido como conocimientos adquiridos tras una actividad: la diferencia entre el conocimiento final y el conocimiento inicial de los alumnos).

En lo referente a los maestros en formación inicial, no existen investigaciones acerca de las valoraciones subjetivas de los mismos hacia las ciencias, tampoco de su papel en el aprendizaje

de esta disciplina. Los docentes en formación, al igual que el resto de los estudiantes, asignan un valor a las actividades y logros académicos (Torsney *et al.*, 2017). Dicho valor subjetivo es muy relevante ya que influye en la motivación para enseñar (Whitaker y Valtierra, 2018) y, junto con las emociones, en la formación de la identidad profesional (Hong, 2010). Una mejor comprensión de la relación entre el valor subjetivo y el aprendizaje permitiría diseñar estrategias con las que aumentar la percepción subjetiva del valor entre el alumnado y, de esta manera, mejorar su rendimiento y su futuro desempeño como docentes. Con relación a esto, algunas investigaciones con fundamento constructivista, desarrolladas desde los años 80, han vinculado el cambio didáctico del profesorado con el interés y la utilidad de las estrategias didácticas (Gunstone *et al.*, 1993; Hewson y Hewson, 1989; Mellado *et al.*, 2006). Por otro lado, la comprensión de la relación entre las emociones académicas y el valor subjetivo permitiría emplear procedimientos de regulación emocional; con lo que aumentar la percepción subjetiva del valor entre el alumnado y, a su vez, mejorar el rendimiento académico. En este sentido, Bell y Gilbert (1994) señalan la importancia de las emociones para generar cambios, ya que difícilmente se estos se realizan si no compensan afectivamente.

## **4.2. Objetivos**

El objetivo general del presente capítulo es determinar el valor subjetivo otorgado, por los maestros en formación inicial, a las prácticas activas de Biología diseñadas; así como las interacciones de este con las emociones académicas, el nivel de conocimientos de Biología y el aprendizaje de Biología (objetivo general 4 de la Tesis Doctoral). Para ello se plantean los siguientes objetivos específicos con muestras de estudiantes del Grado en Educación Primaria de la Universidad de Extremadura:

- Objetivo específico 4.1. Estimar el valor otorgado por los maestros en formación inicial participantes a las prácticas activas de Biología implementadas.
- Objetivo específico 4.2. Analizar, en función del género de los participantes, el valor otorgado a las prácticas activas de Biología.
- Objetivo específico 4.3. Determinar las asociaciones entre las emociones experimentadas por los maestros en formación inicial participantes, durante la implementación de las prácticas activas de Biología, y el valor otorgado por estos a dichas intervenciones.
- Objetivo específico 4.4. Analizar, en función del género, las interacciones entre las emociones sentidas por los participantes durante la implementación de las prácticas activas de Biología y el valor otorgado a estas.
- Objetivo específico 4.5. Determinar las asociaciones del valor otorgado, por los maestros en formación inicial participantes a las prácticas activas de Biología, con el nivel de conocimientos de Biología posteriores a su implementación y con el aprendizaje.
- Objetivo específico 4.6. Analizar, en función del género, las interacciones entre el valor, otorgado por los participantes a las prácticas activas de Biología, el conocimiento de Biología y el aprendizaje.
- Objetivo específico 4.7. Determinar los constructos de valor (interés, utilidad y coste) otorgados por los maestros en formación inicial participantes a la integración de Biología y Matemáticas; así como las interacciones de este con sus emociones hacia este proceso.
- Objetivo específico 4.8. Analizar, en función del género, los constructos de valor (interés, utilidad y coste) otorgados por los participantes a la integración de Biología y Matemáticas, así como las interacciones con sus emociones.
- Objetivo específico 4.9. Determinar los constructos de valor (interés, utilidad y coste) otorgados por los maestros en formación inicial participantes a la enseñanza activa interdisciplinar de Biología; así como las interacciones de este con las emociones de los



participantes, su nivel de conocimiento de Biología posterior a las intervenciones y el aprendizaje alcanzado tras estas.

- Objetivo específico 4.10. Analizar, en función del género, los constructos de valor (interés, utilidad y coste) otorgados a la enseñanza activa interdisciplinar de Biología; al igual que las interacciones de este con las emociones, el conocimiento de Biología y el aprendizaje.

## **4.3. Metodología**

### **4.3.1 Determinación del valor otorgado por los maestros en formación inicial a las prácticas activas de Biología y análisis de sus interacciones con las emociones, el conocimiento de Biología y el aprendizaje de Biología. Análisis en función del género**

#### **4.3.1.1 Muestra**

La determinación del valor, otorgado por los maestros en formación inicial, a las prácticas activas de Biología diseñadas en la presente investigación, se realiza con las muestras (tabla 1.1) que participan en: i) 2 implementaciones de la práctica activa de Biología Celular (años académicos 3 y 4; n=149 y 112), ii) 3 implementaciones de a práctica activa de Microbiología (años académicos 2, 3 y 4; n=152, 149 y 112) y iii) con la implementación de la práctica activa de Biología Evolutiva (año académico 5, n=143)

#### **4.3.1.2 Instrumentos**

##### ***4.3.1.2.1 Determinación del valor otorgado por los maestros en formación inicial a las prácticas activas de Biología a través de un solo ítem***

El instrumento empleado, para conocer cómo valoran los maestros en formación inicial participantes las prácticas activas de Biología implementadas dentro de su programa formativo, es un cuestionario formado por una pregunta: “Si aprender a sumar tiene un valor de 100 para tu vida diaria, ¿qué valor le otorgas, en una escala de 0 a 100, a la práctica realizada para tu futuro desempeño profesional como docente de Ciencias Naturales de Educación Primaria?”. Los futuros maestros contestan a esta pregunta, empleando una escala ordinal de Likert que oscila de 0 a 100. De este modo, el valor se mide a través de un solo ítem.

Los participantes responden a esta pregunta a los 15 días de la implementación de las prácticas activas, como parte del instrumento con el que se estiman las emociones, antes de responder a los test de contenidos (postest). De esta manera se evita que la resolución del test de contenidos interfiera en la estimación de las emociones y el valor.

##### ***4.3.1.2.2 Instrumentos de emociones y conocimiento de Biología***

Para determinar las emociones experimentadas por los participantes durante las prácticas activas se emplea el cuestionario autoinforme cuantitativo de emociones, diseñado y validado en la presente Tesis Doctoral (capítulo 2, apartado 2.3.2.4). Estas emociones son reportadas por la muestra a los 15 días de la implementación de las prácticas activas.

Para determinar el conocimiento de Biología y el aprendizaje de Biología se emplean los cuestionarios (pretest y postest) diseñados para determinar la efectividad de las tres prácticas

activas en el aprendizaje de los participantes (capítulo 1, apartado 1.3.2.1). El uso de estos cuestionarios permite analizar:

- El conocimiento posterior de Biología, que corresponde con la nota del postest, contestado por los participantes a los 15 días de cada práctica.
- El aprendizaje de Biología o conocimientos de Biología adquiridos con las prácticas activas, calculado como la resta entre la nota del postest y la nota del pretest en un subconjunto de la muestra que está en o por debajo del percentil 75 del pretest.

#### **4.3.1.3 Análisis estadísticos**

##### ***4.3.1.3.1 Estadísticos descriptivos del valor subjetivo***

Dado que los datos no se ajustan a una distribución normal ( $p$ -valor $<0,05$ , test de normalidad Kolmogoro-Smirnov y Shapiro-Wilk), se determinan la mediana y el rango intercuartílico como estadísticos descriptivos del valor subjetivo (objetivo específico 4.1).

##### ***4.3.1.3.2 Análisis de las interacciones del valor con las emociones académicas, el conocimiento de Biología y el aprendizaje de Biología***

Se analizan, para la implementación de cada intervención en los diferentes años académicos, las siguientes interacciones:

- Interacciones del valor (estimado a través de un solo ítem) otorgado a las prácticas activas con las emociones experimentadas durante su realización. Se analizan las interacciones tanto con las emociones individuales como con los factores asociados a las emociones positivas y las negativas. Estas últimas se recogen en modelos factoriales, en las que se representan variables centradas (objetivo específico 4.3).
- Interacciones del valor (estimado a través de un solo ítem) otorgado a las prácticas activas con el nivel de conocimientos de Biología posterior a estas (nota del postest) (objetivo específico 4.5).
- Interacciones del valor (estimado a través de un solo ítem) otorgado a las prácticas activas con el aprendizaje de Biología (diferencia entre la nota del postest y la nota del pretest en un subconjunto de la muestra que está en o por debajo del percentil 75 del pretest) (objetivo específico 4.5).

Dado que los datos no se ajustan a una distribución normal ( $p$ -valor $<0,05$ , test de normalidad Kolmogoro-Smirnov y Shapiro-Wilk) se utiliza estadística no paramétrica. El análisis de correlación (Spearman para las correlaciones de las emociones individuales, nota del postest y aprendizaje/Pearson para las correlaciones de los factores asociados a las emociones positivas y negativas) y el análisis factorial se realizan con el programa SPSS (IBM software). Para la extracción de los factores asociados a los grupos de emociones

positivas y negativas se emplean mínimos cuadrados generalizados y una rotación Oblimin capítulo 2, apartado 2.3.2.1). Una vez calculados, los factores se guardan como variables centradas.

#### **4.3.1.3.3 Análisis en función del género**

Se realizan los siguientes estudios en función del género:

- Para examinar si existen sesgos de género en el valor otorgado por la muestra a las prácticas activas (objetivo específico 4.2), dado que los datos no se ajustan a una distribución normal ( $p$ -valor $<0,05$ , test de normalidad Kolmogoro-Smirnov y Shapiro-Wilk), se utiliza estadística no paramétrica para comparar las medianas (test de Wilcoxon para datos no apareados).
- Para examinar si existen diferencias de género en las interacciones emociones-valor (objetivo específico 4.4) y en las interacciones valor-conocimiento-aprendizaje (objetivo específico 4.6) se comparan los coeficientes de correlación de los alumnos y las alumnas, calculados para un intervalo de confianza del 95 % (dos desviaciones estándar) mediante remuestreo o *bootstrapping* ( $N=1000$ ). Los coeficientes de correlación se consideran diferentes cuando los intervalos de confianza no se solapan ( $p$ -valor $<0,001$ ).

### **4.3.2 Determinación de los constructos de valor (interés, utilidad y coste) otorgados por los maestros en formación inicial al uso integrado de Matemáticas y Biología y su relación con las emociones. Análisis en función del género**

#### **4.3.2.1 Muestra**

La muestra empleada para determinar los constructos de valor (interés, utilidad y coste) hacia el uso interdisciplinar de Matemáticas y Biología, así como su relación con las emociones hacia esta integración, consta de 327 maestros en formación inicial (muestra independiente a los participantes en los diferentes años académicos recogidos en la tabla 1.1), alumnos de tercero y cuarto del Grado en Educación Primaria de la Universidad de Extremadura (Facultades de Educación de Badajoz y de Formación del Profesorado de Cáceres) (66,1 % de mujeres). El acceso a los estudios de Grado de estos participantes fue mediante Bachillerato de Ciencias Sociales (61,2 %), Ciencias (24,5 %), Artes (2,4 %) y a través de Formación Profesional (9,2 %).

La muestra no es aleatoria, ya que se han elegido los representantes de la población de futuros maestros a los que se ha tenido acceso. Por tanto, los resultados no son extrapolables más allá del contexto local que representan.

### **4.3.2.2 Instrumentos**

#### ***4.3.2.2.1 Estimación de los constructos de valor (interés, utilidad y coste) hacia el uso interdisciplinar de Matemáticas y Biología mediante el cuestionario Math–Biology Values Instrument (MBVI)***

##### ***4.3.2.2.1.1 Descripción del test MBVI original***

De acuerdo con Andrews *et al.* (2017), el valor hacia el uso integrado de las Matemáticas y la Biología se puede estimar a través de tres constructos (dos positivos, interés y utilidad, y uno negativo, coste). Estos investigadores han diseñado y validado un cuestionario test multi-ítem con el que medir estos tres constructos de valor, atribuidos por estudiantes universitarios de Biología, al uso integrado de Matemáticas y Biología. De acuerdo con este trabajo, el valor que estos alumnos otorgan al uso de las Matemáticas en el contexto de la Biología se divide en:

- El interés, que hace referencia al disfrute de emplear las Matemáticas en Biología.
- La utilidad, entendida como el beneficio de emplear las Matemáticas en su futuro desempeño profesional como biólogos.
- El coste, que incluye los aspectos negativos relacionados con el uso de Matemáticas en Biología como el esfuerzo extra, la pérdida de oportunidades, la carga emocional...

Este test, denominado test MBVI (*Math–Biology Values Instrument*), consta de 11 ítems (4 con los que estimar el interés, 4 para estimar la utilidad y 3 para el coste), a responder mediante una escala Likert que oscila desde 1 “fuertemente en desacuerdo” a 7 “fuertemente de acuerdo”; y ha sido validado por Andrews *et al.* (2017) con un grupo de 207 estudiantes de Biología de cuatro universidades norteamericanas (anexo 7).

##### ***4.3.2.2.1.2 Adaptación del test MBVI a maestros en formación inicial***

Con el objetivo de determinar los constructos de valor (interés, utilidad y coste) hacia el uso de las Matemáticas en la enseñanza de la Biología de los maestros en formación inicial, se ha traducido y adaptado el test MBVI original. Se han reformulado sus 11 ítems para adaptarlos a una muestra de maestros en formación inicial (figura 4.2).

Estos se presentan de manera aleatoria a los participantes, quienes deben indicar su grado de acuerdo o desacuerdo con cada ítem siguiendo una escala Likert que oscila desde 1 “fuertemente en desacuerdo” a 7 “fuertemente de acuerdo”.

Ítems relativos al interés	Ítems relativos a la utilidad	Ítems relativos al coste
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Tengo curiosidad por utilizar las matemáticas para entender la biología</li> <li>2. Podría ser entretenido utilizar las matemáticas para entender la biología</li> <li>3. Me resulta atractivo utilizar las matemáticas para entender la biología</li> <li>4. Podría ser interesante utilizar las matemáticas para entender la biología</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Las matemáticas son un recurso valioso para mi futuro como maestro de contenidos de biología</li> <li>2. Es importante ser capaz de resolver cuestiones matemáticas para mi futuro como maestro de contenidos de biología</li> <li>3. Entender las matemáticas es esencial para mi futuro como maestro de contenidos de biología</li> <li>4. Las matemáticas serán útiles para mi futuro como maestro de contenidos de biología</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Incorporar las matemáticas a los contenidos de biología me supone un esfuerzo adicional</li> <li>2. Como alumno, me preocupa que, por incorporar las matemáticas, pueda sacar peores notas en contenidos de biología</li> <li>3. Me asusta un poco tener que incorporar las matemáticas a mis futuras clases de biología</li> </ol>

**Figura 4.2.** Ítems relativos a las valoraciones del interés, la utilidad y el coste de la inclusión de las Matemáticas en Biología adaptados a futuros maestros.

#### **4.3.2.2.1.3 Procedimiento de validación de la adaptación del test MBVI**

El proceso de validación de la adaptación del test MBVI consiste en la realización de un análisis factorial de acuerdo con los parámetros empleados por Andrews *et al.* (2017), así como en la comparación de los resultados obtenidos con los del análisis factorial realizado por los autores del cuestionario original. La validación se basa, por tanto, en su comportamiento factorial (consistencia interna) y en la concordancia con los resultados de la validación del test MBVI original (consistencia externa).

En el análisis factorial, realizado con el programa SPSS (IBM software), se emplea factorización de ejes principales como método de extracción y una rotación Oblimin (Andrews *et al.*, 2017). Para evaluar el modelo se estudian el porcentaje de varianza explicada, la fiabilidad (alfa de Cronbach) y la medida de adecuación muestral (test Kaiser-Meyer-Olkin, KMO); considerando factible el modelo si estos parámetros son superiores al 50 %, a 0,7 y a 0,8 respectivamente. Una vez calculados, los factores se guardan como variables centradas.

#### **4.3.2.2.2 Instrumento empleado para determinar las emociones hacia el uso de Matemáticas en Biología**

Para determinar las emociones de los participantes hacia el uso integrado de Matemáticas y Biología, la muestra responde al test autoinforme cuantitativo de emociones, diseñado y validado en esta Tesis Doctoral (capítulo 2, apartado 2.3.1). En este caso, el test de emociones se ha adaptado para determinar las emociones de los alumnos participantes respecto a la utilización de las Matemáticas en Biología (en concreto se formula la pregunta: ¿Qué emociones sientes o has sentido con la utilización de las Matemáticas en Biología?).

Al igual que en análisis anteriores en los que se ha empleado este cuestionario, los datos recogidos con el mismo se someten a un análisis factorial, realizado con el programa SPSS

(IBM software), en el que se emplea mínimos cuadrados generalizados como método de extracción y una rotación Oblimin (capítulo 2, apartado 2.3.2.1).

### **4.3.2.3 Análisis estadísticos**

#### ***4.3.2.3.1 Estadísticos descriptivos de los constructos de valor y las emociones***

Dado que los datos no se ajustan a una distribución normal (p-valor<0,05, test de normalidad Kolmogoro-Smirnov y Shapiro-Wilk), se determinan la mediana y el rango intercuartílico como estadísticos descriptivos de las emociones y los constructos de valor (objetivo específico 4.7).

#### ***4.3.2.3.2 Análisis de las interacciones entre los constructos de valor y las emociones hacia el uso integrado de Matemáticas y Biología***

Se analizan las interacciones de los factores asociados a los constructos de valor (interés, utilidad y coste) tanto con las emociones individuales como con los factores asociados a las emociones positivas y las negativas (objetivo específico 4.7). Estas últimas quedan recogidas en modelos factoriales en los que se representan variables centradas.

Dado que los datos no se ajustan a una distribución normal (p-valor<0,05, test de normalidad Kolmogoro-Smirnov y Shapiro-Wilk) se utiliza estadística no paramétrica (Spearman para las correlaciones de las emociones individuales/Pearson para las correlaciones de los factores asociados a las emociones positivas y negativas y a los constructos de valor).

Las regresiones lineales empleadas para representar estas interacciones se realizan con el programa Kaleidagraph (Synergy software).

#### ***4.3.2.3.3 Estudios en función del género***

Se realizan los siguientes estudios en función del género (objetivo específico 4.8):

- Determinación de sesgos de género en los constructos de valor y en las emociones hacia las Matemáticas en Biología. Dado que los datos no se ajustan a una distribución normal (p-valor<0,05, test de normalidad Kolmogoro-Smirnov y Shapiro-Wilk) se utiliza estadística no paramétrica (test de Wilcoxon para datos desapareados). Las gráficas se realizan con el programa Kaleidagraph (Synergy software).
- Determinación de sesgos de género en las interacciones entre los constructos de valor y en las emociones hacia las Matemáticas en Biología. Las diferencias entre los coeficientes de correlación de hombres y mujeres se calculan, para un intervalo de confianza del 95 % (dos desviaciones estándar), mediante remuestreo o *bootstrapping* (N=1000). Los coeficientes de correlación se consideran significativamente diferentes cuando los intervalos de confianza no se solapan (p-valor<0,001).

### **4.3.3 Determinación de los constructos de valor (interés, utilidad y coste) otorgados por los maestros en formación a la enseñanza activa interdisciplinar de Biología y su relación con las emociones, el conocimiento de Biología y el aprendizaje de Biología. Análisis en función del género**

#### **4.3.3.1 Muestra**

El análisis de los constructos de valor (interés, utilidad y coste) hacia el uso integrado de la Biología con otras disciplinas, así como su interacción con las emociones académicas, el conocimiento de Biología y el aprendizaje de Biología, se realiza para:

- La implementación de la práctica activa de Biología Evolutiva en el año académico 5 (n=143, tabla 1.1), práctica activa con un marcado enfoque interdisciplinar, sobre todo hacia las Matemáticas.
- La implementación de la práctica activa de Biología Celular en el año académico 4 (n=112, tabla 1.1), intervención abordada mediante un enfoque interdisciplinar, sobre todo hacia la Química.

#### **4.3.3.2 Instrumentos**

##### ***4.3.3.2.1. Instrumentos empleado para determinar los constructos de valor (interés, utilidad y coste) hacia la enseñanza interdisciplinar de Biología***

###### ***4.3.3.2.1.1 Instrumento empleado para determinar los constructos de valor hacia la enseñanza interdisciplinar de Biología y Matemáticas***

Para determinar los constructos de valor hacia el uso integrado de Matemáticas y Biología, antes y después de la implementación de la práctica activa de Biología Evolutiva, se emplea la adaptación del test MBVI para futuros maestros (apartado 4.3.2.2.2 del presente capítulo). Los participantes completan este cuestionario antes de la realización de la intervención y 15 días después de su implementación.

###### ***4.3.3.2.1.2 Instrumento empleado para determinar los constructos de valor hacia la enseñanza interdisciplinar de Biología y Química***

Para determinar los constructos de valor hacia el uso integrado de Biología y Química, antes y después de la implementación de la práctica activa de Biología Celular, se ha adaptado el test MBVI para maestros en formación inicial hacia el uso interdisciplinar de Biología y Química (figura 4.3). Los participantes completan este cuestionario antes de la realización de la intervención y 15 días después de su implementación.



Ítems relativos al interés	Ítems relativos a la utilidad	Ítems relativos al coste
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Tengo curiosidad por utilizar la química para entender la biología</li> <li>2. Podría ser entretenido utilizar la química para entender la biología</li> <li>3. Me resulta atractivo utilizar la química para entender la biología</li> <li>4. Podría ser interesante utilizar la química para entender la biología</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. La química es un recurso valioso para mi futuro como maestro de contenidos de biología</li> <li>2. Es importante ser capaz de resolver cuestiones químicas para mi futuro como maestro de contenidos de biología</li> <li>3. Entender la química es esencial para mi futuro como maestro de contenidos de biología</li> <li>4. La química será útil para mi futuro como maestro de contenidos de biología</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Incorporar la química a los contenidos de biología me supone un esfuerzo adicional</li> <li>2. Como alumno, me preocupa que, por incorporar la química, pueda sacar peores notas en contenidos de biología</li> <li>3. Me asusta un poco tener que incorporar la química a mis futuras clases de biología</li> </ol>

**Figura 4.3.** Ítems relativos a las valoraciones del interés, la utilidad y el coste de la inclusión de la Química en Biología adaptados a futuros maestros.

#### ***4.3.3.2.1.3 Validación de la adaptación del test MBVI hacia el uso integrado de Biología y Química***

Al igual que en la adaptación del test MBVI, se analiza el comportamiento factorial del test adaptado al uso integrado de Química y Biología. Para ello se realiza un análisis factorial, siguiendo los parámetros empleados en el análisis original por Andrews *et al.* (2017), con las respuestas de la muestra antes de la intervención de Biología Celular (n=112). La validación se basa en el comportamiento factorial del test adaptado (consistencia interna), así como en la concordancia con los resultados de la validación del test MBVI original (consistencia externa).

En el análisis factorial, realizado con el programa SPSS (IBM software), se emplea factorización de ejes principales como método de extracción y una rotación Oblimin (Andrews *et al.*, 2017). Para evaluar el modelo se estudian el porcentaje de varianza explicada, la fiabilidad (alfa de Cronbach) y la medida de adecuación muestral (test Kaiser-Meyer-Olkin, KMO); considerando factible el modelo si estos parámetros son superiores al 50 %, a 0,7 y a 0,8 respectivamente.

#### ***4.3.2.2.2 Instrumentos de emociones y conocimiento de Biología***

Para determinar las emociones experimentadas por los participantes durante las prácticas activas se emplea el cuestionario autoinforme cuantitativo de emociones, validado en la presente Tesis Doctoral (capítulo 2, apartado 2.3.2.4). Estas emociones son reportadas por los participantes a los 15 días de la implementación de las intervenciones.

Para determinar el conocimiento y el aprendizaje de Biología se emplean los cuestionarios (pretest y postest) diseñados para determinar la efectividad de ambas prácticas activas (capítulo 1, apartado 1.3.2.1). Se analizan:

- El conocimiento posterior de Biología (nota del postest, contestado por los participantes a los 15 días de cada práctica).
- El aprendizaje de Biología (diferencia entre la nota del postest y la nota del pretest en un subconjunto de la muestra que está en o por debajo del percentil 75 del pretest)

#### **4.3.3.3 Análisis estadísticos**

##### ***4.3.3.3.1 Análisis de los cambios en los constructos de valor (interés, utilidad y coste) con la implementación de las prácticas activas de Biología***

Para determinar la influencia de la implementación de las prácticas activas de Biología Evolutiva y Biología Celular en los constructos de valor (interés, utilidad y coste) hacia el uso integrado de la Biología, con las Matemáticas y la Química (objetivo específico 4.9), se comparan los ítems del cuestionario MBVI adaptado para ambos contextos antes y después de las intervenciones. Dado que los datos no se ajustan a una distribución normal ( $p$ -valor $<0,05$ , test de normalidad Kolmogoro-Smirnov y Shapiro-Wilk) se utiliza estadística no paramétrica (test de Wilcoxon para datos apareados). Las gráficas se realizan con el programa Kaleidagraph (Synergy software).

##### ***4.3.3.3.2 Análisis de las interacciones de los constructos de valor (interés, utilidad y coste) con las emociones académicas, el conocimiento de Biología y el aprendizaje de Biología***

Se analizan las asociaciones de los factores asociados a los constructos de valor (interés, utilidad y coste) con (objetivo específico 4.9):

- Las emociones experimentadas durante las prácticas activas. Se analizan las interacciones tanto con las emociones individuales como con los factores asociados a las emociones positivas y las negativas. Estas últimas se recogen en modelos factoriales, en las que se representan variables centradas.
- El nivel de conocimientos de Biología posterior a las prácticas activas (nota del postest).
- El aprendizaje de Biología (diferencia entre la nota del postest y la nota del pretest en un subconjunto de la muestra que está en o por debajo del percentil 75 del pretest).
- El valor otorgado a ambas prácticas activas (estimado mediante un solo ítem, apartado 4.3.1.2.1 del presente capítulo).

Dado que los datos no se ajustan a una distribución normal ( $p$ -valor $<0,05$ , test de normalidad Kolmogoro-Smirnov y Shapiro-Wilk) se utiliza estadística no paramétrica. El análisis de correlación (Spearman para las correlaciones de las emociones individuales/Pearson para las correlaciones de los factores asociados a las emociones positivas y negativas y los constructos de valor) y el análisis factorial se realizan con el programa SPSS (IBM software). Para la extracción de los factores asociados a los grupos de emociones positivas y negativas se emplean

mínimos cuadrados generalizados y una rotación Oblimin capítulo 2, apartado 2.3.2.1). Una vez calculados, los factores se guardan como variables centradas.

#### **4.3.3.3 Estudios en función del género**

Se realizan los siguientes análisis en función del género (objetivo específico 4.10):

- Determinación de sesgos de género en los constructos de valor antes y después de la implementación de las prácticas activas. Dado que los datos no se ajustan a una distribución normal ( $p\text{-valor} < 0,05$ , test de normalidad Kolmogoro-Smirnov y Shapiro-Wilk) se utiliza estadística no paramétrica (test de Wilcoxon para datos desapareados). Las gráficas se realizan con el programa Kaleidagraph (Synergy software).
- Determinación de sesgos de género en las interacciones de los constructos de valor con las emociones académicas, el conocimiento de Biología y el aprendizaje de Biología. Para comparar los coeficientes de correlación de hombres y mujeres, estos se calculan para un intervalo de confianza del 95 % (dos desviaciones estándar) mediante remuestreo o *bootstrapping* ( $N=1000$ ). Los coeficientes de correlación se consideran significativamente diferentes cuando los intervalos de confianza no se solapan ( $p\text{-valor} < 0,001$ ).

## **4.4. Resultados y discusión**

### **4.4.1 Valor, estimado a través de un solo ítem, otorgado por los maestros en formación inicial a las prácticas activas de Biología**

El análisis del valor (estimado con un único ítem, empleando una escala de 0 a 100), otorgado por los maestros en formación inicial participantes a las diferentes prácticas activas diseñadas en la presente Tesis Doctoral, es similar (tabla 4.1).

Los futuros maestros participantes otorgan una mediana de 80 puntos a las prácticas activas de Biología Celular y Biología Evolutiva, en los años en los que se analiza el valor (años académicos 3 y 4 en el caso de la primera, y año académico 5 en el caso de la segunda). Para la práctica activa de Microbiología se obtienen medianas de 80 puntos, en los años académicos 2 y 4, y de 83 puntos en el año académico 3. Estos resultados sugieren que los maestros en formación inicial participantes valoran positivamente las tres prácticas activas implementadas; apuntando que, mayoritariamente, los participantes consideran útiles, en relación a su futuro desempeño profesional como docentes de Educación Primaria, los conocimientos adquiridos durante dichas actividades. Estos resultados concuerdan con los obtenidos en distintas investigaciones previas, que han comprobado que la enseñanza activa es bien valorada por los estudiantes de distintos niveles educativos (Colburn, 2000; Huxham, 2005; Macheimer y Crawford, 2007; Umbach y Wawrzynski, 2005).

**Tabla 4.1.** Valor otorgado (mediana y, entre paréntesis, rango intercuartílico) por los participantes a las prácticas activas diseñadas en la presente Tesis Doctoral en los años académicos 2, 3, 4 y 5. Para cada año académico se incluyen, además, los parámetros mujeres (M) y hombres (H).

	<i>Total</i>	<i>M</i>	<i>H</i>
<b>Práctica activa de Biología Celular, Física y Química</b>			
<i>Año académico 3</i>	80 (24)	80 (28)	80 (20)
<i>Año académico 4</i>	80 (20)	80 (27,5)	80 (20)
<b>Práctica activa de Microbiología</b>			
<i>Año académico 2</i>	80 (20)	80 (20)	80 (21,25)
<i>Año académico 3</i>	83 (20)	80 (20)	80 (17,75)
<i>Año académico 4</i>	80 (20)	80 (20)	80 (15)
<b>Práctica activa de Biología Evolutiva</b>			
<i>Año académico 5</i>	80 (21)	80 (30)	80 (20)

Respecto a los análisis en función del género, hombres y mujeres otorgan una mediana de 80 puntos a las tres prácticas activas en los distintos años académicos analizados (tabla 4.1). En ningún año académico existen diferencias significativas en el valor otorgado entre ambos géneros ( $p$ -valor $>0,05$ , test de Wilcoxon).

#### **4.4.2 Análisis de las relaciones entre el valor a través de un solo ítem y las emociones de los maestros en formación inicial con las prácticas activas de Biología. Influencia del género**

El análisis de las asociaciones entre las emociones experimentadas, por los maestros en formación inicial con las prácticas activas diseñadas en la presente Tesis Doctoral, y el valor subjetivo otorgado a las mismas, estimado a través de un solo ítem, es diferente según la valencia de las emociones académicas (tablas 4.2, 4.3 y 4.4).

Los análisis de correlación de Spearman revelan que, en general, el valor, otorgado por los futuros maestros participantes a la enseñanza de Biología mediante prácticas activas, se asocia positivamente con la intensidad de las emociones individuales positivas sentidas durante su implementación; así como negativamente con la intensidad de algunas de las emociones negativas a nivel individual. En cuanto a las emociones positivas, se observan, en las tres prácticas activas, correlaciones positivas entre la intensidad de las cinco emociones positivas analizadas (alegría, confianza, satisfacción, entusiasmo y diversión) y el valor subjetivo (estimado a través de un solo ítem), exceptuando la diversión sentida durante la práctica activa de Microbiología en el año académico 2. Respecto a las emociones negativas, se detecta, para las tres prácticas activas en todos los años académicos, una correlación negativa entre el valor otorgado a las intervenciones y la intensidad de aburrimiento sentido durante las mismas. Además, se observan correlaciones negativas entre el valor y otras emociones negativas para prácticas y cursos académico concretos: i) el nerviosismo en las prácticas activas de Biología Evolutiva y Biología Celular (año académico 4), ii) la preocupación en las prácticas activas de Biología Evolutiva y Microbiología (año académico 4) y iii) la frustración en las prácticas activas de Biología Evolutiva, y de Biología Celular y Microbiología (año académico 4).

**Tabla 4.2.** Coeficientes de correlación de la intensidad de las emociones sentidas durante la implementación de la práctica activa diseñada para la enseñanza de Biología Celular con el valor otorgado a esta intervención (estimado como un único ítem en una escala de 0 a 100) durante los años académicos 3 y 4. En negrita se resaltan las correlaciones significativas (Correlación de Spearman, \*\*\*p-valor<0,001; \*\*p-valor<0,01, \*p-valor<0,05). En sombreado se señalan las diferencias significativas entre los coeficientes de correlación de hombres (H) y mujeres (M), calculadas mediante remuestreo o *bootstrapping*.

<i>Año académico 3</i>			
<i>Emociones experimentadas durante la implementación de la práctica activa de Biología Celular</i>	<i>Coefficiente de correlación con el valor otorgado</i>		
	<i>Total</i>	<i>M</i>	<i>H</i>
<i>Alegría</i>	<b>0,242**</b>	0,156	<b>0,353**</b>
<i>Confianza</i>	<b>0,238**</b>	0,150	<b>0,379**</b>
<i>Satisfacción</i>	<b>0,303***</b>	<b>0,358***</b>	0,233
<i>Entusiasmo</i>	<b>0,371***</b>	<b>0,325**</b>	<b>0,444**</b>
<i>Diversión</i>	<b>0,164*</b>	0,199	0,070
<i>Nerviosismo</i>	-0,020	0,084	-0,188
<i>Aburrimiento</i>	<b>-0,192*</b>	<b>-0,232*</b>	-0,117
<i>Frustración</i>	-0,004	-0,126	0,108
<i>Preocupación</i>	-0,134	-0,079	-0,214
<i>Incertidumbre</i>	-0,011	-0,030	0,046
<i>Año académico 4</i>			
<i>Alegría</i>	<b>0,343**</b>	<b>0,319*</b>	<b>0,350*</b>
<i>Confianza</i>	<b>0,371***</b>	<b>0,362**</b>	<b>0,445**</b>
<i>Satisfacción</i>	<b>0,369***</b>	<b>0,309*</b>	<b>0,421**</b>
<i>Entusiasmo</i>	<b>0,208*</b>	0,142	0,298
<i>Diversión</i>	<b>0,425***</b>	<b>0,270*</b>	<b>0,558***</b>
<i>Nerviosismo</i>	<b>-0,338**</b>	<b>-0,387**</b>	-0,269
<i>Aburrimiento</i>	<b>-0,276**</b>	-0,252	-0,275
<i>Frustración</i>	<b>-0,213*</b>	-0,152	-0,240
<i>Preocupación</i>	-0,081	-0,028	-0,144
<i>Incertidumbre</i>	-0,131	-0,075	-0,203

**Tabla 4.3.** Coeficientes de correlación de la intensidad de las emociones sentidas durante la implementación de la práctica activa diseñada para la enseñanza de Microbiología con el valor otorgado a esta intervención (estimado como un único ítem en una escala de 0 a 100) durante los años académicos 2, 3 y 4. En negrita se resaltan las correlaciones significativas (Correlación de Spearman, \*\*\*p-valor<0,001; \*\*p-valor<0,01, \*p-valor<0,05). En sombreado se señalan las diferencias significativas entre los coeficientes de correlación de hombres (H) y mujeres (M), calculadas mediante remuestreo o *bootstrapping*.

<i>Año académico 2</i>			
<i>Emociones experimentadas durante la implementación de la práctica activa de Microbiología</i>	<i>Coefficiente de correlación con el valor otorgado</i>		
	<i>Total</i>	<i>M</i>	<i>H</i>
<i>Alegría</i>	<b>0,328***</b>	<b>0,284**</b>	<b>0,408**</b>
<i>Confianza</i>	<b>0,209*</b>	0,192	<b>0,286*</b>
<i>Satisfacción</i>	<b>0,192*</b>	0,137	0,233
<i>Entusiasmo</i>	<b>0,167*</b>	0,111	<b>0,350*</b>
<i>Diversión</i>	0,125	0,013	<b>0,415**</b>
<i>Nerviosismo</i>	-0,109	-0,177	0,087
<i>Aburrimiento</i>	<b>-0,192*</b>	-0,136	-0,181
<i>Frustración</i>	-0,130	-0,151	0,011
<i>Preocupación</i>	-0,049	0,039	-0,140
<i>Incertidumbre</i>	-0,009	-0,050	0,125
<i>Año académico 3</i>			
<i>Alegría</i>	<b>0,339***</b>	<b>0,286*</b>	<b>0,437**</b>
<i>Confianza</i>	<b>0,190*</b>	0,167	0,266
<i>Satisfacción</i>	<b>0,263**</b>	<b>0,280*</b>	0,237
<i>Entusiasmo</i>	<b>0,323***</b>	<b>0,290**</b>	<b>0,379**</b>
<i>Diversión</i>	<b>0,180*</b>	0,145	0,227
<i>Nerviosismo</i>	0,141	0,132	0,200
<i>Aburrimiento</i>	<b>-0,247**</b>	<b>-0,300**</b>	-0,156
<i>Frustración</i>	0,085	0,008	0,250
<i>Preocupación</i>	0,018	-0,018	0,090
<i>Incertidumbre</i>	0,081	0,071	0,117
<i>Año académico 4</i>			
<i>Alegría</i>	<b>0,461***</b>	<b>0,456***</b>	<b>0,360*</b>
<i>Confianza</i>	<b>0,499***</b>	<b>0,471***</b>	<b>0,505***</b>
<i>Satisfacción</i>	<b>0,340**</b>	0,256	<b>0,351*</b>
<i>Entusiasmo</i>	<b>0,412**</b>	<b>0,309*</b>	<b>0,444**</b>
<i>Diversión</i>	<b>0,416***</b>	<b>0,397**</b>	<b>0,329*</b>
<i>Nerviosismo</i>	-0,096	-0,070	-0,084
<i>Aburrimiento</i>	<b>-0,412**</b>	<b>-0,543***</b>	<b>-0,316*</b>
<i>Frustración</i>	<b>-0,264**</b>	<b>-0,341*</b>	-0,121
<i>Preocupación</i>	<b>-0,308**</b>	<b>-0,418**</b>	-0,149
<i>Incertidumbre</i>	-0,058	-0,023	-0,024

**Tabla 4.4.** Coeficientes de correlación de la intensidad de las emociones sentidas durante la implementación de la práctica activa diseñada para la enseñanza de Biología Evolutiva con el valor otorgado a esta intervención (estimado como un único ítem en una escala de 0 a 100) en el año académico 5. En negrita se resaltan las correlaciones significativas (Correlación de Spearman, \*\*\*p-valor<0,001; \*\*p-valor<0,01, \*p-valor<0,05). En sombreado se señalan las diferencias significativas entre los coeficientes de correlación de hombres (H) y mujeres (M), calculadas mediante remuestreo o *bootstrapping*.

<i>Emociones experimentadas durante la implementación de la práctica activa de Biología Evolutiva</i>	<i>Coefficiente de correlación con el valor otorgado</i>		
	<i>Total</i>	<i>M</i>	<i>H</i>
<i>Alegría</i>	<b>0,292***</b>	<b>0,408***</b>	0,108
<i>Confianza</i>	<b>0,254**</b>	<b>0,376***</b>	0,030
<i>Satisfacción</i>	<b>0,319***</b>	<b>0,455***</b>	0,118
<i>Entusiasmo</i>	<b>0,264**</b>	<b>0,335**</b>	0,128
<i>Diversión</i>	<b>0,269**</b>	<b>0,365***</b>	0,091
<i>Nerviosismo</i>	<b>-0,430***</b>	<b>-0,481***</b>	<b>-0,293*</b>
<i>Aburrimiento</i>	<b>-0,270**</b>	<b>-0,390***</b>	-0,122
<i>Frustración</i>	<b>-0,217**</b>	<b>-0,362**</b>	0,014
<i>Preocupación</i>	<b>-0,235**</b>	<b>-0,254*</b>	-0,189
<i>Incertidumbre</i>	-0,130	-0,177	-0,010

#### 4.4.2.1 Estudio de las asociaciones emociones-valor en función del género

Respecto al análisis de las interacciones del valor subjetivo con las emociones en función del género de los futuros maestros participantes, se observan algunas diferencias entre los coeficientes de correlación de hombres y mujeres; sobre todo para la práctica activa de Biología Evolutiva (tabla 4.4). En esta práctica, implementada solo durante el año académico 5, se observan, solo en mujeres, correlaciones positivas entre el valor otorgado a la práctica y la intensidad de las emociones positivas (alegría, confianza, satisfacción, entusiasmo y diversión) sentidas durante su realización. Además, estos coeficientes de correlación son significativamente distintos a los de los hombres. Asimismo, se observan, en las mujeres, asociaciones negativas, significativamente distintas a las de los hombres, entre el valor y las emociones negativas aburrimiento, nerviosismo y frustración.

En relación a las prácticas activas de Biología Celular y Microbiología (tablas 4.2 y 4.3), se observan correlaciones significativas entre el valor y la intensidad de las emociones positivas y negativas en ambos géneros, sólo en hombres o sólo en mujeres; aunque solo se observan diferencias significativas entre los coeficientes de correlación de ambos géneros para algunas emociones positivas. En concreto, las correlaciones positivas del valor con algunas emociones positivas (confianza y diversión en el caso de la práctica activa de Biología Celular, y entusiasmo y diversión para la práctica activa de Microbiología) son mayores en hombres.



Estos resultados indican que el sesgo de género depende tanto de la actividad implementada como del año académico: aunque en la implementación de las tres prácticas activas de Biología se observa algún sesgo de género, no se puede establecer una pauta común para ninguna emoción.

#### **4.4.2.2 Discusión**

Estos resultados sugieren que aquellos futuros maestros que valoraban mejor las prácticas activas de Biología, implementadas dentro de su programa formativo, son aquellos que experimentaron, durante su realización, más emociones positivas y menos negativas (sobre todo menos aburrimiento). Estos resultados concuerdan con algunas investigaciones previas, las cuales han revelado que el valor subjetivo otorgado por alumnos a actividades académicas se asocia positivamente con emociones académicas positivas como el entusiasmo, así como negativamente con emociones negativas como el aburrimiento (Artino *et al.*, 2010; Noteborn *et al.*, 2012; Pekrun *et al.*, 2011). Estas asociaciones entre emociones y valor se acomodan al papel evolutivo de las emociones, y a su capacidad de asignar valor a los estímulos que los seres humanos reciben de su entorno (Damasio, 2010; Dolan, 2002; Etkin *et al.*, 2015).

Los resultados de esta investigación revelan que esta interacción entre las emociones y el valor subjetivo también se produce en ambientes académicos, en concreto durante la enseñanza práctica activa de la Biología. Por tanto, las interacciones emociones-valor detectadas se ajustan a la teoría control-valor (Pekrun, 2006). Según esta teoría, las emociones académicas están relacionadas con la estimación del valor que los alumnos realizan ante los procesos de enseñanza-aprendizaje. De acuerdo con esta teoría, y teniendo en cuenta los resultados expuestos, las emociones sentidas por los futuros maestros participantes, durante la realización de las prácticas activas, podrían estar vinculadas al valor que estos le otorgan a las metodologías activas implementadas en relación a su futuro desempeño profesional. Por tanto, los cambios detectados en las emociones de los maestros en formación inicial con la implementación de las prácticas activas (recogidos en el capítulo 2 y que, a grandes rasgos, consisten en aumentos en la intensidad de las emociones positivas y disminuciones en la intensidad de las negativas) podrían estar relacionados con el valor otorgado por estos alumnos a las intervenciones en relación a su futuro como maestros de contenidos de Biología.

Al igual que en los estudios del grupo de investigación de Pekrun, en este apartado de la Tesis Doctoral se ha estimado el valor considerando a este como un constructo exclusivamente positivo. Esta simplificación del valor podría ser la causa de que, al igual que en estas y otras investigaciones (Artino, 2009; Villavicencio y Bernardo, 2013), se haya detectado un mayor número de correlaciones del valor con las emociones positivas. Esto explicaría, además, el hecho de que el aburrimiento (emoción negativa que, como se ha mostrado en el capítulo 2 de la

presente Tesis Doctoral, muestra un comportamiento diferente al resto de emociones negativas, ya que correlaciona negativamente con las emociones positivas) correlacione, en todos los casos, negativamente con el valor. Estas interacciones se corroboran en los modelos recogidos en el apartado 4.4.4 del presente capítulo, en el cual se representan las interacciones del valor con los factores asociados a las emociones positivas y negativas.

#### **4.4.3 Análisis de las relaciones entre el valor a través de un solo ítem, el conocimiento de Biología y el aprendizaje de Biología de los maestros en formación inicial con las prácticas activas de Biología**

El análisis de los resultados de las asociaciones del valor subjetivo (estimado a través de un solo ítem) otorgado, por los futuros maestros participantes a las tres prácticas activas implementadas, con el conocimiento de Biología posterior a su realización (nota del postest) y con el aprendizaje (calculando como la diferencia entre la nota del postest y la nota del pretest en un subconjunto de datos de la muestra que está en o por debajo del percentil 75 del pretest), revelan asociaciones positivas del valor subjetivo con el nivel de conocimientos posteriores a la realización de las prácticas y con el aprendizaje (tablas 4.5 y 4.6).

En relación a las interacciones con el conocimiento de Biología (tabla 4.5), los análisis de correlación de Spearman revelan asociaciones positivas entre la nota del postest y el valor para las tres prácticas activas: práctica activa de Biología Celular (año académico 3), de Microbiología (años académicos 3 y 4) y de Biología Evolutiva (año académico 5). Respecto al aprendizaje (tabla 4.6), de igual modo a lo observado para los conocimientos de Biología posteriores, se observan correlaciones positivas con el valor en las tres prácticas activas: prácticas activas de Biología Celular (año académico 3), de Microbiología (años académicos 2, 3 y 4) y de Biología Evolutiva (año académico 5).

**Tabla 4.5.** Coeficientes de correlación del valor otorgado por los participantes a las prácticas activas diseñadas en la presente Tesis Doctoral (estimado como un único ítem en una escala de 0 a 100) con los conocimientos de Biología posteriores a su realización (nota del postest) en los años académicos 2, 3, 4 y 5. En negrita se resaltan las correlaciones significativas (Correlación de Spearman, \*\*p-valor<0,01, \*p-valor<0,05). En sombreado se señalan las diferencias significativas entre los coeficientes de correlación de hombres (H) y mujeres (M), calculadas mediante remuestreo o *bootstrapping*.

	<i>Coeficiente de correlación de la nota del postest con el valor otorgado</i>		
	<i>Total</i>	<i>M</i>	<i>H</i>
<b>Práctica activa de Biología Celular, Física y Química</b>			
<i>Año académico 3</i>	<b>0,239**</b>	<b>0,351*</b>	0,050
<i>Año académico 4</i>	0,136	0,124	0,174
<b>Práctica activa de Microbiología</b>			
<i>Año académico 2</i>	<b>0,184*</b>	0,148	0,274
<i>Año académico 3</i>	<b>0,269**</b>	<b>0,325**</b>	0,174
<i>Año académico 4</i>	0,199	0,151	0,210
<b>Práctica activa de Biología Evolutiva</b>			
<i>Año académico 5</i>	<b>0,169*</b>	<b>0,217*</b>	<b>0,397**</b>

**Tabla 4.6.** Coeficientes de correlación del valor otorgado por los participantes a las prácticas activas diseñadas en la presente Tesis Doctoral (estimado como un único ítem en una escala de 0 a 100) con el aprendizaje (calculado como la diferencia entre la nota del postest y la nota del pretest en un subconjunto de datos de la muestra que está en o por debajo del percentil 75 del pretest) en los años académicos 2, 3, 4 y 5, para el total de la muestra, mujeres (M) y hombres (H). En negrita se resaltan las correlaciones significativas (Correlación de Spearman, \*\*p-valor<0,01, \*p-valor<0,05).

	<i>Coeficiente de correlación del aprendizaje con el valor otorgado</i>		
	<i>Total</i>	<i>M</i>	<i>H</i>
<b>Práctica activa de Biología Celular, Física y Química</b>			
<i>Año académico 3</i>	<b>0,219*</b>	<b>0,289*</b>	0,109
<i>Año académico 4</i>	0,217	0,201	0,133
<b>Práctica activa de Microbiología</b>			
<i>Año académico 2</i>	<b>0,248*</b>	0,212	0,191
<i>Año académico 3</i>	<b>0,251**</b>	<b>0,250*</b>	0,210
<i>Año académico 4</i>	<b>0,291*</b>	<b>0,391*</b>	0,069
<b>Práctica activa de Biología Evolutiva</b>			
<i>Año académico 5</i>	<b>0,192*</b>	0,167	0,240

#### 4.4.3.1 Estudio de las interacciones valor-conocimiento-aprendizaje en función del género

Los análisis de estas interacciones en función del género (tablas 4.5 y 4.6) muestran que no existen diferencias significativas entre los coeficientes de correlación de hombres y mujeres; a pesar de que se solo se observan correlaciones significativas en mujeres entre ambas variables y el valor. El hecho de que no se observen correlaciones significativas en hombres podría deberse al tamaño de la muestra (al ser menor el número de participantes de género masculino es más

complejo detectar correlaciones). Solo en el año académico 3, para la práctica activa de Biología Celular, se observa una correlación positiva entre el valor y la nota del postest que es significativa solo en mujeres, y cuyo coeficiente de correlación es significativamente distinto al de los hombres.

#### **4.4.3.2 Discusión**

Las correlaciones detectadas sugieren que aquellos futuros maestros que valoraban mejor a las prácticas activas implementadas son aquellos que obtuvieron mejores calificaciones en el postest, así como aquellos que aprendieron más conceptos de Biología tras su realización. Estos resultados concuerdan con distintas investigaciones previas que han detectado asociaciones positivas entre el valor subjetivo otorgado por los alumnos a las actividades académicas y el rendimiento académico (Giles *et al.*, 2006; Machemer y Crawford, 2007). Asimismo, dado que el valor se ha estimado con un único ítem (formulado en relación a la utilidad de las prácticas implementadas para su futuro profesional), estos resultados coinciden con los de trabajos previos que han revelado que resaltar la aplicabilidad de los contenidos abordados en el aula, así como relacionarlos con la vida cotidiana de los alumnos, mejora su rendimiento académico (Matthews *et al.*, 2010). Esta mejora en el rendimiento académico se produce cuando los contenidos son bien valorados, y percibidos como útiles, por los estudiantes (Hulleman *et al.*, 2010).

Los resultados obtenidos concuerdan, por tanto, en la teoría de la expectativa-valor (Eccles y Wigfield, 2002). Según esta teoría, el valor que los alumnos dan a los procesos de enseñanza-aprendizaje influye en su rendimiento académico (Eccles *et al.*, 2005). Esta relación ha sido detectada en alumnos de distintos niveles educativos (Artino *et al.*, 2010; Lee *et al.*, 2014; McClendon, 1996). Los resultados expuestos anteriormente revelan que, además de obtener un mejor rendimiento académico (mejor nivel de conocimientos posteriores a una actividad o proceso educativo), aquellos participantes que otorgaban más valor a las prácticas activas son los que aprendieron más conceptos científicos. Las correlaciones detectadas muestran que el valor se asocia positivamente con el aprendizaje, aunque no permiten establecer una determinada causalidad en la interacción entre ambas variables. No se puede inferir si el aprendizaje logrado por los participantes es consecuencia de mayores niveles de valor hacia las prácticas activas, o si el aprendizaje resultante de las prácticas activas es el causante de los aumentos en el valor subjetivo hacia las intervenciones. Se requieren, por tanto, futuras investigaciones con las que profundizar en el papel del valor subjetivo, otorgado por los alumnos hacia las ciencias, en el aprendizaje de esta disciplina.

Las correlaciones detectadas entre el valor subjetivo, las emociones académicas y el aprendizaje (el valor correlaciona positivamente con las emociones positivas individuales y con los

conocimientos posteriores y el aprendizaje, y negativamente con las emociones negativas individuales) permiten ahondar en el papel de las emociones en la enseñanza activa de las ciencias (desarrollado en el capítulo 3 de la presente Tesis Doctoral). Las correlaciones emociones-conocimiento-aprendizaje recogidas en dicho capítulo (de manera mayoritaria positivas con las emociones positivas y negativas con las emociones negativas) no permiten establecer una relación causa-efecto de las emociones en el aprendizaje. Al confrontar estas correlaciones emociones-conocimiento-aprendizaje con las detectadas en este capítulo (asociaciones del valor, con las emociones, el conocimiento y el aprendizaje) se podría sugerir que la relación entre variables cognitivas y emocionales, detectada en la presente Tesis Doctoral, podría estar mediada por un aumento del valor, otorgado por los participantes, a las prácticas activas implementadas. Esta mediación del valor, entre el aprendizaje y las emociones, concuerda con las investigaciones que han mostrado que la información emocional se recuerda mejor por los individuos, ya que es considerada por estos como útil (Dunsmoor *et al.*, 2015).

#### **4.4.4 Modelos sobre las interacciones del valor a través de un solo ítem con el conocimiento de Biología, el aprendizaje de Biología y los factores asociados a las emociones positivas y negativas**

Las interacciones del valor (estimado con un solo ítem, en una escala de 0 a 100), otorgado por los participantes a cada una de las prácticas activas de Biología, con los factores asociados al conjunto de las emociones positivas y negativas; así como con el nivel de conocimientos de Biología posterior a dichas actividades (nota del postest) y el aprendizaje (nota del postest menos nota del pretest en una submuestra que está en o por debajo del percentil 75 del pretest), se integran en un modelo para cada una de las prácticas activas y año académico (figuras 4.4, 4.5 y 4.6).

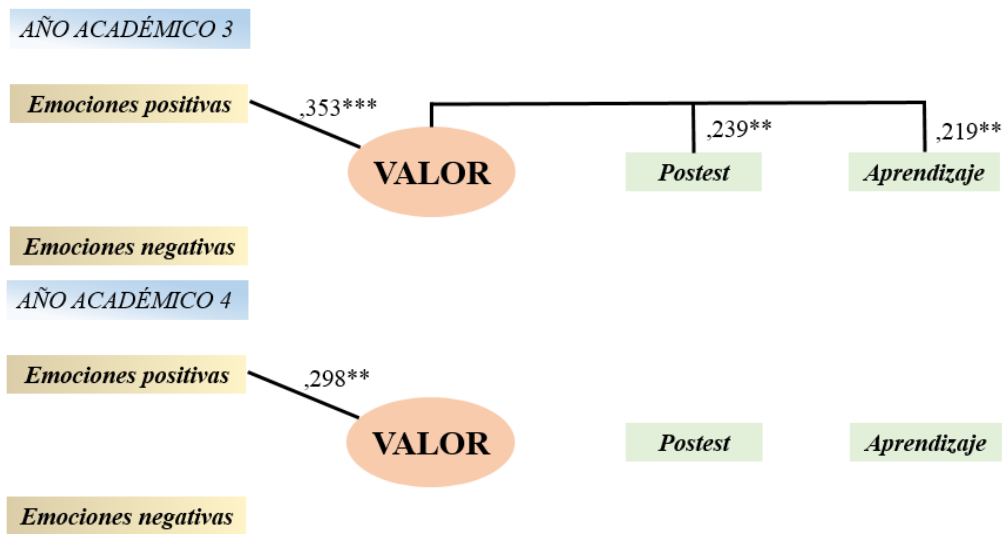
Las interacciones valor-conocimiento-aprendizaje han sido descritas en el apartado anterior (apartado 4.4.3), mostrándose que:

- En el 66,66 % de las intervenciones se observan correlaciones positivas entre el valor y la nota del postest.
- En el 83,33 % de los experimentos se observan correlaciones positivas entre el valor y el aprendizaje.

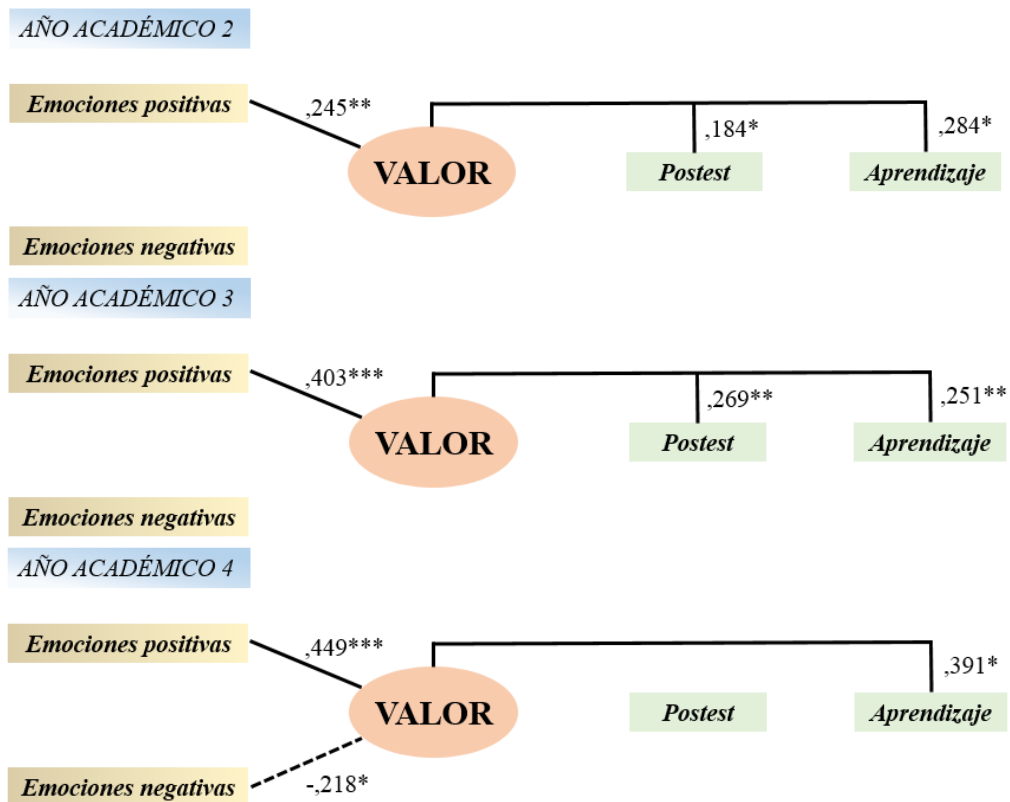
Respecto a las emociones, sus asociaciones con el valor han mostrado, de manera consistente, una asociación positiva con todas las emociones individuales positivas, y asociaciones negativas con algunas de las emociones individuales negativas (apartado 4.4.2). Estas observaciones sugieren que los factores latentes que resultan de las emociones positivas y negativas podrían asociarse al valor. El análisis de las asociaciones del valor con los factores de las emociones

positivas y negativas sentidas durante las intervenciones confirma esta circunstancia, revelando que:

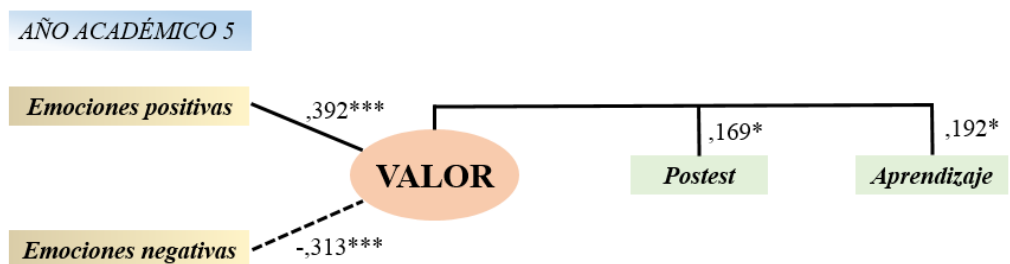
- En el 100 % de los experimentos se observan correlaciones positivas entre el valor y el factor de las emociones positivas.
- En el 33,33 % de los experimentos (año académico 4 de la práctica activa de Microbiología, y año académico 5 en la práctica activa de Biología Evolutiva) se observan correlaciones negativas entre el valor y el factor de las emociones negativas.



**Figura 4.4.** Modelo que representa las asociaciones significativas del valor (estimado como un único ítem en una escala de 0 a 100), otorgado por los participantes a la práctica activa de Biología Celular (años académicos 3 y 4), con los factores asociados a las emociones positivas y negativas, experimentadas durante su realización; y con los conocimientos de Biología posteriores (postest) y el aprendizaje de Biología. Las estrellas sobre las líneas continuas (correlaciones positivas) y discontinuas (correlaciones negativas) indican \*\*\*p-valor<0,001,\*\*p-valor<0,01 (correlación de Spearman/Pearson).



**Figura 4.5.** Modelo que representa las asociaciones significativas del valor (estimado como un único ítem en una escala de 0 a 100), otorgado por los participantes a la práctica activa de Microbiología (años académicos 2, 3 y 4), con los factores asociados a las emociones positivas y negativas, experimentadas durante su realización; y con los conocimientos de Biología posteriores (postest) y el aprendizaje de Biología. Las estrellas sobre las líneas continuas (correlaciones positivas) y discontinuas (correlaciones negativas) indican \*\*\*p-valor<0,001, \*\*p-valor<0,01, \*p-valor <0,05 (correlación de Spearman/Pearson).



**Figura 4.6.** Modelo que representa las asociaciones significativas del valor (estimado como un único ítem en una escala de 0 a 100), otorgado por los participantes a la práctica activa de Biología Evolutiva (año académico), con los factores asociados a las emociones positivas y negativas, experimentadas durante su realización; y con los conocimientos de Biología posteriores (postest) y el aprendizaje de Biología. Las estrellas sobre las líneas continuas (correlaciones positivas) y discontinuas (correlaciones negativas) indican \*\*\*p-valor<0,001, \*p-valor <0,05 (correlación de Spearman/Pearson).

En su conjunto, estos resultados sugieren que aquellos futuros maestros que otorgan más valor, en relación a su futuro desempeño profesional como docentes de Educación Primaria, a las prácticas activas de Biología, son aquellos que han sentido, durante su implementación, más emociones positivas y menos emociones negativas; así como aquellos que han tenido un mejor rendimiento académico (mayor nivel de conocimientos posteriores de Biología) y han aprendido

más Biología. Destacan, al detectarse en la mayoría de los años académicos para las tres prácticas activas, las correlaciones positivas del valor con el factor de las emociones positivas (que concuerdan con las correlaciones detectadas, para las emociones positivas individuales, en el apartado 4.4.2; tablas 4.2, 4.3 y 4.4), así como con el aprendizaje. Estos resultados invitan a realizar un análisis más exhaustivo de estas interacciones, por ello, en los próximos apartados se analiza el valor mediante tres constructos (interés, utilidad y coste), cada uno de los cuales se mide a través de varios ítems.

#### **4.4.5 Análisis de los constructos de valor (interés, utilidad y coste) de los futuros maestros hacia el uso integrado de Matemáticas y Biología, y su relación las emociones. Influencia del género**

##### **4.4.5.1 Validación del test MBVI adaptado a maestros en formación inicial: análisis factorial**

La validación del cuestionario, adaptado del test MBVI, para medir los tres constructos de valor (interés, utilidad y coste) otorgado por los maestros en formación al uso de Matemáticas en Biología, consiste en la realización de un análisis factorial con los datos obtenidos con dicho cuestionario con una muestra de 327 participantes. Asimismo, se realiza un análisis factorial con las respuestas al test de emociones académicas sentidas por los participantes hacia el uso integrado de ambas disciplinas (tabla 4.7).



**Tabla 4.7.** Análisis factorial de los ítems pertenecientes al test MBVI (izquierda) y al test de emociones (derecha). En la parte superior se recoge la matriz de estructura de cada modelo factorial, resaltándose en negrita las correlaciones más elevadas dentro de cada factor. En la parte inferior, sombreadas, se muestran la prueba de fiabilidad ( $\alpha$  de Cronbach), el porcentaje de varianza explicada, la medida de adecuación muestral (KMO) y el test  $\chi^2$  (solo para el análisis realizado con las emociones)

Valor	Matriz de estructura			Emociones	Matriz de estructura	
	Factor 1	Factor 2	Factor 3		Factor 1	Factor 2
<i>Interés 1</i>	0,665	-0,247	<b>0,818</b>	<i>Alegría</i>	<b>0,807</b>	-0,352
<i>Interés 2</i>	0,696	-0,290	<b>0,863</b>	<i>Confianza</i>	<b>0,740</b>	-0,421
<i>Interés 3</i>	0,595	-0,336	<b>0,830</b>	<i>Satisfacción</i>	<b>0,745</b>	-0,180
<i>Interés 4</i>	0,715	-0,259	<b>0,879</b>	<i>Entusiasmo</i>	<b>0,890</b>	-0,249
<i>Utilidad 1</i>	<b>0,829</b>	-0,098	0,761	<i>Diversión</i>	<b>0,830</b>	-0,295
<i>Utilidad 2</i>	<b>0,826</b>	-0,019	0,637	<i>Nerviosismo</i>	-0,289	<b>0,803</b>
<i>Utilidad 3</i>	<b>0,882</b>	-0,052	0,661	<i>Aburrimiento</i>	-0,532	<b>0,435</b>
<i>Utilidad 4</i>	<b>0,877</b>	-0,108	0,746	<i>Frustración</i>	-0,425	<b>0,731</b>
<i>Coste 1</i>	-0,002	<b>0,750</b>	-0,230	<i>Preocupación</i>	-0,424	<b>0,904</b>
<i>Coste 2</i>	-0,072	<b>0,669</b>	-0,232	<i>Incertidumbre</i>	-0,139	<b>0,669</b>
<i>Coste 3</i>	-0,047	<b>0,804</b>	-0,345	<i>Test <math>\chi^2</math></i>	0,066	
<i><math>\alpha</math> Cronbach</i>	0,913	0,781	0,914	<i><math>\alpha</math> Cronbach</i>	0,898	0,832
<i>Porcentaje de varianza explicada</i>	68,56 %			<i>Porcentaje de varianza explicada</i>	61,26 %	
<i>KMO</i>	0,906			<i>KMO</i>	0,886	

En todos los dos casos la medida de adecuación muestral (test KMO) es mayor a 0,8, y la prueba de esfericidad de Bartlett otorga un p-valor menor de 0,05, lo que indica que los datos analizados son adecuados para realizar un análisis factorial. Asimismo, la fiabilidad (coeficiente alfa de Cronbach) es siempre superior a 0,7, señalando que los factores extraídos (tanto para los constructos de valor como para las emociones) son fiables, dadas las correlaciones entre los ítems que agrupa cada factor. Además, en el caso del análisis factorial realizado con los datos del test autoinforme de emociones, la prueba de bondad del ajuste (test  $\chi^2$ ) otorga un p-valor > 0,05, lo que muestra que los datos proporcionados por el modelo factorial no son significativamente diferentes a los observados. Los resultados de estos parámetros sugieren que, en ambos casos, los modelos factoriales son plausibles.

Los resultados del análisis factorial de los ítems del test MBVI, como se observa en la matriz de estructura, indican que estos se pueden agrupar en tres factores, los cuales corresponden con los tres constructos de valor: interés, utilidad y coste. El factor 1 correlaciona positivamente con los ítems de la utilidad, el factor 2 con los ítems del coste y el factor 3 con los ítems del interés; lo

que sugiere que el factor 1 se corresponde con la utilidad, el factor 2 con el coste y el factor 3 con el interés. Este comportamiento factorial apoya la consistencia interna del cuestionario MBVI adaptado. Asimismo, los resultados obtenidos en el análisis factorial concuerdan con los del análisis factorial realizado por Andrews *et al.* (2017) en la validación de test MBVI original con biólogos en formación. Esta concordancia apoya la consistencia externa de la adaptación del test MBVI.

Los resultados del análisis factorial de las emociones indican que estas se pueden agrupar en dos factores: el factor 1, que correlaciona positivamente con las emociones positivas (alegría, confianza, satisfacción, entusiasmo y diversión), y el factor 2, que lo hace con las negativas (preocupación, frustración, incertidumbre, nerviosismo y aburrimiento). Esto sugiere que el factor 1 corresponde al constructo de las emociones positivas y el factor 2 al constructo de las emociones negativas. Varias emociones negativas (sobre todo el aburrimiento, también la frustración y la preocupación) correlacionan fuertemente y negativamente con el factor de las emociones positivas. Estos resultados concuerdan y apoyan los mostrados en el capítulo 2 de la presente Tesis Doctoral (apartado 2.4.1), en el que se aborda el proceso de validación de este instrumento.

#### **4.4.5.2 Emociones y constructos de valor (interés, utilidad y coste) de los maestros en formación inicial hacia el uso integrado de Matemáticas y Biología: diferencias de género**

##### ***4.5.2.2.1 Análisis descriptivo de las emociones y los constructos de valor***

En cuanto al valor atribuido al empleo de Matemáticas en Biología, los resultados del test MBVI adaptado indican que los futuros maestros participantes otorgan una puntuación parecida (medianas de 4 y 5) a los ítems de los tres constructos del valor (tabla 4.8). Los ítems correspondientes a la utilidad son los que obtienen una puntuación más alta (mediana de 5 en todos los casos), al igual que lo observado para futuros biólogos en el cuestionario original (Andrews *et al.*, 2017). También, ambas muestras describen niveles similares de interés (medianas entre 4 y 5). Sin embargo, los resultados difieren en relación al coste: los maestros en formación inicial otorgan un mayor coste a la integración de ambas disciplinas (medianas entre 4 y 5) que los biólogos en formación. Este resultado está en la línea de diversos trabajos previos que han revelado una falta de confianza y de seguridad de los futuros maestros en Matemáticas, así como altos niveles de ansiedad hacia esta disciplina (Brady y Bowd, 2005; Caballero *et al.*, 2008; Cady y Rearden, 2007; Gresham, 2007; Sánchez *et al.*, 2011; Swars *et al.*, 2006).

En cuanto a las emociones sentidas por los participantes hacia el uso de Matemáticas en Biología, a pesar de los indicios previos de emociones negativas de los maestros en formación inicial hacia las Matemáticas (Bekdemir, 2010; Bursal y Paznokas, 2006; Caballero *et al.*, 2008;

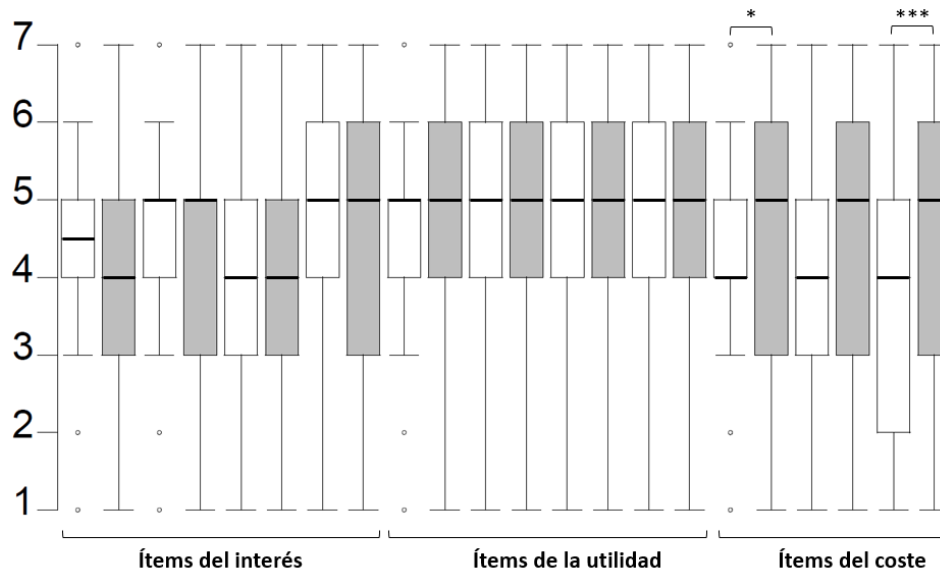
Castro, 2007; Costillo *et al.*, 2013; Mellado *et al.*, 2014), los resultados revelan un nivel medio de intensidad (mediana de 3) para todas las emociones, positivas y negativas, analizadas (tabla 4.8).

**Tabla 4.8.** Estadísticos descriptivos (mediana y rango intercuartílico) de los ítems incluidos en el test MBVI (medidos en una escala de Likert de 1 a 7) y en el cuestionario de emociones (medidos en una escala de Likert de 1 a 5).

Valor	Mediana (rango intercuartílico)	Emociones	Mediana (rango intercuartílico)
<i>Interés 1</i>	4 (2)	Alegría	3 (1,25)
<i>Interés 2</i>	5 (2)	Confianza	3 (1)
<i>Interés 3</i>	4 (2)	Satisfacción	3 (2)
<i>Interés 4</i>	4 (2)	Entusiasmo	3 (1)
<i>Utilidad 1</i>	5 (2)	Diversión	3 (1)
<i>Utilidad 2</i>	5 (2)	Nerviosismo	3 (2)
<i>Utilidad 3</i>	5 (2)	Aburrimiento	3 (1)
<i>Utilidad 4</i>	5 (2)	Frustración	3 (2)
<i>Coste 1</i>	5 (3)	Preocupación	3 (2)
<i>Coste 2</i>	5 (3)	Incertidumbre	3 (2)
<i>Coste 3</i>	4 (3)		

#### 4.5.2.2.2 Estudio de las emociones y los constructos de valor en función del género

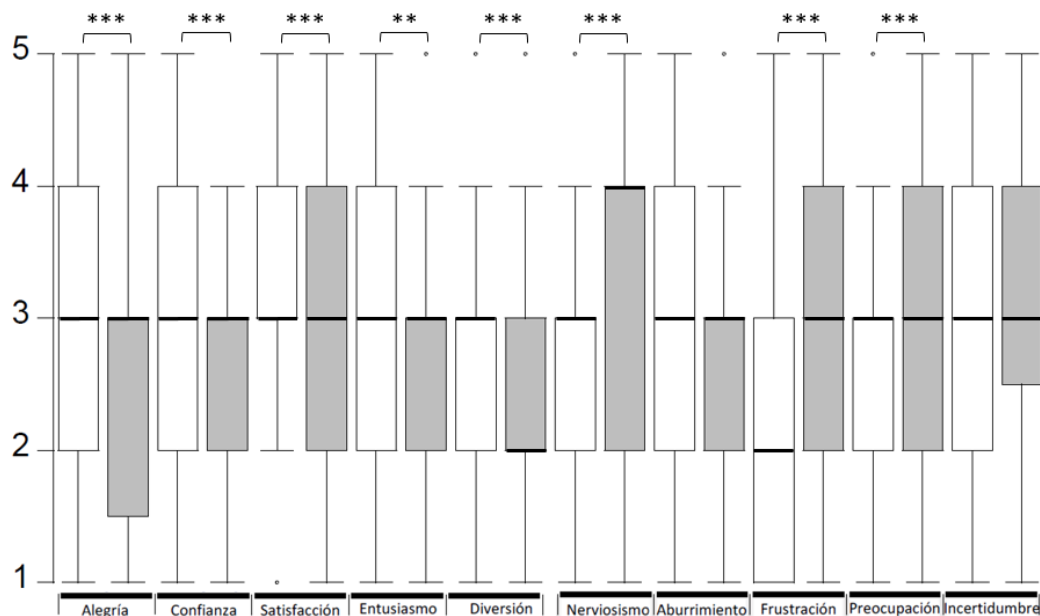
El análisis de los ítems de los constructos de valor en función del género (figura 4.7) revela que no existen diferencias entre ambos géneros para los ítems del interés y la utilidad, mientras que se observa un sesgo de género en los ítems del coste: las mujeres atribuyen más coste a la integración de las Matemáticas en Biología que los hombres. Concretamente, se observan diferencias en los ítems coste 1 (mediana de 5 en mujeres y de 4 en hombres, p-valor=0,04, test de Wilcoxon) y coste 3 (mediana de 5 en mujeres y de 4 en hombres, p-valor<0,001, test de Wilcoxon). En el ítem coste 1 el alumno autoinforma sobre el esfuerzo que le supondría integrar Matemáticas y Biología, mientras que en el ítem coste 3 autoinforma sobre la falta de confianza a la hora de integrar ambas disciplinas en el aula.



**Figura 4.7.** Distribución de las respuestas de hombres (cajas vacías) y mujeres (cajas grises) a los ítems del test MBVI adaptado a maestros en formación inicial. La recta horizontal dentro de cada caja representa la mediana. Los límites inferiores y superiores de cada caja corresponden a los percentiles 25 y 75. La terminación inferior y superior de las líneas verticales a los percentiles 5 y 95. Las líneas horizontales sobre las cajas unen grupos significativamente diferentes (test de Wilcoxon, \*\*\*p-valor<0,001; \*p-valor<0,05).

Respecto al análisis de las emociones hacia la incorporación de Matemáticas en Biología en función del género (figura 4.8), todas las emociones positivas son más intensas en hombres que en mujeres: alegría (mediana de 3 en ambos géneros, p-valor<0,001, test de Wilcoxon), confianza (mediana de 3 en ambos géneros, p-valor<0,001, test de Wilcoxon), satisfacción (mediana de 3 en ambos géneros, p-valor<0,001, test de Wilcoxon), entusiasmo (mediana de 3 en ambos géneros, p-valor=0,002, test de Wilcoxon) y diversión (mediana de 2 en mujeres y de 3 en hombres, p-valor<0,001, test de Wilcoxon). Las diferencias significativas observadas en la alegría, la confianza, la satisfacción y el entusiasmo se deben a un incremento de la varianza hacia niveles superiores en hombres.

Respecto a las emociones negativas, las mujeres reportan más nerviosismo (mediana de 4 en mujeres y de 3 en hombres, p-valor<0,001, test de Wilcoxon), frustración (mediana de 3 en mujeres y de 2 en hombres, p-valor<0,001, test de Wilcoxon) y preocupación (mediana de 3 en ambos géneros, p-valor<0,001, test de Wilcoxon) que los hombres. Esta última diferencia significativa se debe a una disminución de la varianza hacia niveles inferiores en hombres.



**Figura 4.8.** Distribución de la intensidad de las emociones, positivas y negativas, de hombres (cajas vacías) y mujeres (cajas grises) hacia el uso de Matemáticas en Biología. La recta horizontal dentro de cada caja representa la mediana. Los límites inferiores y superiores de cada caja corresponden a los percentiles 25 y 75. La terminación inferior y superior de las líneas verticales a los percentiles 5 y 95. Las líneas horizontales sobre las cajas unen grupos significativamente diferentes (test de Wilcoxon, \*\*\*p-valor<0,001; \*\*p-valor<0,01).

Los resultados de los análisis en función del género concuerdan con numerosas investigaciones previas que han revelado que las mujeres experimentan más emociones negativas y menos emociones positivas con las Matemáticas que los hombres (Frenzel *et al.*, 2007; Goetz *et al.*, 2013; Lee *et al.*, 2014; Zan *et al.*, 2006). En relación al coste, las mayores puntuaciones en los ítems del coste por parte de las maestras en formación inicial están en consonancia con otros estudios que han mostrado que las mujeres se consideran menos competentes en Matemáticas que sus compañeros varones (Buser *et al.*, 2014; Chouinard *et al.*, 2007; Frenzel *et al.*, 2007; Goetz *et al.*, 2013). Respecto a los constructos de valor positivos, no se observan diferencias entre ambos géneros en los niveles de utilidad, al igual que en otras investigaciones previas (Chouinard *et al.*, 2007); ni en los de interés, a diferencia de otros trabajos que han mostrado mayores niveles de interés hacia las Matemáticas en hombres (Frenzel *et al.*, 2010).

#### **4.4.5.3 Análisis de las interacciones entre los constructos de valor (interés, utilidad y coste) atribuidos por los maestros en formación inicial hacia el uso de Matemáticas en Biología. Influencia del género**

El análisis de las asociaciones entre los tres constructos de valor (interés, utilidad y coste) otorgados por los participantes al uso de Matemáticas en Biología revela una asociación positiva entre los factores correspondientes a la utilidad y al interés (correlación de Pearson, p-valor<0,001), así como una asociación negativa entre los factores correspondientes al interés y al coste (correlación de Pearson, p-valor<0,001) (figura 9A). Respecto a los análisis de estas

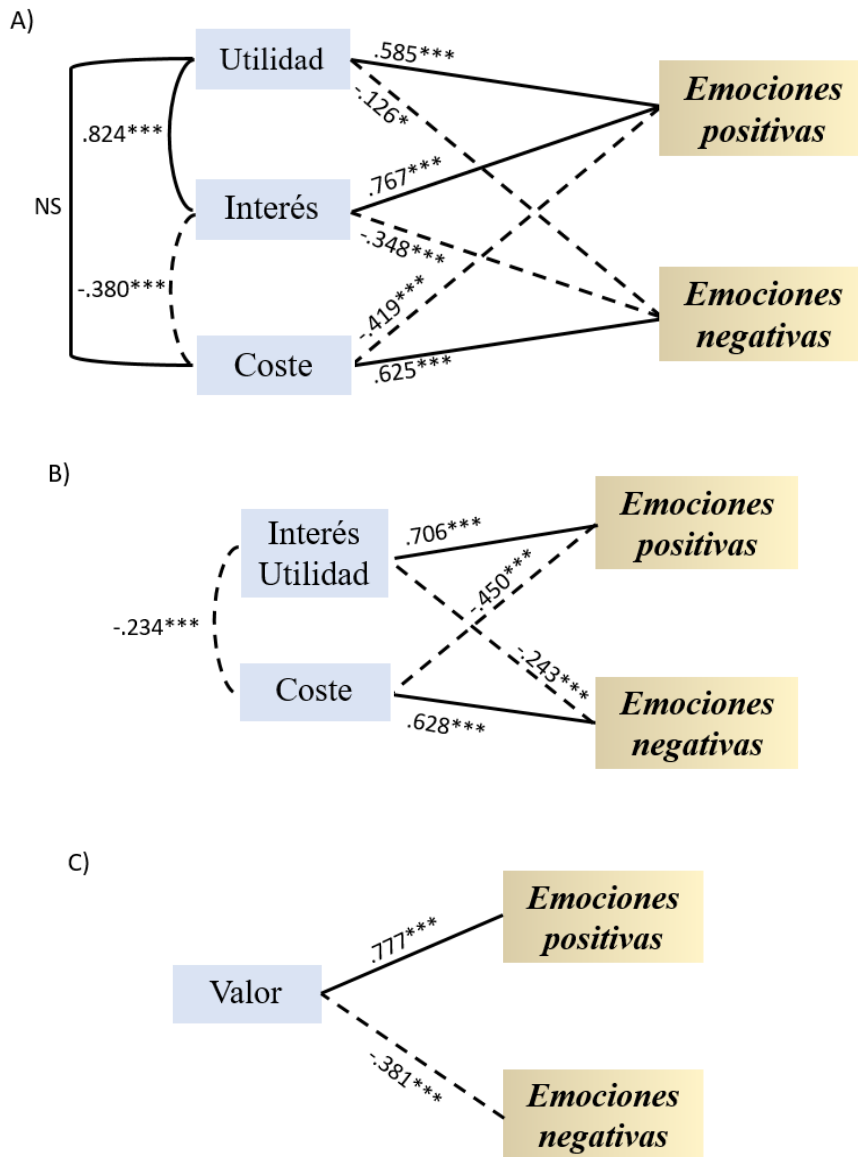
interacciones en función del género de los participantes (tabla 4.9), los resultados revelan que la correlación negativa entre el interés y la utilidad es ligeramente superior en hombres que en mujeres.

Estas asociaciones sugieren que los maestros en formación inicial con mayor interés hacia el empleo de las Matemáticas en Biología son aquellos que consideran que su incorporación requiere un menor coste, especialmente en hombres, y tiene una mayor utilidad. Estos resultados se asemejan a los obtenidos por Andrews *et al.* (2017) con alumnos universitarios de Biología, aunque en esta muestra el coeficiente de correlación entre interés y utilidad es menor, y la correlación entre interés y coste es aún más negativa. Esto sugiere que en los maestros en formación inicial, el interés hacia el empleo de las Matemáticas en Biología está más condicionado por la utilidad que por el coste. Además, estos autores detectaron una correlación negativa entre utilidad y coste en biólogos en formación que no se aprecia en la muestra de futuros maestros.

Al realizar el análisis de correlación extrayendo solo dos factores para el valor, uno para los aspectos positivos del valor (interés y utilidad) y otro para los aspectos negativos del valor (coste), se observa una correlación negativa entre ambos factores (correlación de Pearson,  $p$ -valor < 0,001) (figura 4.9B).

#### **4.4.5.4 Análisis de las interacciones entre las emociones hacia las Matemáticas en Biología y los constructos de valor (interés, utilidad y coste). Influencia del género**

El análisis de las interacciones entre las emociones y el valor subjetivo hacia el uso de Matemáticas en Biología revela resultados coincidentes: i) tanto si se realiza para las emociones individuales (tabla 4.10) como si se lleva a cabo para los factores asociados a las emociones positivas y negativas (figura 9 y tabla 4.9) e ii) independientemente de considerar los tres constructos del valor individualmente (figura 9A), los factores asociados a los constructos positivos (interés y utilidad) y negativos (coste) (figura 4.9B) o el valor como un único constructo (figura 4.9C).



**Figura 4.9.** Modelos que representan las asociaciones de los factores asociados a las emociones, positivas y negativas, del uso de Matemáticas en Biología con: A) los factores del interés, la utilidad y el coste atribuidos a este proceso, B) los factores asociados a los constructos positivos (interés y utilidad) y negativos (coste) del valor y C) el valor como a un único factor (Correlación de Pearson, \*\*\*p-valor<0,001; \*p-valor<0,05, NS: no significativo).

**Tabla 4.9.** Coeficientes de correlación entre los factores asociados al interés, la utilidad y el coste atribuidos por los maestros en formación inicial al uso de Matemáticas en Biología y los factores asociados a las emociones, positivas y negativas, en hombres (subrayado) y mujeres (en cursiva). En negrita se resaltan las correlaciones significativas (Correlación de Pearson, \*\*\*p-valor<0,001; \*p-valor<0,05). En sombreado se señalan las diferencias significativas entre los coeficientes de correlación de hombres y mujeres, calculadas mediante remuestreo o *bootstrapping*.

	<i>Interés</i>	<i>Utilidad</i>	<i>Coste</i>	<i>Emociones positivas</i>	<i>Emociones negativas</i>
<i>Interés</i>	$\frac{1}{1}$	<b><u>0,813</u></b> <sup>***</sup> <i>0,830</i> <sup>***</sup>	<b><u>-0,532</u></b> <sup>***</sup> <i>-0,294</i> <sup>***</sup>	<b><u>0,743</u></b> <sup>***</sup> <i>0,780</i> <sup>***</sup>	<b><u>-0,524</u></b> <sup>***</sup> <i>-0,254</i> <sup>***</sup>
<i>Utilidad</i>		$\frac{1}{1}$	<u>-0,147</u> <i>0,004</i>	<b><u>0,574</u></b> <sup>***</sup> <i>0,605</i> <sup>***</sup>	<b><u>-0,305</u></b> <sup>*</sup> <i>-0,043</i>
<i>Coste</i>			$\frac{1}{1}$	<b><u>-0,487</u></b> <sup>***</sup> <i>-0,348</i> <sup>***</sup>	<b><u>0,595</u></b> <sup>***</sup> <i>0,616</i> <sup>***</sup>

**Tabla 4.10.** Coeficientes de correlación de la intensidad de las emociones sentidas por los maestros en formación inicial hacia el uso de Matemáticas en Biología con los factores asociados al interés, la utilidad y el coste hacia este proceso. Para cada emoción se incluye el valor general, así como los coeficientes de correlación de hombres (subrayado) y mujeres (en cursiva). En negrita se resaltan las correlaciones significativas (Correlación de Spearman, \*\*\*p-valor<0,001; \*\*p-valor<0,01, \*p-valor<0,05). En sombreado se señalan las diferencias significativas entre los coeficientes de correlación de hombres y mujeres, calculadas mediante remuestreo o *bootstrapping*.

<i>Emociones positivas</i>	<i>Interés</i>	<i>Utilidad</i>	<i>Coste</i>	<i>Emociones negativas</i>	<i>Interés</i>	<i>Utilidad</i>	<i>Coste</i>
<i>Alegría</i>	<b>0,634</b> <sup>***</sup> <u>0,537</u> <sup>***</sup> <i>0,662</i> <sup>***</sup>	<b>0,467</b> <sup>***</sup> <u>0,452</u> <sup>***</sup> <i>0,462</i> <sup>***</sup>	<b>-0,355</b> <sup>***</sup> <u>-0,388</u> <sup>***</sup> <i>-0,321</i> <sup>***</sup>	<i>Nerviosismo</i>	<b>-0,292</b> <sup>***</sup> <u>-0,477</u> <sup>***</sup> <i>-0,193</i> <sup>**</sup>	-0,076 <b>-0,233</b> <sup>*</sup> <i>-0,003</i>	<b>0,529</b> <sup>***</sup> <u>0,526</u> <sup>**</sup> <i>0,491</i> <sup>***</sup>
<i>Confianza</i>	<b>0,552</b> <sup>***</sup> <u>0,479</u> <sup>***</sup> <i>0,561</i> <sup>***</sup>	<b>0,403</b> <sup>***</sup> <u>0,436</u> <sup>***</sup> <i>0,398</i> <sup>***</sup>	<b>-0,436</b> <sup>***</sup> <u>-0,406</u> <sup>***</sup> <i>-0,408</i> <sup>***</sup>	<i>Aburrimiento</i>	<b>-0,482</b> <sup>***</sup> <u>-0,546</u> <sup>***</sup> <i>-0,457</i> <sup>***</sup>	<b>-0,354</b> <sup>***</sup> <u>-0,435</u> <sup>***</sup> <i>-0,316</i> <sup>***</sup>	<b>0,359</b> <sup>***</sup> <u>0,418</u> <sup>***</sup> <i>0,323</i> <sup>***</sup>
<i>Satisfacción</i>	<b>0,578</b> <sup>***</sup> <u>0,470</u> <sup>***</sup> <i>0,606</i> <sup>***</sup>	<b>0,490</b> <sup>***</sup> <u>0,391</u> <sup>***</sup> <i>0,529</i> <sup>***</sup>	<b>-0,263</b> <sup>***</sup> <u>-0,384</u> <sup>***</sup> <i>-0,171</i> <sup>*</sup>	<i>Frustración</i>	<b>-0,352</b> <sup>***</sup> <u>-0,459</u> <sup>***</sup> <i>-0,309</i> <sup>***</sup>	<b>-0,159</b> <sup>**</sup> <u>-0,267</u> <sup>*</sup> <i>-0,129</i>	<b>0,524</b> <sup>***</sup> <u>0,462</u> <sup>***</sup> <i>0,536</i> <sup>***</sup>
<i>Entusiasmo</i>	<b>0,679</b> <sup>***</sup> <u>0,569</u> <sup>***</sup> <i>0,713</i> <sup>***</sup>	<b>0,544</b> <sup>***</sup> <u>0,469</u> <sup>***</sup> <i>0,568</i> <sup>***</sup>	<b>-0,317</b> <sup>***</sup> <u>-0,398</u> <sup>***</sup> <i>-0,257</i> <sup>***</sup>	<i>Preocupación</i>	<b>-0,377</b> <sup>***</sup> <u>-0,468</u> <sup>***</sup> <i>-0,319</i> <sup>***</sup>	<b>-0,145</b> <sup>*</sup> <u>-0,254</u> <sup>*</sup> <i>-0,100</i>	<b>0,581</b> <sup>***</sup> <u>0,537</u> <sup>***</sup> <i>0,576</i> <sup>***</sup>
<i>Diversión</i>	<b>0,652</b> <sup>***</sup> <u>0,621</u> <sup>***</sup> <i>0,654</i> <sup>***</sup>	<b>0,487</b> <sup>***</sup> <u>0,441</u> <sup>***</sup> <i>0,496</i> <sup>***</sup>	<b>-0,297</b> <sup>***</sup> <u>-0,342</u> <sup>***</sup> <i>-0,226</i> <sup>***</sup>	<i>Incertidumbre</i>	<b>-0,131</b> <sup>*</sup> <u>-0,257</u> <sup>*</sup> <i>-0,056</i>	0,008 <u>-0,121</u> <i>0,066</i>	<b>0,443</b> <sup>***</sup> <u>0,459</u> <sup>***</sup> <i>0,421</i> <sup>***</sup>

#### 4.4.5.4.1 Análisis de las interacciones entre las emociones positivas hacia las Matemáticas en Biología y los constructos de valor (interés, utilidad y coste)

Los análisis de correlación muestran asociaciones positivas entre el factor de las emociones positivas y los factores correspondientes al interés (correlación de Pearson, p-valor<0,001) y la utilidad (correlación de Pearson, p-valor<0,001), así como una correlación negativa entre el factor de las emociones positivas y el factor del coste (correlación de Pearson, p-valor<0,001) (figura 9A). Estas interacciones quedan reflejadas en las regresiones lineales entre factores



(figura 4.10). Asimismo, de manera consistente, estas asociaciones se observan también para todas las emociones positivas individuales (tabla 4.10).

Al realizar el análisis de correlación extrayendo dos factores (figura 4.9B) o un solo factor (figura 4.9C) para el valor, las interacciones de estos con el factor de las emociones positivas siguen un comportamiento similar: i) interacciones positivas con el factor interés-utilidad y con el factor del valor como un único constructo e ii) interacción negativa con el coste.

Respecto a los análisis de estas asociaciones en función del género de los participantes (tablas 4.9 y 4.10), no se observan diferencias significativas entre hombres y mujeres. El análisis de las emociones individuales revela que las asociaciones positivas entre las emociones positivas y los factores del interés y la utilidad tienden a ser superiores en mujeres, aunque solo se observan diferencias significativas entre los coeficientes de correlación de ambos géneros en la asociación del factor del interés con el entusiasmo. Mientras, las correlaciones negativas entre las emociones positivas y el factor del coste son, con frecuencia, superiores en hombres; aunque solo se observan diferencias significativas entre ambos géneros en esta asociación para la satisfacción.

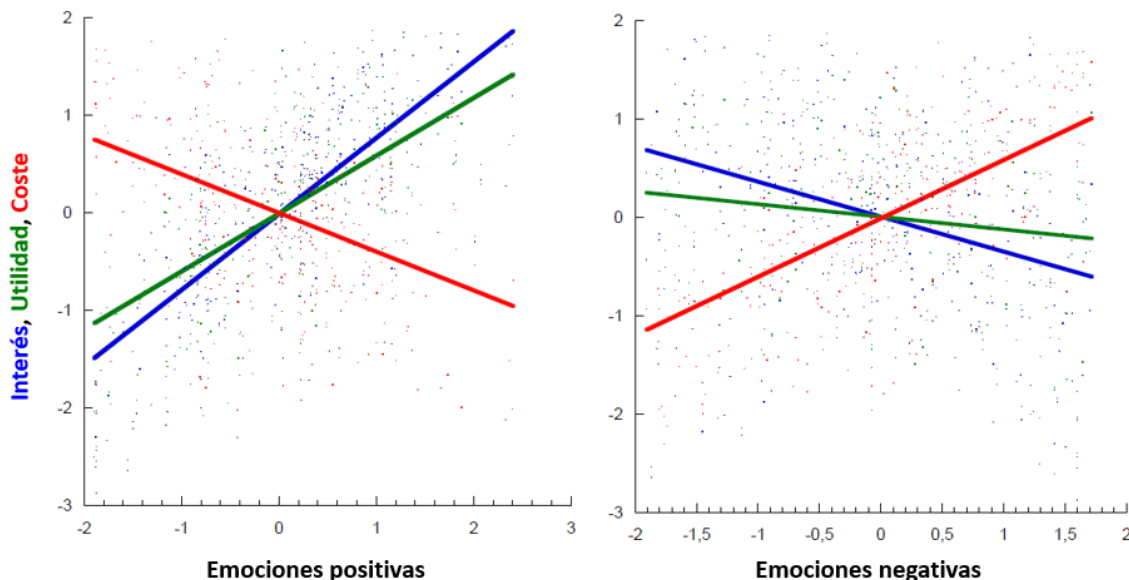
#### ***4.4.5.4.2 Análisis de las interacciones entre las emociones negativas hacia las Matemáticas en Biología y los constructos de valor (interés, utilidad y coste). Influencia del género***

Los análisis de correlación muestran que el factor de las emociones negativas se asocia positivamente con el factor del coste (correlación de Pearson,  $p$ -valor $<0,001$ ) y negativamente con los factores del interés (correlación de Pearson,  $p$ -valor $<0,001$ ) y la utilidad (correlación de Pearson,  $p$ -valor $=0,04$ ) (figura 9A). Las regresiones lineales entre factores muestran estas asociaciones (figura 4.10). Estas asociaciones se observan, asimismo, en el análisis de las emociones negativas a nivel individual (tabla 4.10): todas las emociones negativas correlacionan positivamente con el factor del coste y negativamente con el factor del interés, mientras que las correlaciones negativas con la utilidad solo se observan en el aburrimiento, la frustración y la preocupación.

Al realizar el análisis de correlación extrayendo dos factores (figura 4.9B) o un solo factor (figura 4.9C) para el valor, se observan: i) una interacción positiva del factor de las emociones negativas con el coste e ii) interacciones negativas del factor de las emociones negativas con el factor interés-utilidad y con el factor del valor como un único constructo.

Respecto a los análisis en función del género (tablas 4.9 y 4.10), se observa un sesgo de género; ya que las correlaciones negativas entre las emociones negativas y los factores del interés y la utilidad son mayores en hombres. En concreto, la correlación negativa entre el factor de las emociones negativas y el factor de la utilidad solo se observa en hombres (y su coeficiente de

correlación es significativamente diferente al de las mujeres), y la correlación negativa entre el factor del interés y el factor de las emociones negativas es mayor en los participantes de género masculino. Estas mismas diferencias entre las correlaciones de ambos géneros se observan para el nerviosismo (tabla 4.10).



**Figura 4.10.** Regresión lineal entre los factores emociones positivas y negativas y de los factores interés (azul), utilidad (verde) y coste (rojo).

#### 4.4.5.4.3 Discusión

Las interacciones detectadas entre las emociones y los constructos de valor indican que el coste que los futuros maestros atribuyen al empleo de las Matemáticas en Biología parece ser el principal activador de las emociones negativas, mientras que el interés y la utilidad incrementan las emociones positivas. Como muestran las regresiones lineales entre factores (figura 4.10), aquellos alumnos que experimentan o han experimentado más emociones positivas y menos emociones negativas, con el uso de Matemáticas en Biología; son los que tienen un mayor interés hacia el empleo de esta disciplina como docentes de Biología de Educación Primaria, y los que consideran que les supondría un menor coste. Respecto a la utilidad, los resultados revelan que aquellos futuros maestros que creen que la incorporación de la Matemáticas es útil para la enseñanza de la Biología son aquellos que experimentan o han experimentado más emociones positivas con Matemáticas en Biología, así como menos emociones negativas en el caso de los hombres. Estos resultados concuerdan con lo observado por Chouinard *et al.* (2007), quienes han puesto de manifiesto que la utilidad de las Matemáticas tiene un mayor efecto sobre la motivación de los hombres. Asimismo, sugieren que los futuros maestros que presentan emociones negativas hacia el uso integrado de ambas disciplinas son aquellos para los que la utilidad y, sobre todo, el interés (mayor coeficiente de correlación con emociones) de las

Matemáticas como herramienta para la enseñanza de la Biología no superan el coste atribuido a la integración.

En su conjunto, los resultados muestran que aquellos maestros en formación inicial que atribuyen más emociones positivas y menos negativas al empleo de Matemáticas en Biología son aquellos que valoran mejor esta integración para su futuro como maestros. Estos resultados concuerdan con distintas investigaciones previas que han mostrado la capacidad de las emociones de asignar valor a los estímulos externos (Damasio, 2010; Dolan, 2002; Etkin *et al.*, 2015), también en situaciones académicas de acuerdo con la teoría del control-valor (Pekrun, 2006). Por tanto, coinciden con los resultados recogidos en el apartado 4.4.2 del presente capítulo y con las distintas investigaciones citadas en este (Artino, 2009; Artino *et al.*, 2010; Noteborn *et al.*, 2012; Pekrun *et al.*, 2011; Villavicencio y Bernardo, 2013), que muestran como las emociones académicas se asocian con el valor que otorgan los alumnos a distintas actividades de enseñanza-aprendizaje. Sin embargo, estos estudios muestran siempre asociaciones positivas entre algunas emociones positivas y el valor, así como asociaciones negativas entre este y algunas emociones negativas; ya que consideran al valor como un constructo positivo. Los resultados de la adaptación del test MBVI desarrollado por Andrews *et al.* (2017) permiten diferenciar el valor en dos constructos positivos (interés y utilidad) y uno negativo (coste); revelando que las emociones positivas correlacionan positivamente con constructos de valor positivos y negativamente con el constructo de valor negativo, mientras que las emociones negativas correlacionan positivamente con el constructo de valor negativo y negativamente con los constructos de valor positivos.

#### **4.4.6 Análisis de los cambios en los constructos de valor (interés, utilidad y coste) de los maestros en formación inicial con la enseñanza activa interdisciplinar de Biología: diferencias de género**

##### **4.4.6.1 Validación del test MBVI adaptado al uso integrado de Química y Biología de maestros en formación inicial: análisis factorial**

La validación de la adaptación del test MBVI, hacia el uso integrado de Química y Biología, consiste en la realización de un análisis factorial con las respuestas a dicho test antes de la implementación de la práctica activa de Biología Celular en el año académico 4 (n=112).

Los resultados del análisis factorial indican que las respuestas de los maestros en formación inicial participantes a los ítems del test adaptado se pueden agrupar en tres factores que corresponden a los tres constructos de valor (tabla 4.11). Como se observa en la matriz de estructura, el factor 1 correlaciona positivamente con los ítems de la utilidad, el factor 2 con los ítems correspondientes al coste y el factor 3 con los ítems del interés. Este modelo factorial es plausible ya que el coeficiente alfa de Cronbach (fiabilidad) es superior a 0,7, el test KMO

(medida de adecuación muestral) es mayor a 0,8, y el porcentaje de varianza explicada superior al 50 % (tabla 4.11). Estos resultados apoyan la consistencia interna del test MBVI adaptado para determinar los constructos de valor hacia el uso integrado de Biología y Química.

En cuanto a su consistencia externa, los resultados obtenidos coinciden con los del análisis factorial realizado por Andrews *et al.* (2017) en la validación de test MBVI original con biólogos en formación, así como con el análisis factorial realizado con los datos del test MBVI adaptado para determinar los constructos de valor hacia el uso integrado de Biología y Matemáticas de maestros en formación inicial (apartado 4.4.5.1).

**Tabla 4.11.** Análisis factorial de los ítems del test MBVI adaptados a la enseñanza interdisciplinar de Química y Biología, realizado con las respuestas de los maestros en formación inicial participantes en el año académico 4 antes de la implementación de la práctica activa de Biología Celular. En la parte superior se recoge la matriz de estructura, resaltándose en negrita las correlaciones más elevadas dentro de cada factor. En la parte inferior, sombreadas, se muestran la prueba de fiabilidad ( $\alpha$  de Cronbach), el porcentaje de varianza explicada y la medida de adecuación muestral (KMO).

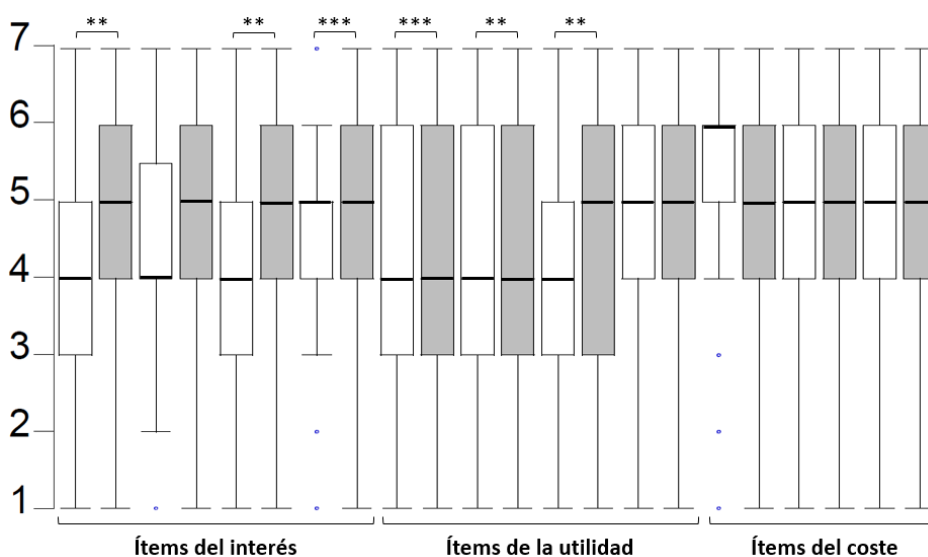
Valor	Matriz de estructura		
	Factor 1	Factor 2	Factor 3
<i>Interés 1</i>	0,711	-0,071	<b>0,886</b>
<i>Interés 2</i>	0,593	-0,142	<b>0,931</b>
<i>Interés 3</i>	0,712	-0,217	<b>0,852</b>
<i>Interés 4</i>	0,800	-0,243	<b>0,792</b>
<i>Utilidad 1</i>	<b>0,920</b>	-0,124	0,631
<i>Utilidad 2</i>	<b>0,933</b>	-0,197	0,616
<i>Utilidad 3</i>	<b>0,895</b>	-0,046	0,661
<i>Utilidad 4</i>	<b>0,873</b>	-0,056	0,726
<i>Coste 1</i>	-0,113	<b>0,796</b>	-0,063
<i>Coste 2</i>	-0,148	<b>0,846</b>	-0,171
<i>Coste 3</i>	-0,064	<b>0,803</b>	-0,119
<i><math>\alpha</math> Cronbach</i>	0,926	0,754	0,904
<i>Porcentaje de varianza explicada</i>	77,16 %		
<i>KMO</i>	0,873		

#### 4.4.6.2 Análisis de los cambios en los constructos de valor de los maestros en formación inicial con la implementación de las prácticas activas de Biología Evolutiva y Biología Celular

El análisis de los resultados muestra variaciones en los constructos de valor (interés, utilidad y coste), atribuidos por los participantes a la enseñanza interdisciplinar de Biología, con la implementación de las prácticas activas de Biología diseñadas en la presente Tesis Doctoral

(figuras 4.11 y 4.12). Dichos cambios en los constructos de valor se observan hacia: i) el uso integrado de la Biología con las Matemáticas (tras la implementación de la práctica activa de Biología Evolutiva en el año académico 5) y ii) el uso integrado de la Biología con la Química (tras la implementación de la práctica activa de Biología Celular en el año académico 4). Los resultados revelan que la realización de ambas prácticas activas de Biología genera cambios en el interés, la utilidad y el coste que los maestros en formación inicial atribuyen a la enseñanza interdisciplinar de la Biología, observándose algunas diferencias entre ambas prácticas activas.

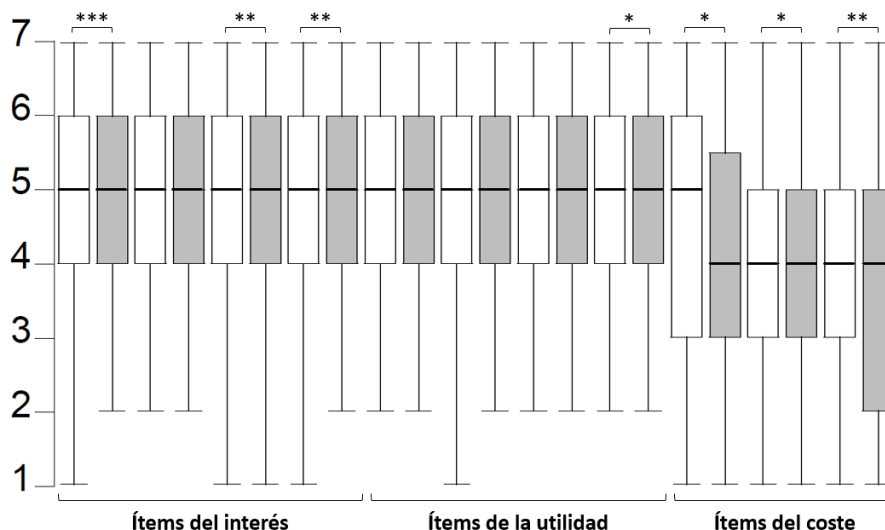
En relación a la práctica activa de Biología Evolutiva (figura 4.11), su implementación (en el año académico 5) generó aumentos en el interés y la utilidad de los participantes hacia el uso de Matemáticas en Biología. En concreto, se observan aumentos en tres ítems de cada constructo: interés 1 (la mediana aumenta de 4 a 5, p-valor<0,01), interés 3 (la mediana aumenta de 4 a 5, p-valor<0,01) e interés 4 (mediana de 3 en ambos casos, p-valor<0,001); y utilidad 1 (mediana de 3 en ambos casos, p-valor<0,001), utilidad 2 (mediana de 3 en ambos casos, p-valor<0,01) y utilidad 3 (la mediana aumenta de 4 a 5, p-valor<0,01). No se observan variaciones significativas en los ítems del coste.



**Figura 4.11.** Distribución de las respuestas a los ítems del test MBVI adaptado antes (cajas vacías) y después (cajas grises) de la implementación de la práctica activa de Biología Evolutiva durante el año académico 5 (enseñanza interdisciplinar Matemáticas-Biología). La recta horizontal dentro de cada caja representa la mediana. Los límites inferiores y superiores de cada caja corresponden a los percentiles 25 y 75. La terminación inferior y superior de las líneas verticales a los percentiles 5 y 95. Las líneas horizontales sobre las cajas unen grupos significativamente diferentes (test de Wilcoxon, \*\*\*p-valor<0,001; \*\*p-valor<0,01).

Respecto a la práctica activa de Biología Celular (figura 4.12), su implementación (en el año académico 4) generó aumentos en el interés de los futuros maestros participantes hacia el uso de la Química en Biología, así como disminuciones en el coste atribuido a este proceso. Se observan aumentos en tres de los cuatro ítems del interés (interés 1, interés 3 e interés 4, en

todos los casos la mediana es de 5 antes y después) y disminuciones en todos los ítems del coste: coste 1 (la mediana disminuye de 5 a 4, p-valor<0,05), coste 2 (mediana de 4 en ambos casos, p-valor<0,05) y coste 3 (mediana de 4 en ambos casos, p-valor<0,01). No se observan diferencias significativas en la utilidad tras la implementación de esta intervención.

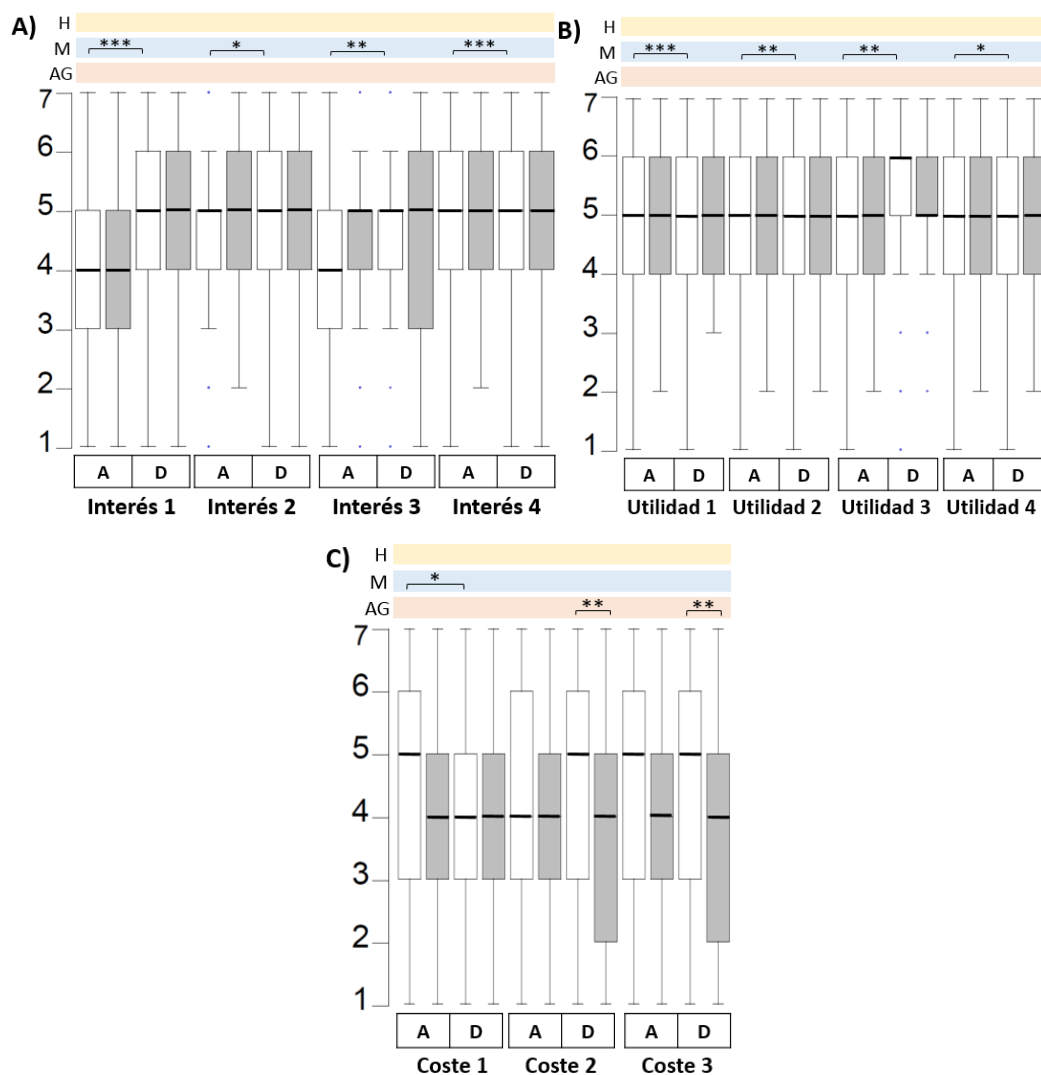


**Figura 4.12.** Distribución de las respuestas a los ítems del test MBVI, adaptado a la enseñanza interdisciplinar de Biología y Química, antes (cajas vacías) y después (cajas grises) de la implementación de la práctica activa de Biología Celular durante el año académico 4 (enseñanza interdisciplinar Química-Biología). La recta horizontal dentro de cada caja representa la mediana. Los límites inferiores y superiores de cada caja corresponden a los percentiles 25 y 75. La terminación inferior y superior de las líneas verticales a los percentiles 5 y 95. Las líneas horizontales sobre las cajas unen grupos significativamente diferentes (test de Wilcoxon, \*\*\*p-valor<0,001; \*\*p-valor<0,01;\*p-valor<0,05).

#### 4.4.6.3 Estudios de las variaciones de los constructos de valor en función del género

El análisis, en función del género de los participantes, de las variaciones de los constructos de valor con las prácticas activas de Biología Evolutiva (figura 4.13) y Biología Celular (figura 4.14) muestra, en ambos casos, un sesgo de género, puesto que estos cambios se observan mayoritariamente en mujeres.

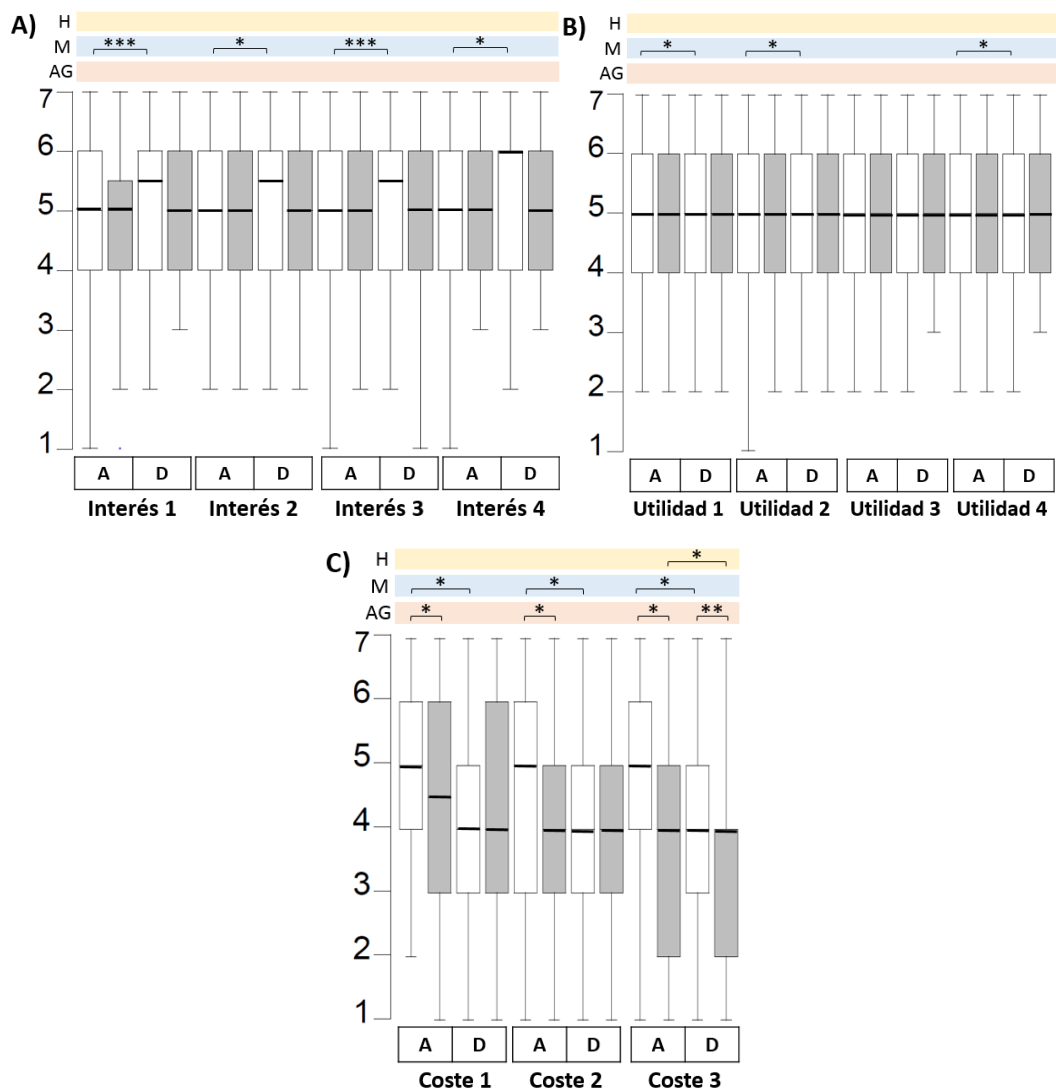
Respecto a los cambios en los constructos de valor hacia el uso integrado de Matemáticas y Biología con la práctica activa de Biología Evolutiva (figura 4.13), se observan, solo en mujeres, aumentos en todos los ítems correspondientes al interés y la utilidad. En relación al coste, los resultados no son concluyentes. Se observa, solo en mujeres, una disminución en la puntuación otorgada al ítem coste 1. Sin embargo, tras la realización de la intervención, se observan diferencias significativas entre ambos géneros en el coste otorgado a la integración de ambas disciplinas: los ítems coste 2 y coste 3 son mayores en mujeres (mediana de 5) que en hombres (mediana de 4).



**Figura 4.13.** Distribución de las respuestas, de mujeres (cajas vacías) y hombres (cajas grises), a los ítems del test MBVI adaptado antes (A) y después (D) de la implementación de la práctica activa de Biología Evolutiva durante el año académico 5. La recta horizontal dentro de cada caja representa la mediana. Los límites inferiores y superiores de cada caja corresponden a los percentiles 25 y 75. La terminación inferior y superior de las líneas verticales a los percentiles 5 y 95. Las líneas horizontales sobre las cajas unen grupos significativamente diferentes (test de Wilcoxon, \*\*\*p-valor<0,001; \*\*p-valor<0,01; \*p-valor<0,05) entre hombres (H), mujeres (M) y entre ambos (análisis de género, AG).

En relación a las variaciones, en función del género, en los constructos de valor hacia el uso de Química en Biología tras la realización de la práctica activa de Biología Celular (figura 4.14), se observan, solo en mujeres, aumentos en el interés (todos sus ítems) y la utilidad (ítems 1, 2 y 4). Respecto al coste, antes de la realización de la intervención, las mujeres otorgaban una mayor puntuación que sus compañeros varones a sus tres ítems (mediana de 5 en mujeres y de 4,5 en hombres para el ítem coste 1, mediana de 5 en mujeres y de 4 en hombres para los ítems coste 2 y coste 3). La realización de la práctica activa generó disminuciones en el coste, principalmente de las mujeres, ya que en estas se observan disminuciones en los tres ítems del coste. Mientras, sólo el ítem coste 3 disminuye también en hombres, lo que explica que existan diferencias entre ambos géneros en dicho ítem tras la implementación de la intervención (es el único ítem del coste que tras la intervención sigue siendo mayor en mujeres).





**Figura 4.14.** Distribución de las respuestas, de mujeres (cajas vacías) y hombres (cajas grises), a los ítems del test MBVI, adaptado a la enseñanza interdisciplinaria de Biología y Química, antes (A) y después (D) de la implementación de la práctica activa de Biología Celular en el año académico 4. La recta horizontal dentro de cada caja representa la mediana. Los límites inferiores y superiores de cada caja corresponden a los percentiles 25 y 75. La terminación inferior y superior de las líneas verticales a los percentiles 5 y 95. Las líneas horizontales sobre las cajas unen grupos significativamente diferentes (test de Wilcoxon, \*\*\*p-valor<0,001; \*\*p-valor<0,01;\*p-valor<0,05) entre hombres (H), mujeres (M) y entre ambos (análisis de género, AG).

#### 4.4.6.4 Discusión

Los resultados, en su conjunto, indican que la práctica activa de Biología Evolutiva aumenta el interés y la utilidad atribuidas por los maestros en formación inicial participantes al uso integrado de Biología y Matemáticas, mientras que la práctica activa de Biología Celular genera aumentos en los niveles de interés y disminuciones del coste hacia el empleo de Química en Biología. Esto indica que en ambas prácticas activas se ha producido un aumento del valor que atribuye el alumno a la integración de la Biología con otras disciplinas. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Hulleman *et al.* (2010), quienes observaron aumentos en el

interés y la utilidad, de alumnos universitarios de Psicología, con una práctica de laboratorio en la que se resaltaba la aplicabilidad de contenidos interdisciplinarios (entre ellos Matemáticas) para su futuro profesional. Además, indican que estos cambios se producen con más frecuencia en mujeres. Este resultado concuerda con los análisis de género expuestos en el capítulo 2: el aumento de las emociones positivas tras la realización de las prácticas activas, y la disminución en las negativas, se detectan, sobre todo, en mujeres. Se observa además, para ambas prácticas, que las mujeres atribuyen un mayor coste a la integración de la Biología con las Matemáticas y con la Química que los hombres. Esta observación concuerda con los resultados expuestos en el apartado 4.4.5.2 del presente capítulo (y con las referencias citadas en el mismo), en el que se observa que las futuras maestras otorgan, en comparación con sus compañeros varones, un mayor coste al empleo de las Matemáticas en Biología.

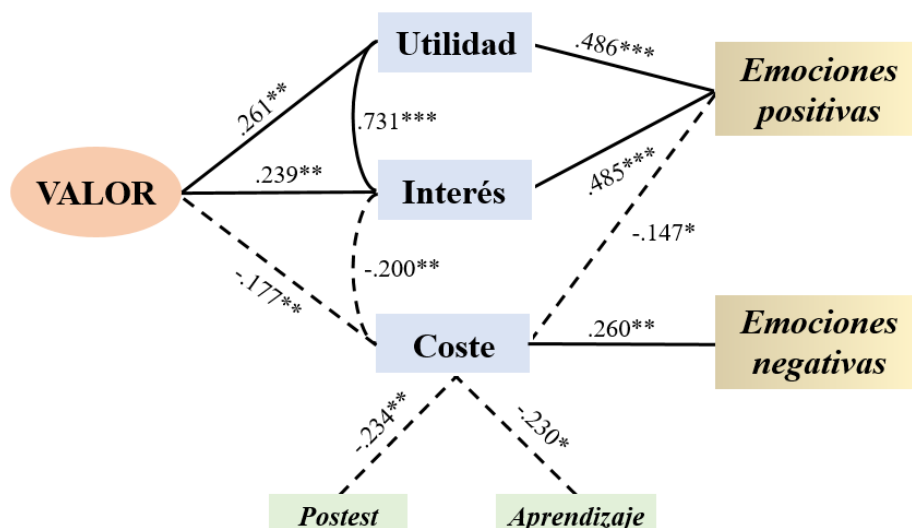
#### **4.4.7 Análisis de las interacciones de los constructos de valor (interés, utilidad y coste) y las emociones de los maestros en formación inicial durante la enseñanza activa interdisciplinaria de Biología. Influencia del género**

##### **4.4.7.1 Análisis de las interacciones de los constructos de valor hacia el uso de Matemáticas en Biología con las emociones durante la práctica de Biología Evolutiva**

El análisis de los resultados indica que las interacciones entre los constructos de valor, atribuidos por los futuros maestros participantes hacia el uso de las Matemáticas en Biología tras la realización de la práctica activa de Biología Evolutiva (año académico 5), con los factores asociados a las emociones positivas y negativas experimentadas durante la misma son diferentes dependiendo de la valencia de las emociones y del constructo (figura 4.15).

Respecto a las emociones positivas, se observa que estas se asocian positivamente con los factores de la utilidad y del interés (correlación de Pearson,  $p$ -valor $<0,001$ ), así como negativamente con el coste (correlación de Pearson,  $p$ -valor $<0,05$ ). Las correlaciones positivas con el interés y la utilidad se observan para todas las emociones positivas en el análisis de las emociones a nivel individual (tabla 4.12). Dicho análisis refleja, además, que algunas emociones positivas (confianza, satisfacción y diversión) correlacionan negativamente con el coste.

Mientras, las emociones negativas correlacionan positivamente con el factor del coste (correlación de Pearson,  $p$ -valor $<0,01$ ); concretamente, de acuerdo con el análisis individual (tabla 4.12), con el aburrimiento, la frustración y la incertidumbre. Además, el nerviosismo correlaciona negativamente con el interés y la utilidad. En el caso de este último constructo de valor también se observan asociaciones negativas con la preocupación y la incertidumbre.



**Figura 4.15.** Modelo que representa las asociaciones de los factores del interés, la utilidad y el coste, atribuidos por los maestros en formación inicial participantes al uso integrado de Biología y Matemáticas tras la práctica activa de Biología Evolutiva, en el año académico 5, con los factores asociados a las emociones positivas y negativas, experimentadas durante su realización; con el valor (estimado con un solo ítem en una escala de 0-100) y con los conocimientos de Biología posteriores (postest) y el aprendizaje de Biología. Las estrellas sobre las líneas continuas (correlaciones positivas) y discontinuas (correlaciones negativas) indican \*\*\*p-valor<0,001, \*\*p-valor<0,01, \*p-valor <0,05 (correlación de Spearman/Pearson).

**Tabla 4.12.** Coeficientes de correlación de la intensidad de las emociones, sentidas por los maestros en formación inicial participantes durante la implementación de la práctica activa de Biología Evolutiva en el año académico 5, con los factores asociados al interés, la utilidad y el coste, atribuidos tras su realización, al uso integrado de Matemáticas y Biología. Para cada emoción se incluye el valor general, así como los coeficientes de correlación de hombres (subrayado) y mujeres (en cursiva). En negrita se resaltan las correlaciones significativas (Correlación de Spearman, \*\*\*p-valor<0,001; \*\*p-valor<0,01, \*p-valor<0,05). En sombreado se señalan las diferencias significativas entre los coeficientes de correlación de hombres y mujeres, calculadas mediante remuestreo o *bootstrapping*.

<i>Emociones positivas</i>	<i>Interés</i>	<i>Utilidad</i>	<i>Coste</i>	<i>Emociones negativas</i>	<i>Interés</i>	<i>Utilidad</i>	<i>Coste</i>
<i>Alegría</i>	<b>0,437***</b>	<b>0,334***</b>	-0,013	<i>Nerviosismo</i>	<b>-0,234**</b>	<b>-0,231**</b>	0,041
	<u>0,517***</u>	<u>0,490***</u>	0,056		<u>-0,373**</u>	<u>-0,402**</u>	<u>-0,042</u>
	<i>0,395***</i>	<i>0,249**</i>	-0,054		<i>-0,157</i>	<i>-0,142</i>	<i>0,105</i>
<i>Confianza</i>	<b>0,371***</b>	<b>0,326***</b>	<b>-0,144*</b>	<i>Aburrimiento</i>	0,011	0,020	<b>0,225**</b>
	<u>0,286***</u>	<u>0,349**</u>	<u>-0,015</u>		<u>-0,047</u>	<u>-0,141</u>	<b>0,291*</b>
	<i>0,424***</i>	<i>0,304**</i>	<i>-0,221*</i>		<i>0,037</i>	<i>0,084</i>	<i>0,200*</i>
<i>Satisfacción</i>	<b>0,430***</b>	<b>0,431***</b>	<b>-0,243**</b>	<i>Frustración</i>	-0,081	-0,132	<b>0,186*</b>
	<u>0,418***</u>	<u>0,489***</u>	<u>-0,166</u>		<u>-0,161</u>	<u>-0,291*</u>	<u>0,186</u>
	<i>0,471***</i>	<i>0,427***</i>	<i>-0,271**</i>		<i>-0,037</i>	<i>-0,063</i>	<i>0,175</i>
<i>Entusiasmo</i>	<b>0,457***</b>	<b>0,432***</b>	-0,051	<i>Preocupación</i>	-0,136	<b>-0,207**</b>	0,055
	<u>0,422***</u>	<u>0,481***</u>	0,205		<u>-0,292*</u>	<u>-0,368**</u>	<u>0,128</u>
	<i>0,489***</i>	<i>0,404***</i>	<i>-0,203*</i>		<i>-0,011</i>	<i>-0,106</i>	<i>0,054</i>
<i>Diversión</i>	<b>0,434***</b>	<b>0,388***</b>	<b>-0,199*</b>	<i>Incertidumbre</i>	-0,144	<b>-0,158*</b>	<b>0,321***</b>
	<u>0,414***</u>	<u>0,491***</u>	<u>-0,112</u>		<u>-0,053</u>	<u>-0,183</u>	<u>0,248*</u>
	<i>0,450***</i>	<i>0,346***</i>	<i>-0,257**</i>		<i>-0,198*</i>	<i>-0,155</i>	<i>0,335***</i>

En cuanto a las interacciones entre los constructos de valor (interés, utilidad y coste), se observa una asociación positiva entre los factores de la utilidad y el interés (correlación de Pearson, p-valor<0,001), así como una correlación negativa entre el interés y el factor del coste (correlación de Pearson, p-valor<0,01) (figura 4.15).

#### 4.4.7.1.1 Interacciones de los constructos de valor con el valor a través de un solo ítem

Respecto a las interacciones de los constructos de valor con el valor estimado a través de un solo ítem (empleando una escala de 0-100), este correlaciona de manera consistente tanto positivamente con el interés y la utilidad (correlación de Spearman, p-valor<0,01) como negativamente con el coste (correlación de Spearman, p-valor<0,01). En este sentido, la correlación entre el valor estimado con un solo ítem y el factor correspondiente al valor (calculado con los tres constructos, interés, utilidad y coste) es notablemente significativa (correlación de Spearman de 0,289, p-valor<0,001), lo que añade validez al instrumento para estimar el valor a través de un solo ítem.

#### 4.4.7.1.2 Estudio de las interacciones constructos de valor-emociones en función del género

Respecto al análisis de las interacciones emociones-valor en función del género (tabla 4.13), se observa un sesgo de género en la asociación entre el factor de las emociones positivas y el coste: esta correlación se aprecia solo en mujeres (correlación de Pearson, p-valor<0,01) y su coeficiente de correlación es significativamente distinto al de los hombres. Este resultado sugiere que en las mujeres, a diferencia de los hombres, la aversión hacia una actividad práctica como la planteada viene en gran medida determinada por el coste que le supone.

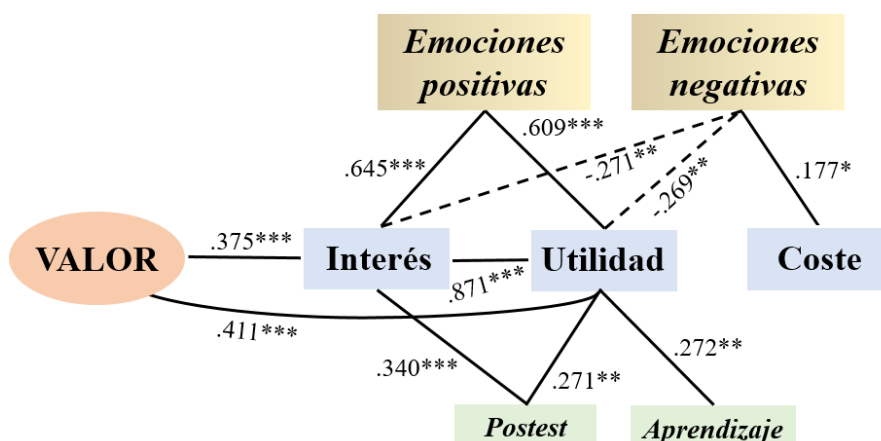
**Tabla 4.13.** Coeficientes de correlación de los factores asociados al interés, la utilidad y el coste, atribuidos por los maestros en formación inicial al uso de Matemáticas en Biología tras la práctica activa de Biología Evolutiva en el año académico 5, con los factores asociados a las emociones positivas y negativas en hombres (subrayado) y mujeres (en cursiva). En negrita se resaltan las correlaciones significativas (Correlación de Pearson, \*\*\*p-valor<0,001; \*\*p-valor<0,01\*p-valor<0,05). En sombreado se señalan las diferencias significativas entre los coeficientes de correlación de hombres y mujeres, calculadas mediante remuestreo o *bootstrapping*.

	<i>Interés</i>	<i>Utilidad</i>	<i>Coste</i>	<i>Emociones positivas</i>	<i>Emociones negativas</i>
<i>Interés</i>	$\frac{1}{1}$	<b><u>0,623</u></b> <sup>***</sup> <b><u>0,800</u></b> <sup>***</sup>	-0,184 <b><u>-0,233</u></b> *	<b><u>0,455</u></b> <sup>***</sup> <b><u>0,506</u></b> <sup>***</sup>	-0,195 <b><u>-0,100</u></b>
<i>Utilidad</i>		$\frac{1}{1}$	0,091 <b><u>0,056</u></b>	<b><u>0,602</u></b> <sup>***</sup> <b><u>0,427</u></b> <sup>***</sup>	<b><u>-0,305</u></b> * <b><u>-0,346</u></b> **
<i>Coste</i>			$\frac{1}{1}$	0,052 <b><u>-0,247</u></b> **	<b><u>0,235</u></b> * <b><u>0,251</u></b> **

El análisis de las emociones individuales refleja este sesgo de género (tabla 4.12), ya que se observan, solo en mujeres, correlaciones negativas entre el coste y las emociones confianza, satisfacción, entusiasmo y diversión (aunque solo existen diferencias significativas entre los coeficientes de correlación para la confianza). Además, dicho análisis refleja algunas diferencias en algunas emociones negativas; concretamente el nerviosismo y la preocupación, que correlacionan negativamente, solo en hombres, con los factores del interés y la utilidad (y sus coeficientes de correlación son distintos a los de las mujeres).

#### 4.4.7.2 Análisis de las interacciones de los constructos de valor hacia el uso integrado de Química y Biología y las emociones durante la práctica de Biología Celular

El análisis de los resultados indica que las asociaciones entre los constructos de valor, atribuidos por los maestros en formación inicial participantes hacia el uso de la Química en Biología tras la realización de la práctica activa de Biología Celular (año académico 4), y las emociones experimentadas durante la misma dependen de la valencia de las emociones y del constructo (figura 4.16).



**Figura 4.16.** Modelo que representa las asociaciones de los factores del interés, la utilidad y el coste, atribuidos por los maestros en formación inicial participantes al uso integrado de Biología y Química tras la práctica activa de Biología Celular en el año académico 4, con los factores asociados a las emociones positivas y negativas, experimentadas durante su realización; con el valor (estimado con un solo ítem en una escala de 0-100) y con los conocimientos de Biología posteriores (postest) y el aprendizaje de Biología. Las estrellas sobre las líneas continuas (correlaciones positivas) y discontinuas (correlaciones negativas) indican \*\*\*p-valor<0,001, \*\*p-valor<0,01, \*p-valor <0,05 (correlación de Spearman/Pearson).

Respecto al factor asociado a las emociones positivas, este correlaciona positivamente con los factores del interés y la utilidad (correlación de Pearson, p-valor<0,001). Estas correlaciones se observan, de manera consistente, para todas las emociones positivas en el análisis de las emociones a nivel individual (tabla 4.14). No se observan correlaciones con el factor del coste (que en el análisis individual solo correlaciona, negativamente, con la confianza).

En cuanto a las emociones negativas, estas correlacionan positivamente con el coste (correlación de Pearson,  $p$ -valor $<0,05$ ) y negativamente con el interés y la utilidad (correlación de Pearson,  $p$ -valor $<0,01$ ). La correlación positiva con el coste se debe fundamentalmente al aburrimiento (tabla 4.14), mientras que las correlaciones negativas con el interés y la utilidad se dan con el aburrimiento y con el nerviosismo (así como con la frustración en el caso de la utilidad).

**Tabla 4.14.** Coeficientes de correlación de la intensidad de las emociones, sentidas por los maestros en formación inicial participantes durante la implementación de la práctica activa de Biología Celular en el año académico 4, con los factores asociados al interés, la utilidad y el coste, atribuidos tras su realización, al uso integrado de Química y Biología. Para cada emoción se incluye el valor general, así como los coeficientes de correlación de hombres (subrayado) y mujeres (en cursiva). En negrita se resaltan las correlaciones significativas (Correlación de Spearman, \*\*\* $p$ -valor $<0,001$ ; \*\* $p$ -valor $<0,01$ , \* $p$ -valor $<0,05$ ). En sombreado se señalan las diferencias significativas entre los coeficientes de correlación de hombres y mujeres, calculadas mediante remuestreo o *bootstrapping*.

<i>Emociones positivas</i>	<i>Interés</i>	<i>Utilidad</i>	<i>Coste</i>	<i>Emociones negativas</i>	<i>Interés</i>	<i>Utilidad</i>	<i>Coste</i>
<i>Alegría</i>	<b>0,590</b> ***	<b>0,549</b> ***	-0,024	<i>Nerviosismo</i>	<b>-0,515</b> ***	<b>-0,463</b> ***	0,112
	<u>0,616</u> ***	<u>0,495</u> ***	<u>-0,112</u>		<u>-0,602</u> ***	<u>-0,525</u> ***	<b>0,365</b> *
	<i>0,561</i> ***	<i>0,563</i> ***	<i>-0,042</i>		<i>-0,424</i> ***	<i>-0,417</i> ***	<i>0,004</i>
<i>Confianza</i>	<b>0,424</b> ***	<b>0,402</b> ***	<b>-0,218</b> *	<i>Aburrimiento</i>	<b>-0,231</b> *	<b>-0,213</b> *	<b>0,218</b> *
	<u>0,502</u> ***	<u>0,446</u> **	<u>-0,133</u>		<u>-0,262</u>	<u>-0,325</u> *	<u>0,392</u> **
	<i>0,473</i> ***	<i>0,451</i> ***	<i>-0,203</i>		<i>-0,181</i>	<i>-0,113</i>	<i>0,136</i>
<i>Satisfacción</i>	<b>0,529</b> ***	<b>0,518</b> ***	-0,006	<i>Frustración</i>	-0,095	<b>-0,192</b> *	0,099
	<u>0,420</u> **	<u>0,488</u> ***	<u>-0,104</u>		<u>-0,163</u>	<u>-0,338</u> *	<u>0,237</u>
	<i>0,558</i> ***	<i>0,520</i> ***	<i>-0,013</i>		<i>-0,011</i>	<i>-0,097</i>	<i>0,035</i>
<i>Entusiasmo</i>	<b>0,426</b> ***	<b>0,363</b> ***	-0,062	<i>Preocupación</i>	-0,174	-0,133	0,141
	<u>0,469</u> ***	<u>0,386</u> **	<u>0,130</u>		<u>-0,480</u> **	<u>-0,431</u> **	<b>0,304</b> *
	<i>0,355</i> **	<i>0,336</i> **	<i>0,002</i>		<i>0,100</i>	<i>0,082</i>	<i>0,083</i>
<i>Diversión</i>	<b>0,486</b> ***	<b>0,459</b> ***	-0,083	<i>Incertidumbre</i>	-0,178	-0,140	0,176
	<u>0,444</u> **	<u>0,428</u> **	<u>0,086</u>		<u>-0,459</u> **	<u>-0,487</u> ***	<b>0,358</b> *
	<i>0,553</i> ***	<i>0,493</i> ***	<i>0,069</i>		<i>-0,009</i>	<i>0,087</i>	<i>0,054</i>

En cuanto a las interacciones entre los constructos de valor (interés, utilidad y coste), se observa una asociación positiva entre los factores de la utilidad y el interés (correlación de Pearson,  $p$ -valor $<0,001$ ).

#### 4.4.7.2.1 Interacciones de los constructos de valor con el valor a través de un solo ítem

En relación a las interacciones de los constructos de valor con el valor subjetivo estimado a través de un solo ítem (empleando una escala de 0-100), los análisis de correlación muestran que este correlaciona, de manera consistente, positivamente con los factores del interés y la utilidad (correlación de Spearman,  $p$ -valor $<0,001$ ).

De igual modo a lo observado para la práctica de Biología Evolutiva (apartado 4.4.7.1.1), se observa una correlación significativa entre el valor estimado con un solo ítem y el factor

correspondiente al valor (calculado con los tres constructos, interés, utilidad y coste) (correlación de Spearman de 0,390, p-valor<0,001). Esta asociación apoya la validez del instrumento empleado para estimar el valor subjetivo a través de un solo ítem.

#### 4.4.7.2.2 Estudio de las interacciones constructos de valor-emociones en función del género

Respecto al análisis de las interacciones emociones-constructos de valor en función del género de los participantes (tabla 4.15), se observa un sesgo en las interacciones de las emociones negativas con los constructos de valor positivos (interés y utilidad). Aunque estas asociaciones son negativas y significativas para ambos géneros, los coeficientes de correlación de los hombres son superiores a los de las mujeres. El análisis de las emociones a nivel individual (tabla 4.14) refleja diferencias entre estos constructos de valor y las emociones negativas preocupación e incertidumbre (correlaciones negativas solo en hombres y cuyos coeficientes de correlación son significativamente diferentes a los de las mujeres). Además, se observan, solo en hombres, asociaciones positivas entre el coste y algunas emociones negativas (nerviosismo e incertidumbre).

**Tabla 4.15.** Coeficientes de correlación de los factores asociados al interés, la utilidad y el coste, atribuidos por los maestros en formación inicial al uso de Química en Biología tras la práctica activa de Biología Celular en el año académico 4, con los factores asociados a las emociones positivas y negativas en hombres (subrayado) y mujeres (en cursiva). En negrita se resaltan las correlaciones significativas (Correlación de Pearson, \*\*\*p-valor<0,001; \*\*p-valor<0,01 \*p-valor<0,05). En sombreado se señalan las diferencias significativas entre los coeficientes de correlación de hombres y mujeres, calculadas mediante remuestreo o *bootstrapping*.

	<i>Interés</i>	<i>Utilidad</i>	<i>Coste</i>	<i>Emociones positivas</i>	<i>Emociones negativas</i>
<i>Interés</i>	$\frac{1}{1}$	<u><b>0,801</b></u> *** <i>0,937</i> ***	<u><b>-0,300</b></u> * <i>-0,086</i>	<u><b>0,620</b></u> *** <i>0,658</i> ***	<u><b>-0,446</b></u> ** <i>-0,269</i> *
<i>Utilidad</i>		$\frac{1}{1}$	<u><b>-0,214</b></u> <i>0,098</i>	<u><b>0,604</b></u> *** <i>0,611</i> ***	<u><b>-0,483</b></u> *** <i>-0,256</i> *
<i>Coste</i>			$\frac{1}{1}$	<u><b>-0,143</b></u> <i>-0,066</i>	<u><b>0,294</b></u> * <i>0,115</i>

#### 4.4.7.3 Discusión

Los resultados, en su conjunto, sugieren que aquellos alumnos que, tras la implementación de las prácticas activas de Biología Evolutiva y Biología Celular, asignan más valor (menor coste y un mayor interés y utilidad) a los enfoques interdisciplinares en Biología, son aquellos que, durante el desarrollo de las intervenciones, experimentaron más emociones positivas (más atracción) y menos emociones negativas (menos repulsión). Destacan, sobre todo, las asociaciones positivas entre las emociones positivas y el interés y la utilidad, y las asociaciones

negativas entre el coste y las emociones negativas. Estas correlaciones no indican una determinada causalidad, aunque sugieren que un aumento del interés y de la utilidad, así como una disminución en el coste, hacia el empleo de enfoques interdisciplinares en Biología de los futuros maestros, provoca aumentos en la intensidad de las emociones positivas y disminuciones en las negativas; o viceversa (una mejora de las emociones durante las prácticas interdisciplinares mejora el valor otorgado por los participantes a la interdisciplinariedad). Teniendo en cuenta los coeficientes de correlación, el coste atribuido por los participantes hacia el uso de Matemáticas y Química en Biología sería el principal activador de las emociones negativas hacia actividades interdisciplinares; mientras que el interés y la utilidad lo serían de las emociones positivas. Estos resultados se acomodan al papel adaptativo de las emociones y a su capacidad de asignar valor (Damasio, 2010; Etkin *et al.*, 2015), también en contextos académicos de acuerdo con la teoría del control-valor (Pekrun, 2006). Asimismo, encajan con los resultados mostrados en el apartado 4.4.2 del presente capítulo (en el que se muestra una asociación entre el valor, otorgado por los maestros en formación inicial participantes, a las prácticas activas de Biología y las emociones sentidas durante las mismas). El empleo de los constructos de valor del test MBVI, desarrollado por Andrews *et al.* (2017), permite diferenciar entre ítems de valor positivos y negativos, observando, como se muestra en el apartado 4.4.5.4 de este capítulo, que las asociaciones de estos constructos de valor son distintas con las emociones en función de su valencia.

Respecto a los análisis en función del género, estos muestran que la interacción negativa del coste, atribuido a la integración de Matemáticas y Biología, con las emociones positivas experimentadas durante la práctica activa de Biología Evolutiva se produce solo en mujeres. Esto sugiere que el efecto del coste de la integración de Matemáticas y Biología afecta más a las emociones positivas de las mujeres. En relación a la práctica activa de Biología Celular, las interacciones negativas entre el interés y la utilidad, otorgado al uso de Química en Biología, y las emociones negativas experimentadas durante la práctica son mayores en hombres. Este resultado sugiere que el interés y la utilidad, del uso de Química en Biología, provocan mayores disminuciones en las emociones negativas de los hombres.

#### **4.4.8 Análisis de las interacciones de los constructos de valor (interés, utilidad y coste) con el conocimiento de Biología y el aprendizaje de Biología de los maestros en formación inicial durante la enseñanza activa interdisciplinar de Biología**

El análisis de los resultados indica que existen interacciones de los constructos de valor, atribuidos por los participantes al uso de Matemáticas y Química en Biología, con los conocimientos de Biología posteriores a las prácticas activas de Biología Evolutiva (año



académico 5) y Biología Celular (año académico 4) (nota del postest) y el aprendizaje de Biología (diferencia entre la nota del postest y la nota del pretest en un subconjunto de la muestra que está en o por debajo del percentil 75 del pretest) (figuras 4.15 y 4.16 y tablas 4.16 y 4.17).

Respecto a la práctica activa de Biología Evolutiva, en esta se observa una correlación negativa del factor del coste, atribuido por los maestros en formación inicial tras la implementación de esta intervención, tanto con los conocimientos posteriores de Biología (tabla 4.16) como con el aprendizaje de Biología (tabla 4.17). Estos resultados sugieren que aquellos alumnos que atribuyen, tras la intervención, un menor coste a la integración de Matemáticas y Biología, son aquellos que aprenden más contenidos de Biología Evolutiva. No se observan diferencias en estas interacciones en función del género de los participantes.

En cuanto a la práctica activa de Biología Celular, los resultados reflejan correlaciones positivas entre los factores del interés y la utilidad y los conocimientos posteriores de Biología (tabla 4.16); así como una asociación positiva entre el factor de la utilidad y el aprendizaje de Biología (tabla 4.17). Estos resultados sugieren que aquellos alumnos que, tras la realización de esta práctica, otorgan más utilidad a la Química en Biología, son aquellos que aprenden más conceptos de Biología y de Química. En este caso, tampoco se observan diferencias en estas interacciones en función del género.

**Tabla 4.16.** Coeficientes de correlación de los factores del interés, la utilidad y el coste, atribuidos por los participantes a la enseñanza interdisciplinar de Biología tras la realización de las prácticas activas de Biología Evolutiva (año académico 5) y Biología Celular (año académico 4), con los conocimientos de Biología posteriores (nota del postest) obtenidos tras su implementación. En negrita se resaltan las correlaciones significativas (Correlación de Spearman, \*\*p-valor<0,01, \*p-valor<0,05).

	<i>Coefficiente de correlación con la nota del postest</i>		
	<i>Total</i>	<i>M</i>	<i>H</i>
<b>Práctica activa de Biología Evolutiva</b>			
<i>Interés</i>	0,045	0,122	-0,096
<i>Utilidad</i>	-0,004	0,089	-0,148
<i>Coste</i>	<b>-0,234**</b>	<b>-0,267**</b>	<b>-0,265*</b>
<b>Práctica activa de Biología Celular, Física y Química</b>			
<i>Interés</i>	<b>0,340***</b>	<b>0,325**</b>	<b>0,368*</b>
<i>Utilidad</i>	<b>0,271**</b>	<b>0,294*</b>	0,247
<i>Coste</i>	-0,172	-0,139	-0,242

**Tabla 4.17.** Coeficientes de correlación de los factores del interés, la utilidad y el coste, atribuidos por los participantes a la enseñanza interdisciplinar de Biología tras la realización de las prácticas activas de Biología Evolutiva (año académico 5) y Biología Celular (año académico 4), el aprendizaje (calculado como la diferencia entre la nota del postest y la nota del pretest en un subconjunto de datos de la muestra que está en o por debajo del percentil 75 del pretest) logrado tras su implementación. En negrita se resaltan las correlaciones significativas (Correlación de Spearman, \*\*p-valor<0,01, \*p-valor<0,05).

	<i>Coeficiente de correlación con el aprendizaje</i>		
	<i>Total</i>	<i>M</i>	<i>H</i>
<b>Práctica activa de Biología Evolutiva</b>			
<i>Interés</i>	0,054	0,143	-0,197
<i>Utilidad</i>	-0,008	0,090	-0,187
<i>Coste</i>	<b>-0,230*</b>	<b>-0,249*</b>	-0,247
<b>Práctica activa de Biología Celular, Física y Química</b>			
<i>Interés</i>	0,199	0,151	0,041
<i>Utilidad</i>	<b>0,272*</b>	0,209	0,110
<i>Coste</i>	-0,026	-0,198	-0,097

En conjunto, estos resultados revelan asociaciones de los constructos de valor con el conocimiento de Biología posterior a las prácticas activas y el aprendizaje de Biología. Estas asociaciones coinciden con las mostradas en el apartado 4.4.3 de este capítulo y en las referencias incluidas en el mismo (en el que se muestra una asociación del valor, otorgado por los maestros en formación inicial a las prácticas activas de Biología, con el conocimiento de Biología y el aprendizaje alcanzados tras las mismas). Asimismo, se acomodan a la teoría de la expectativa-valor (Eccles y Wigfield, 2002), según la cual el valor subjetivo atribuido por los alumnos a los procesos de enseñanza-aprendizaje interacciona con su rendimiento académico.

La inclusión de los constructos de valor del test MBVI desarrollado por Andrews *et al.* (2017) permite, sin embargo, observar que el interés y la utilidad se asocian positivamente con el rendimiento académico, mientras que las asociaciones de este con el coste son negativas. Estas correlaciones concuerdan, además, con las observadas por Itzek-Greulich *et al.* (2017) para la enseñanza práctica activa de Química en Educación Secundaria.

De forma similar a lo que sucede para las correlaciones emociones-valor, estas correlaciones entre el valor, el rendimiento académico y el aprendizaje no indican una relación causa- efecto. Aun así, las asociaciones detectadas sugieren que un mayor grado de interés y utilidad tras la realización de las prácticas, así como un menor coste, hacia el empleo de enfoques interdisciplinarios en Biología, genera mejores resultados de aprendizaje; o viceversa. Es decir, el aumento de valor favorece el aprendizaje, el aprendizaje favorece una mejora en el valor o ambos fenómenos ocurren a la vez. Por tanto, se precisan futuras investigaciones con las que profundizar en el papel del valor en las emociones y el aprendizaje.

## **4.5. Conclusiones**

En este capítulo se ha analizado el valor subjetivo, atribuido por muestras de maestros en formación inicial a las tres prácticas activas de Biología diseñadas en la presente Tesis Doctoral (basadas en la investigación dirigida y el uso de analogías, y en las que se resaltan la interdisciplinariedad y las interrelaciones CTS); y su relación con las emociones experimentadas durante dichas prácticas y el aprendizaje alcanzado tras su implementación. Los resultados muestran asociaciones significativas de ambas variables con el valor otorgado por los participantes a estas intervenciones. Respecto a los objetivos específicos planteados los resultados revelan que:

- La enseñanza práctica activa de Biología es bien valorada por los maestros en formación inicial participantes.
- No existen diferencias, en función del género de los futuros maestros participantes, en el valor subjetivo otorgado a las prácticas activas de Biología diseñadas.
- El valor subjetivo (determinado a través de un solo ítem que solo considera aspectos positivos) interacciona positivamente con las emociones positivas y negativamente con algunas emociones negativas (particularmente con el aburrimiento). Estas asociaciones sugieren que los maestros en formación inicial que otorgan más valor a las prácticas activas de Biología diseñadas son aquellos que, durante su implementación, experimentaron una mayor intensidad de emociones positivas y menos aburrimiento.
- No existe sesgo de género en las interacciones emociones-valor, de los futuros maestros participantes, con las prácticas activas de Biología; salvo para la práctica de Biología Evolutiva (en la que las relaciones del valor, estimado a través de un solo ítem, con las emociones, positivas y negativas, se producen solo en las futuras maestras).
- El valor subjetivo (determinado a través de un solo ítem que solo considera aspectos positivos) interacciona positivamente con el conocimiento de Biología posterior (nota del postest) y con el aprendizaje de Biología. Estas asociaciones sugieren que los maestros en formación inicial que otorgan más valor a las prácticas activas de Biología diseñadas son aquellos que, tras su implementación, tienen un mayor nivel de conocimientos de Biología y aprenden más Biología.
- No existe sesgo de género en las interacciones del valor, otorgado por los participantes a las prácticas activas, con el conocimiento y el aprendizaje de Biología.
- El interés y la utilidad, atribuidos al uso integrado de Matemáticas y Biología, se asocia positivamente con las emociones positivas y negativamente con las emociones negativas; mientras que el coste interacciona de manera positiva con las emociones negativas y negativamente con las emociones positivas. Estas asociaciones sugieren que los maestros en formación inicial que otorgan más valor al uso integrado de

Matemáticas y Biología son aquellos que reportan más emociones positivas y menos emociones negativas hacia la integración de ambas disciplinas.

- Las maestras en formación inicial atribuyen un mayor coste que sus compañeros varones al uso de Matemáticas en Biología, a la vez que describen emociones negativas más intensas hacia esta integración y menos emociones positivas. Las asociaciones negativas del interés y la utilidad con las emociones negativas (sobre todo el nerviosismo) son mayores en los futuros maestros varones.
- La implementación de las prácticas activas de Biología Evolutiva y Biología Celular aumenta el interés (en ambas prácticas) y la utilidad (en el caso de la práctica de Biología Evolutiva), atribuido por los futuros maestros participantes, hacia el empleo de enfoques interdisciplinarios en Biología; así como disminuyen el coste atribuido hacia dichos enfoques interdisciplinarios (en el caso de la práctica de Biología Celular). El interés y la utilidad otorgados a las prácticas activas se asocian de manera positiva con las emociones positivas y con el aprendizaje (en el caso de la utilidad para la práctica activa de Biología Celular), mientras que el coste interacciona positivamente con las emociones negativas y negativamente con el aprendizaje (en el caso de la práctica activa de Biología Evolutiva). Estas asociaciones sugieren que los maestros en formación inicial participantes que otorgan más interés y utilidad a ambas prácticas activas son aquellos que sintieron, durante su implementación, más emociones positivas; mientras que los que otorgan a dichas prácticas un mayor coste son los que experimentaron más emociones negativas. Asimismo, los maestros en formación inicial participantes que otorgan más utilidad a la práctica activa de Biología Celular, así como aquellos que otorgan un menor coste a la práctica activa de Biología Evolutiva, son los que aprenden más Biología.
- Los aumentos (tras las prácticas activas de Biología Evolutiva y Biología Celular) en el interés y la utilidad, atribuido por los participantes hacia el empleo de enfoques interdisciplinarios en Biología, así como las disminuciones en el coste, se observan solo en las futuras maestras. Existen algunos sesgos de género en las interacciones de estos constructos de valor, otorgados por los participantes tras la realización de ambas prácticas activas, con las emociones sentidas durante las mismas: la relación negativa entre las emociones positivas experimentadas con la práctica de Biología Evolutiva y el coste atribuido, tras dicha intervención, al uso de Matemáticas en Biología se produce sólo en las futuras maestras; así como la relación negativa del interés y la utilidad, atribuidos tras la práctica de Biología Celular al uso de Química en Biología, con las emociones negativas experimentadas durante la misma, son mayores en los futuros maestros varones. No existen diferencias, en función del género de los participantes, en las interacciones de los constructos de valor y el aprendizaje.

## **4.6. Implicaciones en la formación inicial de maestros**

En primer lugar, en este capítulo se han mostrado dos procedimientos para estimar el valor subjetivo que los alumnos atribuyen a tareas académicas: i) estimación del valor a través de un solo ítem, que únicamente considera aspectos positivos (con una pregunta simple basada en una escala de 0 a 100), y ii) estimación de tres constructos de valor (dos positivos, interés y utilidad, y uno negativo, coste) mediante un cuestionario test multi-ítem (adaptado del test MBVI), formado por distintos ítems para cada constructo. Ambos procedimientos son sencillos y su implementación en el aula es rápida (sobre todo el procedimiento de estimación del valor a través de un solo ítem), por lo que su empleo permite obtener información acerca del valor que los alumnos otorgan a las actividades en distintos contextos educativos, sin apenas afectar al desarrollo de las mismas. Además, en el caso de las adaptaciones del test MBVI (para determinar el interés, la utilidad y el coste que otorgan los futuros maestros al uso de Matemáticas y Química en Biología), el ajuste de los datos al modelo factorial, junto con la congruencia con la validación del instrumento original (Andrews *et al.*, 2017), apoyan su validez. Estas adaptaciones del test MBVI permiten, además, discernir entre constructos de valor positivos y negativos, pudiendo profundizar en las valoraciones subjetivas de los alumnos.

Estos procedimientos podrían constituir una herramienta útil a incorporar en los procesos de formación inicial de maestros. Su empleo, tras implementar distintas actividades de ciencias, permitiría conocer, de manera rápida, cómo valoran los futuros maestros las actividades implementadas en la formación inicial (el interés que tienen hacia las mismas, la utilidad que le atribuyen en relación a su desempeño profesional, el coste que le otorgan...). La información obtenida de estos cuestionarios posibilita abordar estos aspectos con los maestros en formación inicial, aportando información sobre aquellos aspectos del valor sobre los que sería más importante intervenir. Estos cuestionarios podrían aplicarse, además, al principio de las asignaturas de Didáctica de las Ciencias, para conocer las valoraciones de los estudiantes sobre aspectos concretos de las mismas. Esto posibilitaría, en base a los resultados obtenidos, diseñar actividades específicas para actuar sobre estas valoraciones y, una vez implementadas, observar su efecto. Un ejemplo de esto es la adaptación del test MBVI con el que conocer, antes de la implementación de las prácticas activas, el nivel de interés, utilidad y coste que los futuros maestros otorgan al empleo de enfoques interdisciplinares en Biología; y analizar como varían estos constructos de valor con su implementación.

En segundo lugar, los resultados revelan que la enseñanza activa de las ciencias es bien valorada por maestros en formación inicial. El valor que estos alumnos le otorgan a este tipo de enseñanza se asocia positivamente con las emociones positivas y negativamente con el aburrimiento; así como positivamente con el aprendizaje. Estos resultados sugieren que las

valoraciones subjetivas que realizan los maestros en formación inicial, sobre tareas académicas, están relacionadas con sus emociones y su rendimiento en ciencias, poniendo de manifiesto la necesidad de implementar en la formación inicial actividades bien valoradas por estos estudiantes. La enseñanza activa de las ciencias tiene una implementación escasa en las aulas de Educación Primaria (Osborne y Dillon, 2008), circunstancia que se ha vinculado al alto coste que tiene para el profesorado. De este modo, se ha mostrado que los maestros en ejercicio atribuyen un alto coste al empleo de la indagación guiada (Hofstein y Lunetta, 2004; Pozo y Gómez, 2013; Ritchie *et al.*, 2013) o al tratamiento de aspectos CTS (Borgerding *et al.*, 2013; Fonseca *et al.*, 2012). Por tanto, para favorecer la inclusión de este tipo de metodologías activas en el futuro desempeño profesional de los maestros, es preciso que estas sean bien valoradas por ellos (Wallace y Brooks, 2015). Un ejemplo de esto son las prácticas activas de Biología diseñadas e implementadas en la presente Tesis Doctoral, bien valoradas por los participantes. Adicionalmente, dadas las correlaciones del valor con las emociones y el aprendizaje, esta mejora del valor podría resultar relevante para mejorar las emociones de los docentes en formación hacia la enseñanza activa y su rendimiento académico.

El análisis, empleando la adaptación del test MBVI, del valor y las emociones, que los maestros en formación inicial atribuyen al uso de las Matemáticas en Biología, revela asociaciones entre ambas variables: interacciones positivas del interés y la utilidad con las emociones positivas y del coste con las emociones negativas; e interacciones negativas del interés y la utilidad con las emociones negativas y del coste con las emociones positivas. De acuerdo con los resultados, las emociones negativas de los maestros en formación inicial hacia el empleo de Matemáticas en Biología, ampliamente descritas en la bibliografía para las Matemáticas (Bursal y Paznokas, 2006; Cady y Rearden, 2007), derivan de la creencia de que el esfuerzo que requiere su incorporación no compensa al interés y la utilidad de esta disciplina. Dada su importancia, es preciso abordar estas emociones negativas desde la formación inicial (Gresham, 2007). Teniendo en cuenta las correlaciones emociones-valor, una forma de abordar esta situación es plantear actividades útiles e interesantes, que sean percibidas como posibles de realizar por estos estudiantes u otras estrategias de regulación emocional (Rozek *et al.*, 2019). Un ejemplo es la resolución, empleando habilidades matemáticas, de problemas de Biología, preferiblemente, relacionados con la vida cotidiana (Andrews *et al.*, 2017). Esta situación es muy relevante, dado que las emociones experimentadas por los docentes hacia las Matemáticas se transmiten a sus alumnos (Frenzel *et al.*, 2009). Por tanto, mejorando las emociones de los maestros en formación inicial hacia esta disciplina y su uso en Biología, se podría contribuir a mejorar las emociones hacia las Matemáticas desde la Educación Primaria.

El coste atribuido a la integración de ambas disciplinas no es igual en ambos géneros: los resultados revelan que las mujeres otorgan más coste al uso de Matemáticas en Biología,

proceso para el cual describen más emociones negativas y menos positivas que sus compañeros varones. Así, estos resultados manifiestan la necesidad de intervenir, especialmente, sobre las emociones y valoraciones de las futuras maestras. Esto es trascendental, ya que se ha mostrado que la transmisión de emociones negativas hacia las Matemáticas de profesores a alumnos sufre sesgo de género: las docentes con emociones negativas se las transmiten principalmente a sus alumnas (Maloney y Beilock, 2012). La intervención sobre estas emociones negativas desde la formación inicial del profesorado puede resultar, así pues, clave para frenar este círculo vicioso, de transmisión de emociones negativas y la perpetuación de estereotipos de género hacia las Matemáticas, desde la Educación Primaria. La práctica activa de Biología Evolutiva, en la que se observan aumentos en el interés y la utilidad de las mujeres y disminuciones en su coste hacia esta materia en el contexto de Biología, podría emplearse para este fin.

Finalmente, la enseñanza práctica activa de Biología siguiendo enfoques interdisciplinares (prácticas activas de Biología Evolutiva y Biología Celular) mejora el interés de los futuros maestros hacia el uso de la interdisciplinariedad en Biología, así como aumenta su percepción de utilidad (sobre todo en el caso de las Matemáticas) y disminuye su percepción de coste (sobre todo hacia la Química). Estas valoraciones otorgadas por los alumnos, al empleo de las Matemáticas y la Química en Biología, tras la realización de las prácticas, se relacionan con sus emociones y su aprendizaje. La inclusión, en la formación inicial, de actividades interdisciplinares percibidas por estos alumnos como interesantes y útiles (Fryer y Ainley, 2017; Matthews *et al.*, 2010), así como posibles de realizar, podría mejorar las emociones de los futuros maestros hacia la interdisciplinariedad. Esto puede resultar clave para que estos implementen, en su futura acción docente, actividades en las que integren Biología con otras disciplinas científicas como Matemáticas o Química.





**CAPÍTULO 5. EMOCIONES, APRENDIZAJE Y VALOR  
DURANTE LA ENSEÑANZA PRÁCTICA DE BIOLOGÍA  
EN EDUCACIÓN PRIMARIA**



## **5.1. Introducción**

La investigación educativa ha propuesto que la Educación Primaria resulta clave para la motivación hacia las ciencias, puesto que en esta etapa educativa comienzan a forjarse las emociones de los alumnos hacia las disciplinas científicas. A pesar de esto, existen muchas menos investigaciones sobre las emociones de los alumnos de esta etapa, y la influencia de estas en su rendimiento académico, que de alumnos de Educación Secundaria y universitarios. En este capítulo se replican, con alumnos de Educación Primaria, algunos de los estudios realizados en los cuatro capítulos anteriores de la Tesis Doctoral con maestros en formación inicial. De este modo, se analiza, con una muestra de alumnos de 6° de Educación Primaria, el aprendizaje de conceptos de Biología adquirido durante la etapa de Educación Primaria, así como su recuerdo de emociones en clases de Biología de esta etapa y el valor otorgado a los contenidos de Biología en relación a su vida cotidiana (incluyendo el análisis de las interacciones emociones-conocimientos-valor). Además, se expone una actividad práctica diseñada para la enseñanza de Microbiología a alumnos de Educación Primaria; así como los resultados de su implementación sobre el nivel de conocimientos, las emociones y el valor hacia la Microbiología de una muestra de alumnos de esta etapa. Asimismo, se analizan las interacciones emociones-aprendizaje-valor. Dada el área en la que se basa la intervención diseñada (relacionada con ideas alternativas sobre los microorganismos y emociones negativas hacia estos), en primer lugar se muestran los resultados de investigaciones previas relativas a la enseñanza de la Microbiología en Educación Primaria. Posteriormente se detalla en profundidad la intervención diseñada y su implementación, a la vez que se recogen los aspectos metodológicos necesarios para realizar los estudios anteriormente indicados (muestras, instrumentos y análisis de datos). Finalmente, se incluyen los resultados de estos análisis, así como su discusión e implicaciones en la enseñanza de la Biología en Educación Primaria.

### **5.1.1 La enseñanza de la Microbiología en Educación Primaria: concepciones alternativas y emociones de los alumnos de Educación Primaria hacia los microorganismos**

La Microbiología es una disciplina biológica que está asociada a numerosas concepciones alternativas y emociones negativas en alumnos de distintos niveles educativos. Este patrón se observa desde la Educación Primaria.

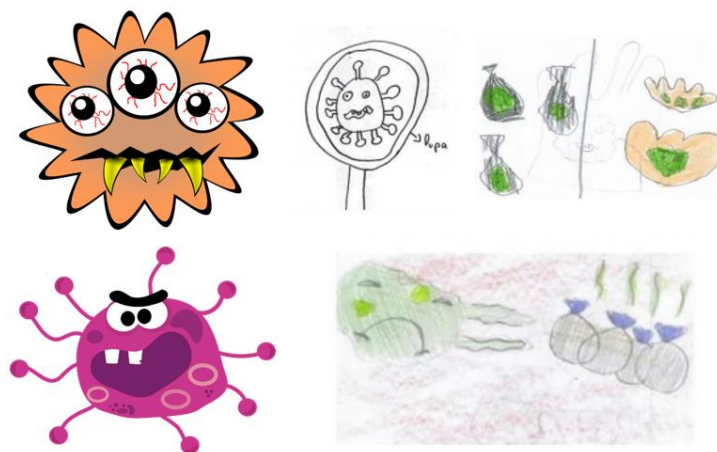
Diversas investigaciones previas han comprobado que los alumnos, de los diferentes cursos de Educación Primaria, tienen una visión incompleta y limitada de los microorganismos. Dicha visión está centrada en su papel como agentes patógenos (Ballesteros *et al.*, 2018; Bandiera, 2007; Byrne, 2011; Byrne *et al.*, 2009; Faccio *et al.*, 2013; Jones y Rua, 2006; Karadon y Sahin, 2010); obviando su importancia en ámbitos como la medicina y la salud (Byrne, 2011), la

agricultura y el medio ambiente (Byrne y Sharp, 2006) o su papel en la producción de alimentos (Byrne, 2011; Díaz *et al.*, 1996) y otras aplicaciones biotecnológicas (Harms, 2002; Karadon y Sahin, 2010). El papel beneficioso, otorgado por algunos alumnos de esta etapa a los microorganismos, se restringe a su participación en la producción de lácteos, mayoritariamente yogur, y a su intervención en la digestión (Ballesteros *et al.*, 2018; Simonneaux, 2010). Otras concepciones alternativas relevantes en alumnos de Educación Primaria, detectadas en estas y otras investigaciones, son:

- Desconocimiento de los procesos de cultivo microbiano y de la formación de colonias. Aunque los alumnos de esta etapa tienen claro el tamaño microscópico de los microorganismos (Ballesteros *et al.*, 2018), consideran que nunca pueden verse a simple vista, ni aunque se junten muchos (Byrne, 2011; Simonneaux, 2010).
- Falta de identificación de los microorganismos como seres vivos que realizan las funciones vitales (Díaz *et al.*, 1998; Faccio *et al.*, 2013) y están formados por células (Díaz *et al.*, 1996). Los alumnos representan a los microorganismos con formas abstractas, humanas o como pequeños animales (Ballesteros *et al.*, 2018; Byrne, 2011; Faccio *et al.*, 2013; Mayerhofer, 2009).
- Desconocimiento de la diversidad de los microorganismos, asemejando de manera genérica el concepto de microorganismo al de bacteria, así como equiparando los conceptos de bacteria y virus (Byrne, 2011; Jones y Rua, 2006; Karadon y Sahin, 2010; Simonneaux, 2010).
- Falta de reconocimiento de la ubicuidad de los microorganismos, asociándolos de manera mayoritaria a lugares sucios o poco higiénicos como basura, agua estancada, el suelo o los baños (Ballesteros *et al.*, 2018; Byrne, 2011; Simonneaux, 2010). Aunque de modo general sitúan a los microorganismos en el cuerpo humano, desconocen el papel beneficioso que juegan en este (Byrne, 2011) y relacionan su presencia con la ausencia de higiene (Bandiera, 2007; Karadon y Sahin, 2010; Mayerhofer, 2009); fundamentalmente en las manos, lugar del cuerpo donde los ubican con mayor frecuencia (Ballesteros *et al.*, 2018).
- Incapacidad para diferenciar los conceptos de esterilización y asepsia (Simonneaux, 2010) y confusión entre los distintos métodos utilizados para alcanzar estas condiciones.

Muchas de estas concepciones se mantienen tras la Educación Primaria (Byrne, 2011; Teodoro y Chambel, 2013), lo que sugiere que la enseñanza tradicional no es capaz de erradicarlas. Respecto a su origen, Karadon y Sahin (2010) señalan que las principales fuentes de información sobre microorganismos, para alumnos de Educación Primaria, son la escuela y los medios de comunicación. Estos últimos, sobre todo internet y la televisión, transmiten una visión simple y negativa, como agentes patógenos, de los microorganismos (Bandiera, 2007;

Jones y Rua, 2006). De manera habitual, los microorganismos son representados en los medios de comunicación como pequeños seres con rasgos humanos y de aspecto maligno, como “pequeños monstruos” (figura 5.1). Esto también se observa en los dibujos que realizan los alumnos de Educación Primaria sobre los microorganismos (Ballesteros *et al.*, 2018) (figura 5.1). En estos se puede observar, además, que suelen situar a los microorganismos en la basura.



**Figura 5.1.** Imágenes empleadas habitualmente para representar a los microorganismos en los medios de comunicación (Fuente: Pixabay); y su correspondencia con dibujos de microorganismos realizados por alumnos de Educación Primaria, tomados del trabajo de Ballesteros *et al.* (2018)

En relación a la escuela como origen de concepciones alternativas, distintas investigaciones han probado que muchas concepciones alternativas sobre conceptos científicos tienen su origen en una enseñanza inadecuada, influida por las concepciones que tienen los docentes y por las presentes en los libros de texto (capítulo 1, apartado 1.1.4). Recientemente, Ballesteros *et al.* (2018) han comprobado, en un estudio de libros de texto de Ciencias Naturales de Educación Primaria, que estos se centran en tratar a los microorganismos como agentes patógenos, al abordarlos dentro del bloque de la salud, lo que podría fomentar la transmisión de una visión perjudicial de los mismos. Además, en la mayoría de los libros analizados se omite su ubicuidad y, en ocasiones, se recurre al antropomorfismo para su representación. Respecto a la transmisión de concepciones alternativas por los maestros, Jones y Rua (2006) han evidenciado que estos limitan su conocimiento microbiano a las enfermedades humanas, lo que podría favorecer que en sus clases se centren en el papel perjudicial de los microorganismos y no ahonden en sus aplicaciones biotecnológicas, de las que tienen un conocimiento poco profundo. Estas mismas concepciones, así como un desconocimiento de la ubicuidad y de los procedimientos de esterilización y asepsia, han sido detectadas en la presente Tesis Doctoral con maestros en formación inicial (capítulo 1, apartado 1.5.4). Esta situación favorece, además, la transmisión de las ideas presentes en los libros de texto ya que, en los temas en los que los maestros están poco instruidos, toman como referencia el libro texto (Barke *et al.*, 2009), asimilando como válidos todos sus contenidos.

Respecto a las emociones hacia los microorganismos, dada su vinculación con la vida cotidiana, la Microbiología es una disciplina con una gran connotación emocional (Byrne, 2011). El mundo microbiano genera emociones negativas en la mayoría de la población, también en los alumnos de Educación Primaria, en los que se ha detectado una falta de motivación hacia este tema (Ballesteros *et al.*, 2018). Distintas investigaciones han probado que estos alumnos se sienten mal al oír hablar de los microorganismos (Karadon y Sahin, 2010), y que los relacionan con términos como “agresividad”, “maldad”, “enfado” y “peligro” (Ballesteros *et al.*, 2018; Mayerhofer, 2009). Esta situación de rechazo emocional es muy relevante, dado el importante papel de las emociones en los procesos de enseñanza-aprendizaje.

Teniendo en cuenta la importancia de la Microbiología (para los seres humanos y otros seres vivos, la salud, los ecosistemas, la producción biotecnológica de numerosos productos...) es necesario que, desde la Educación Primaria, se aborden las emociones negativas y concepciones alternativas hacia esta disciplina. Según Timmis *et al.* (2019), los microorganismos, como “componentes invisibles de la biosfera”, han sido abandonados tradicionalmente por la educación. De acuerdo con estos autores, dado el relevante papel de los microorganismos en múltiples ámbitos de la sociedad actual, la escuela, desde los primeros niveles, debe tener un relevante papel en la alfabetización en Microbiología de los alumnos y en la lucha contra la “microbiofobia”.

## **5.2. Objetivos**

El objetivo general de este capítulo es determinar las interacciones entre las emociones académicas experimentadas hacia la Biología por alumnos de 6º de Educación Primaria, el aprendizaje de Biología y el valor subjetivo que otorgan a la Biología; tanto para las sesiones de Ciencias Naturales que han recibido en la etapa de Educación Primaria como con la implementación de una actividad práctica de Biología diseñada (objetivo general 5 de la Tesis Doctoral). Para ello se plantean los siguientes objetivos específicos con muestras de alumnos de 6º de Educación Primaria de Badajoz:

- Objetivo específico 5.1. Determinar, con alumnos de 6º de Educación Primaria, el grado de conocimiento de una serie de conceptos biológicos básicos impartidos a lo largo de la Educación Primaria.
- Objetivo específico 5.2. Determinar, en una muestra de alumnos de 6º de Educación Primaria, las emociones retrospectivas en clases expositivas y prácticas de Biología de Educación Primaria.
- Objetivo específico 5.3. Analizar, en función del género de los participantes, las emociones retrospectivas en clases expositivas y prácticas de Biología de Educación Primaria.
- Objetivo específico 5.4. Determinar el valor, otorgado por alumnos de 6º de Educación Primaria, a los contenidos de Biología en relación con su vida cotidiana.
- Objetivo específico 5.5. Analizar, en función del género de los participantes, el valor otorgado a los contenidos de Biología.
- Objetivo específico 5.6. Determinar las asociaciones entre las emociones retrospectivas en clases expositivas y prácticas de Biología de Educación Primaria, los conocimientos de Biología adquiridos durante esta etapa y el valor otorgado a los contenidos.
- Objetivo específico 5.7. Analizar, en función del género de los participantes, las asociaciones entre el recuerdo de emociones, en clases expositivas y prácticas de Biología de Educación Primaria, los conocimientos de Biología adquiridos en esta etapa y el valor otorgado a estos contenidos.
- Objetivo específico 5.8. Determinar las concepciones alternativas de Microbiología más frecuentes de una muestra de alumnos de 6º de Educación Primaria.
- Objetivo específico 5.9. Determinar, con alumnos de 6º de Educación Primaria, la efectividad de una intervención práctica, basada en el cultivo microbiano y diseñada para la enseñanza de Microbiología.
- Objetivo específico 5.10. Determinar el efecto en las emociones, de una muestra de alumnos de 6º de Educación Primaria, de la implementación de una actividad práctica de Microbiología.

- Objetivo específico 5.11. Analizar, en función del género de los participantes, el efecto sobre las emociones de la implementación de una práctica de Microbiología.
- Objetivo específico 5.12. Determinar el valor, otorgado por alumnos de 6º de Educación Primaria, a la Microbiología tras la implementación de una práctica de Microbiología.
- Objetivo específico 5.13. Analizar, en función del género de los participantes, el valor otorgado a la Microbiología tras la implementación de una práctica de Microbiología.
- Objetivo específico 5.14. Determinar las asociaciones entre las emociones, experimentadas por una muestra de alumnos de 6º de Educación Primaria con la implementación de una actividad práctica de Microbiología, los conocimientos de Biología posteriores a esta, el aprendizaje de Biología y el valor otorgado a la Microbiología.
- Objetivo específico 5.15. Analizar, en función del género de los participantes, las interacciones entre las emociones, experimentadas con la implementación de una actividad práctica de Microbiología, el conocimiento de Biología, el aprendizaje de Biología y el valor otorgado a la Microbiología.



## **5.3. Metodología**

El análisis de las interacciones de las emociones, de los alumnos de Educación Primaria, con el conocimiento de Biología y el valor se realiza para: i) la etapa de Educación Primaria (recuerdo de emociones y conocimientos de esta etapa) y ii) la implementación una actividad práctica de Microbiología diseñada en la presente Tesis Doctoral (emociones y conocimientos antes y después de esta).

### **5.3.1 Análisis de las emociones retrospectivas y del conocimiento adquirido por alumnos de 6º curso en clases de Biología de Educación Primaria, y del valor que otorgan a la Biología. Análisis en función del género**

#### **5.3.1.1 Muestra**

La muestra utilizada, para el análisis de las emociones retrospectivas, el conocimiento adquirido y el valor otorgado a Biología, así como de las interacciones entre estas tres variables, está formada por 444 alumnos (45,3 % género femenino) de 6º de Educación Primaria (edad entre 11 y 12 años) de diferentes colegios de Badajoz (CEIP Las Vaguadas, CEIP Puente Real, CEIP Nuestra Señora de la Soledad, Colegio Nuestra Señora del Carmen, Colegio Sagrada Familia, Colegio Virgen de Guadalupe de la ciudad de Badajoz; CEIP Francisco Ortiz López de Olivenza, y CEIP San José de Talavera la Real) durante el curso académico 2016-2017. La muestra empleada no es aleatoria, ya que se han elegido los representantes de la población a los que se ha tenido acceso. Los resultados, por tanto, no son extrapolables más allá del contexto local que representan: una muestra diversa de alumnos del último curso de Educación Primaria de Badajoz.

#### **5.3.1.2 Instrumentos**

Se diseñan tres instrumentos con los que valorar: i) una serie de conceptos de Biología impartidos a lo largo de la Educación Primaria, ii) el recuerdo de emociones en clases expositivas y prácticas de Biología de esta etapa, y iii) el valor que le otorgan a los contenidos de esta disciplina en relación con su vida diaria. Estos instrumentos son presentados a los participantes en un mismo cuestionario anónimo (anexo 8). Previamente a su implementación, los alumnos son informados del carácter anónimo del mismo y de la total independencia del resultado del cuestionario y su nota en la asignatura de Ciencias Naturales.

Antes de su implementación, este cuestionario fue revisado por docentes de Educación Primaria, quienes realizaron algunas sugerencias para adaptar el contenido del mismo a alumnos de esta etapa educativa.

#### ***5.3.1.2.1 Instrumento sobre conceptos de Biología impartidos en Educación Primaria***

Para determinar el grado de conocimiento de una serie de conceptos biológicos básicos impartidos en la etapa de Educación Primaria, se emplea un cuestionario que incluye 8 preguntas cerradas, de tipo test, sobre conceptos de Biología (anexo 8). Estas preguntas han sido extraídas del TIMSS (*Trends in International Mathematics and Science Study*) para 4º de Educación Primaria (Foy *et al.*, 2013).

#### ***5.3.1.2.2 Instrumento de emociones***

Para determinar el recuerdo de emociones en clases expositivas y prácticas de Biología de Educación Primaria, se emplea un test autoinforme de emociones (anexo 8). Este se ha diseñado siguiendo los criterios establecidos en la construcción del cuestionario de emociones para maestros en formación inicial diseñado en la presente Tesis Doctoral (capítulo 2, apartado 2.3.1). De este modo, se ha desarrollado un cuestionario autoinforme cuantitativo de ítems sencillos, rápido y poco invasivo, con el que medir 6 emociones académicas: 3 positivas (alegría, satisfacción y asombro) y 3 negativas (aburrimiento, nerviosismo y preocupación). La selección de estas emociones se basa en los resultados de la investigación de Romero (2016), quien estudió qué emociones conocían y verbalizaban una muestra de alumnos de 6º de Educación Primaria de Extremadura, y dentro de estas, cuáles eran las que sentían habitualmente en situaciones académicas.

Las emociones incluidas en el test se presentan de manera aleatoria a los alumnos. Estos autoinforman, mediante una escala ordinal de Likert (que oscila desde 1 “nada” a 5 “muy”), acerca de la intensidad con la que habían experimentado cada emoción en clases expositivas (“Mientras escucho al profesor explicar Biología en clase me siento”) y prácticas (“Cuando hago actividades prácticas de Biología como prácticas de laboratorio, trabajos en el campo... me siento”) de Biología de Educación Primaria. Los participantes reportan sus emociones antes de cumplimentar el cuestionario de contenidos (apartado 5.3.1.2.1), para evitar que este interfiera en las emociones que autoinforman.

#### ***5.3.1.2.3 Instrumento para estimar el valor otorgado a los contenidos de Biología a través de un solo ítem***

Para conocer cómo valoran los alumnos de 6º de Educación Primaria los contenidos de Biología en relación a su vida cotidiana, se diseña un cuestionario de un solo ítem que incluye la siguiente situación: “Lo que aprendo de Biología en clase de Ciencias Naturales es importante para mi vida fuera del colegio”. Los participantes deben puntuar esta afirmación, en función de su grado de acuerdo, empelando una escala de Likert de 0 a 10.

### **5.3.1.3 Análisis estadísticos y estudios en función del género**

Los datos obtenidos con los distintos grupos de alumnos se agruparon en un único conjunto de datos, tras comprobar la ausencia de diferencias significativas entre ellos.

#### ***5.3.1.3.1 Determinación del grado de conocimiento de conceptos de Biología impartidos en Educación Primaria***

Para determinar el grado de conocimiento de los participantes acerca de conceptos biológicos básicos de la etapa de Educación Primaria (objetivo específico 5.1), se analizan las respuestas dadas por los alumnos al instrumento de conocimiento de Biología. De cara al análisis de los resultados, se considera que un concepto presenta errores de comprensión por parte de los participantes si el porcentaje de aciertos de su pregunta es inferior al 50 %.

#### ***5.3.1.3.2 Análisis de las emociones retrospectivas en clases expositivas y prácticas de Biología de Educación Primaria. Estudio en función del género***

Para determinar las emociones recordadas por los participantes en clases expositivas y prácticas de Biología de Educación Primaria (objetivo específico 5.2), se analizan las respuestas del test de emociones. Se estudian las diferencias de intensidad en las emociones estudiadas entre ambos contextos educativos. Dado que los datos no se ajustan a una distribución normal ( $p$ -valor $<0,05$ , test de normalidad Kolmogoro-Smirnov y Shapiro-Wilk) se utiliza estadística no paramétrica (test de Wilcoxon para datos apareados). Las gráficas se realizan con el programa Kaleidagraph (Synergy software).

Se examinan, además, diferencias en la intensidad de dicho recuerdo en función del género de los participantes (objetivo específico 5.3) (test de Wilcoxon para datos desapareados).

#### ***5.3.1.3.3 Determinación del valor otorgado a los contenidos de Biología. Estudio en función del género***

Para determinar el valor subjetivo atribuido por los participantes a la Biología (objetivo específico 5.4), se analizan las respuestas del test de valor. Dado que los datos no se ajustan a una distribución normal ( $p$ -valor $<0,05$ , test de normalidad Kolmogoro-Smirnov y Shapiro-Wilk), se determinan la mediana y el rango intercuartílico. Asimismo, se examinan diferencias en función del género de los participantes (objetivo específico 5.5) (test de Wilcoxon para datos no apareados).

#### ***5.3.1.3.4 Análisis de las interacciones emociones-conocimientos-valor. Estudio en función del género***

Con los datos obtenidos en los tres instrumentos (conocimientos de Biología, emociones retrospectivas y valor), se analizan las siguientes interacciones (objetivo específico 5.6):

- Interacciones entre los conocimientos de Biología adquiridos durante Educación Primaria y las emociones retrospectivas en clases expositivas y prácticas de esta etapa educativa.
- Interacciones entre los conocimientos de Biología adquiridos en Educación Primaria y el valor otorgado a estos contenidos.
- Interacciones entre las emociones retrospectivas en clases expositivas y prácticas de Biología de Educación Primaria y el valor otorgado a los contenidos biológicos.

Dado que los datos no se ajustan a una distribución normal ( $p$ -valor $<0,05$ , test de normalidad Kolmogoro-Smirnov y Shapiro-Wilk) se utiliza estadística no paramétrica (correlación de Spearman) (programa SPSS, IBM software).

Para analizar las posibles diferencias de género en estas interacciones (objetivo específico 5.7) se estudian las diferencias entre los coeficientes de correlación de ambos géneros, calculados para un intervalo de confianza del 95 % (dos desviaciones estándar) mediante remuestreo o *bootstrapping* (N=1000). Los coeficientes de correlación se consideran significativamente diferentes cuando los intervalos de confianza no se solapan ( $p$ -valor $<0,001$ ).

### **5.3.2 Análisis de las emociones experimentadas y del conocimiento/aprendizaje adquirido por alumnos de 6º de Educación Primaria con la enseñanza práctica de Microbiología, y del valor que otorgan a la Microbiología**

#### **5.3.2.1 Muestra**

La muestra empleada para el análisis de las emociones experimentadas, el conocimiento y el aprendizaje adquiridos y el valor otorgado a la Microbiología con la implementación de la práctica de Microbiología (diseñada en esta Tesis Doctoral y descrita en el apartado 5.4 del presente capítulo), así como las interacciones entre estas variables, está formada por 296 alumnos (55,7 % género femenino) de 6º de Educación Primaria (edad entre 11 y 12 años) de varios colegios de Badajoz (CEIP Arias Montano, CEIP Santo Tomás de Aquino, CEIP San Fernando, CEIP Guadiana, Colegio Santo Ángel de la ciudad de Badajoz, y CEIP San José de Talavera la Real) durante el curso académico 2017-2018. Esta muestra no es aleatoria, ya que se han elegido los representantes de la población a los que se ha tenido acceso. Por tanto, los resultados no son extrapolables más allá del contexto local que representan: una muestra diversa de alumnos de Educación Primaria de Badajoz.

#### **5.3.2.2 Instrumentos**

Se han diseñado tres instrumentos con los que determinar: i) el nivel de conocimientos de Microbiología, ii) las emociones sentidas ante la intervención y iii) el valor otorgado a la

Microbiología en relación con la vida cotidiana. Estos instrumentos son presentados a los participantes en un mismo cuestionario anónimo (anexo 9).

Antes de la intervención, los participantes cumplimentan un pretest de conocimientos de Microbiología y un cuestionario acerca de sus emociones anticipatorias ante la práctica de Microbiología. Después de la intervención (a los 15 días), los participantes cumplimentan un posttest de conocimientos de Microbiología, un cuestionario de emociones para informar de las emociones experimentadas durante la intervención y un cuestionario, de un solo ítem, para determinar el valor otorgado a la Microbiología. Los alumnos respondieron a estos instrumentos sabiendo en todo momento que estos son anónimos y que no determinan las calificaciones de la asignatura de Ciencias Naturales.

Los cuestionarios se identifican con una clave anónima (número de lista de cada alumno en el grupo-clase) que permite emparejar los cuestionarios previos y posteriores de cada alumno. Antes de su implementación, estos cuestionarios fueron revisados por docentes de Educación Primaria.

#### ***5.3.2.2.1 Instrumento sobre conocimiento de Microbiología***

Para determinar el nivel de conocimientos de Microbiología antes (conocimientos previos) y después de la implementación de la intervención (conocimientos posteriores), se ha diseñado un cuestionario formado por 10 preguntas cerradas de tipo test (anexo 9). Los conceptos abordados en las preguntas del test son conceptos microbiológicos básicos incluidos en la enseñanza de las Ciencias Naturales de 6º de Educación Primaria, así como conceptos microbiológicos clave relacionados con la actividad práctica implementada.

#### ***5.3.2.2.2 Instrumento de emociones***

Para estimar las emociones académicas, anticipatorias y experimentadas durante la intervención, de los participantes hacia la práctica de Microbiología se utiliza el test autoinforme cuantitativo de emociones para Educación Primaria (descrito en el apartado 5.3.1.2.2 del presente capítulo). Empleando este test, los participantes reportan sus emociones antes de la realización de la intervención (emociones anticipatorias esperadas ante la actividad, presentada a los alumnos de la siguiente manera: “Vamos a realizar una actividad práctica relacionada con los microorganismos. ¿Cómo te sientes ante la perspectiva de realizar esta actividad?”), y 15 días después de su implementación (emociones realmente sentidas durante la misma, situación presentada a los alumnos de este modo: “¿Cómo te has sentido al realizar la actividad práctica sobre los microorganismos?”) (anexo 9).

### ***5.3.2.2.3 Instrumento para estimar el valor otorgado a la Microbiología a través de un solo ítem***

Para conocer el valor subjetivo de los participantes hacia la Microbiología, tras la implementación de la práctica de Microbiología, se diseña un cuestionario constituido por un solo ítem. Este instrumento incluye la siguiente pregunta: “¿Cómo valoras, de 0 a 10, lo que has aprendido de los microorganismos para tu vida diaria?”. Los participantes responden a esta pregunta a los 15 días de la realización de la actividad, puntuando esta afirmación mediante una escala de Likert de 0 a 10.

### **5.3.2.3 Análisis estadísticos y estudios en función del género**

Los datos obtenidos en los instrumentos de conocimientos, emociones y valor, con los alumnos de los distintos centros se agruparon en un único conjunto de datos, tras comprobar la ausencia de diferencias significativas entre ellos.

#### ***5.3.2.3.1 Determinación de los conocimientos previos de Microbiología y de la eficacia de la intervención***

Para determinar el nivel de conocimientos previos de Microbiología de los participantes (objetivo específico 5.8), se analizan las respuestas de los participantes al pretest. Se establece que un contenido presenta errores conceptuales por parte de los participantes si el porcentaje de acierto de su pregunta es inferior al 50 %. Se analiza el grado de presencia de las concepciones alternativas de Microbiología más extendidas, de acuerdo con la revisión bibliográfica recogida en el apartado 5.1.1 del presente capítulo.

Para determinar la efectividad, en relación al aprendizaje de Microbiología, de la intervención diseñada (objetivo específico 5.9) se compara el nivel de conocimientos de Microbiología de los participantes antes de su realización (nota del pretest) y después (nota del postest). Dado que los datos no se ajustan a una distribución normal ( $p$ -valor $<0,05$ , test de normalidad Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk) se utiliza estadística no paramétrica (test de Wilcoxon para datos apareados). Las gráficas se realizan con el programa Kaleidagraph (Synergy software).

#### ***5.3.2.3.2. Análisis del efecto de la intervención en las emociones. Estudio en función del género***

Para determinar el efecto de la intervención sobre las emociones de los participantes (objetivo específico 5.10), se comparan las emociones anticipatorias de los participantes con las emociones realmente experimentadas por estos con la implementación de la práctica de Microbiología. Se examinan, además, diferencias en función del género de los participantes (objetivo específico 5.11).

Dado que los datos no se ajustan a una distribución normal ( $p$ -valor $<0,05$ , test de normalidad Kolmogoro-Smirnov y Shapiro-Wilk) se utiliza estadística no paramétrica (test de Wilcoxon para datos apareados en el caso del análisis general y desapareados en los análisis por género). Las gráficas se realizan con el programa Kaleidagraph (Synergy software).

#### ***5.3.2.3.3 Determinación del valor otorgado a la Microbiología. Estudio en función del género***

Para determinar cómo valoran los participantes, tras la realización de la actividad práctica de Microbiología, a los contenidos de esta disciplina en relación con su vida cotidiana (objetivo específico 5.12), se analizan las respuestas del test de valor. Dado que los datos no se ajustan a una distribución normal ( $p$ -valor $<0,05$ , test de normalidad Kolmogoro-Smirnov y Shapiro-Wilk), se determinan la mediana y el rango intercuartílico. Asimismo, se examinan diferencias en función del género de los participantes (objetivo específico 5.13) (test de Wilcoxon para datos no apareados).

#### ***5.3.2.2.4 Análisis de las interacciones emociones-conocimientos-aprendizaje-valor. Estudio en función del género***

Con los datos obtenidos en los diferentes instrumentos (conocimientos de Microbiología, emociones hacia la intervención y valor), se analizan las siguientes interacciones (objetivo específico 5.14):

- Interacciones entre las emociones sentidas durante la intervención y el nivel de conocimientos de Microbiología posterior a su realización (nota del postest).
- Interacciones entre las emociones sentidas durante la intervención y el aprendizaje de Microbiología (calculado como la diferencia entre el postest y el pretest, solo para aquellos participantes que están en o por debajo del percentil 75 del pretest).
- Interacciones entre las emociones sentidas durante la intervención y el valor otorgado a la Microbiología tras su realización.
- Interacciones del valor otorgado a la Microbiología tras la intervención con la nota del postest y el aprendizaje de Microbiología.

Dado que los datos no se ajustan a una distribución normal ( $p$ -valor $<0,05$ , test de normalidad Kolmogoro-Smirnov y Shapiro-Wilk) se utiliza estadística no paramétrica (correlación de Spearman) (programa SPSS, IBM software).

Para analizar las posibles diferencias en estas interacciones en función del género de los participantes (objetivo específico 5.15), se comparan los coeficientes de correlación de hombres y mujeres, calculados para un intervalo de confianza del 95 % (dos desviaciones estándar) mediante remuestreo o *bootstrapping* ( $N=1000$ ). Los coeficientes de correlación se consideran significativamente diferentes cuando los intervalos de confianza no se solapan ( $p$ -valor $<0,001$ ).

## **5.4. Diseño e implementación de una intervención práctica para la enseñanza de Microbiología en Educación Primaria**

La actividad práctica de Microbiología diseñada en la presente Tesis Doctoral se basa en el cultivo microbiano y está dirigida a alumnos de 6º de Educación Primaria. El objetivo didáctico de esta intervención es abordar, de manera práctica, conceptos básicos de Microbiología como el concepto de microorganismo, su ubicuidad, su diversidad y los conceptos de asepsia y esterilización (incluyendo los métodos a emplear para alcanzar estas condiciones). Su implementación se programa para desarrollarse en dos sesiones de aula con la totalidad de los alumnos del grupo-clase: i) una primera sesión, con una duración de 2 horas, en la que se realizan una serie de actividades prácticas basadas en el cultivo de microorganismos y ii) una segunda sesión, una semana después de la primera, de entre 45 minutos y 1 hora de duración, en la que se discuten los resultados obtenidos en los experimentos realizados en la primera sesión.

La intervención comienza planteando una serie de preguntas sobre los microorganismos: “¿Es posible verlos a simple vista? ¿Dónde hay microorganismos? ¿Son todos iguales? ¿Qué les pasa cuando nos lavamos las manos con agua y jabón? ¿Y cuándo usamos alcohol? ¿Son buenos o malos?”. Estas preguntas sirven para situar a los alumnos en los contenidos que se van a trabajar durante la sesión, así como para fomentar su participación e interés hacia el tema.

Posteriormente, a modo de introducción, se exponen, empleando una presentación de diapositivas, el concepto de microorganismo y su diversidad (bacterias, hongos, protoctistas y virus). Estos contenidos forman parte del currículo de 6º de Educación Primaria (Decreto 103/2014, de 10 de junio, por el que se establece el currículo de Educación Primaria para la Comunidad Autónoma de Extremadura) por lo que, dado que las intervenciones se llevaron a cabo entre el segundo y el tercer trimestre del curso 2017/2018, los alumnos ya los habían tratado en la asignatura de Ciencias Naturales. Antes de realizar cada una de las intervenciones, los maestros responsables de los distintos grupos de alumnos informaron de esta circunstancia. El tratamiento del concepto de microorganismo, de su diversidad y de las características de los distintos grupos permite, por tanto, conectar con los conocimientos previos de los alumnos sobre Microbiología, sirviendo de punto de partida para la intervención.

A continuación, se aborda el tamaño de los microorganismos. Para ello, se emplea la siguiente comparación (figura 5.2): “Imagina que eres Europa. Comparado con tu cuerpo, una levadura es como un campo de fútbol dentro de Europa, una bacteria como un autobús y un virus como un balón de fútbol”. Con ello, se aborda la escala de tamaños de los seres vivos, con el objetivo de que los alumnos se percaten del tamaño microscópico de los microorganismos. Tras esto, se plantea la siguiente pregunta: “Teniendo en cuenta cuál es el tamaño de los microorganismos, ¿es posible verlos a simple vista?”. En este momento se produce un debate en el que los



alumnos defienden la necesidad de emplear un microscopio para este fin. El docente, con el objetivo de introducir la formación de colonias de microorganismos, reconduce las repuestas de los alumnos y fomenta su participación. Tras este debate muestra, empleando una animación en una presentación de diapositivas, cómo varios elementos pequeños, al unirse, pueden dar lugar a algo más grande. Basándose en esto, explica a los alumnos el cultivo de microorganismos y la formación de colonias: muchos microorganismos al unirse forman una estructura llamada colonia que se puede observar a simple vista, sin ayuda del microscopio. De este modo, los alumnos comprenden que la unión de muchos elementos microscópicos puede formar un elemento macroscópico. Esta situación se relaciona con los conocimientos previos de los alumnos (por ejemplo su propio cuerpo o el de sus compañeros está formado por miles de millones de células).

### ¿CÓMO DE PEQUEÑOS SON LOS MICROORGANISMOS?

Imagina que eres Europa



**Figura 5.2.** Comparación empleada para tratar el tamaño de los microorganismos (levaduras, bacterias y virus)

Seguidamente, se llevan a cabo dos actividades prácticas, para las cuales los alumnos se organizan en parejas. Se presenta a los participantes el material a utilizar: placas de Petri con medio de cultivo. Se explica que el medio de cultivo contiene todos los nutrientes necesarios para que los microorganismos puedan crecer y que, cuando cae un microorganismo en la placa, este se alimenta y se reproduce (se aborda la reproducción celular por bipartición), dando lugar a muchos microorganismos descendientes, que se organizan en forma de colonias, lo que permite su visualización. Esta explicación se acompaña de una presentación de diapositivas en las que se pueden observar esquemas del proceso de bipartición y fotografías de colonias microbianas. En este momento los alumnos se organizan en parejas, cada una de las cuales recibe un par de placas de Petri con medio nutritivo. Con ellas, realizan dos experimentos (figura 5.3):

- Para mostrar la ubicuidad de los microorganismos y su diversidad (fundamentalmente para diferenciar entre bacterias y hongos), cada pareja deja abierta, durante 20 minutos,

una placa de Petri en distintos lugares del centro (aulas, pasillos, baños, patio, comedor, gimnasio, aula de música, biblioteca, sala de profesores, secretaría, despacho del director...) (figura 5.4).

- Para abordar el lavado de manos y el alcohol como métodos de asepsia y esterilización, los alumnos dividen, usando un rotulador, una placa de Petri en 4 secciones que tocan con un dedo: i) sin lavar, ii) lavado con agua y jabón, iii) limpiado con alcohol y iv) que ha tocado una superficie del aula a su elección (mesa, estuche, pizarra, móvil del profesor, dinero...) o incluso poniendo un pelo (figura 5.5). Además de permitir experimentar con los procesos de asepsia y esterilización (secciones 2 y 3 de la placa de Petri), a través de esta actividad se abordan otros conceptos como la microbiota de la piel (sección 1) y la ubicuidad (sección 4). Es muy importante advertir a los alumnos acerca de la necesidad de trabajar en condiciones asépticas (tomando una serie de precauciones como abrir poco la placa y no hablar durante la actividad para evitar contaminaciones), así como indicar la necesidad de escurrir el dedo antes de tocar el medio en el paso 2, para evitar que el agua se transfiera de una porción a otra y distorsione los resultados.

**¿DÓNDE HAY MICROORGANISMOS?** **Práctica 1**

Por parejas, dejad una placa Petri abierta en distintas partes del colegio durante 20 minutos. Escribid el lugar del colegio y el nombre del grupo en la placa. Para que nadie nos la toque poned una nota.

**¿QUÉ LES PASA A LOS MICROORGANISMOS CUANDO NOS LAVAMOS LAS MANOS CON JABÓN? ¿Y CUANDO USAMOS ALCOHOL?**

**Práctica 2**

**Figura 5.3.** Diapositivas empleadas para explicar los experimentos a los participantes



**Figura 5.4.** Placas de Petri abiertas en distintos lugares del centro durante el experimento de ubicuidad



**Figura 5.5.** Participantes realizando el experimento sobre asepsia y esterilización



Una vez finalizadas ambas actividades, los alumnos cierran las placas utilizando Parafilm M (figura 5.6). En este momento, se pregunta a los alumnos: “¿Hay microorganismos en vuestras placas? ¿Por qué no se ven?”. Los alumnos, mediante un debate guiado por el docente, indican que hay microorganismos en sus placas, pero que no se ven porque son microscópicos, y es necesario esperar a que se alimenten del medio y se reproduzcan hasta formar colonias que se puedan ver a simple vista. Entonces, las placas de los distintos grupos de alumnos se agrupan en un determinado punto del aula, donde se quedan durante una semana (figura 5.7). Durante esta, las placas cerradas son observadas por los participantes bajo la ayuda de su profesor de Ciencias Naturales.



**Figura 5.6.** Alumnos cerrando las placas de ambas actividades empelando Parafilm M



**Figura 5.7.** Placas de Petri en el aula durante la semana que transcurre entre la primera y la segunda sesión

Después de una semana, tiene lugar una segunda sesión en la que se discuten los resultados con los alumnos (figura 5.8). Mediante preguntas y discusiones guiadas por el docente se abordan los siguientes conceptos:

- Formación de colonias, observándolas en ambas placas y recordando que son estructuras microbianas que se ven a simple vista porque están formadas por muchos microorganismos (figuras 5.9 y 5.10).
- Ubicuidad de los microorganismos, poniendo de manifiesto su presencia en distintos lugares de su colegio y en diferentes objetos cotidianos (figuras 5.9 y 5.10).
- Diversidad de los microorganismos, diferenciando entre bacterias y hongos. Además, se pone de manifiesto que existen distintos tipos de colonias bacterianas y fúngicas, abordando, de este modo, la diversidad dentro de ambos grupos (figuras 5.9 y 5.10).
- Microbiota de la piel y del pelo (figuras 5.10 y 5.11), revelando la presencia de microorganismos en el cuerpo humano y su importancia.
- Conceptos de asepsia y esterilización, relacionando ambos conceptos con la higiene (lavado de manos antes de distintas acciones cotidianas como cocinar, comer..., limpiarse una herida con alcohol).

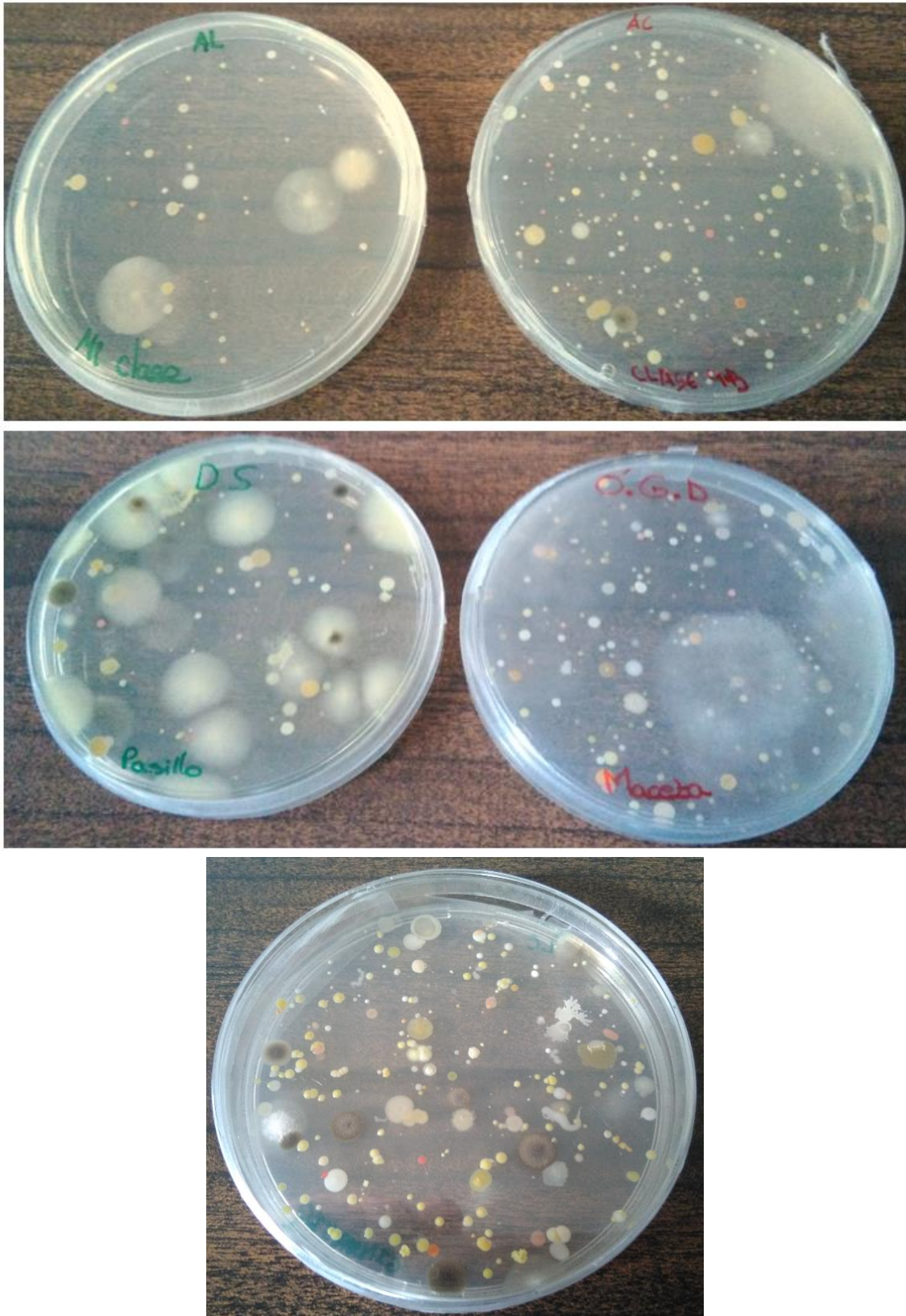


**Figura 5.8.** Discusión de los resultados de los experimentos con los participantes

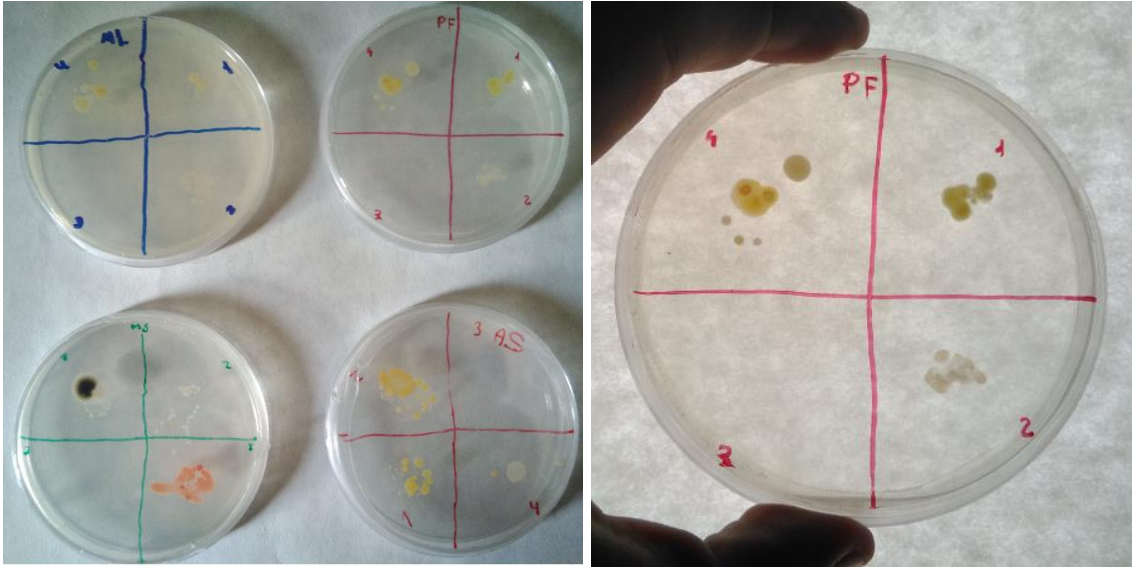
Como conclusión final, se genera un debate sobre el papel de los microorganismos en relación a los seres humanos, planteando la siguiente cuestión: “Los microorganismos ¿son buenos o malos?”. El docente guía este debate, tras el cual se evidencia que, aunque existen

microorganismos patógenos, existen otros muchos que nos proporcionan beneficios y que tienen una gran importancia para nuestra vida cotidiana. De este modo se trata (empleando una presentación de diapositivas) la importancia de la microbiota del ser humano (piel, pelo, intestino...), el papel ecológico de los microorganismos y su importancia biotecnológica (producción de antibióticos, alimentos...). Este último apartado se aborda mediante preguntas tipo: “¿Quién hace el yogur? ¿Hay bacterias vivas en un yogur? ¿Y el pan, quién lo produce? ¿Tiene el pan levaduras vivas? ¿Quién hace el vino y la cerveza?”.

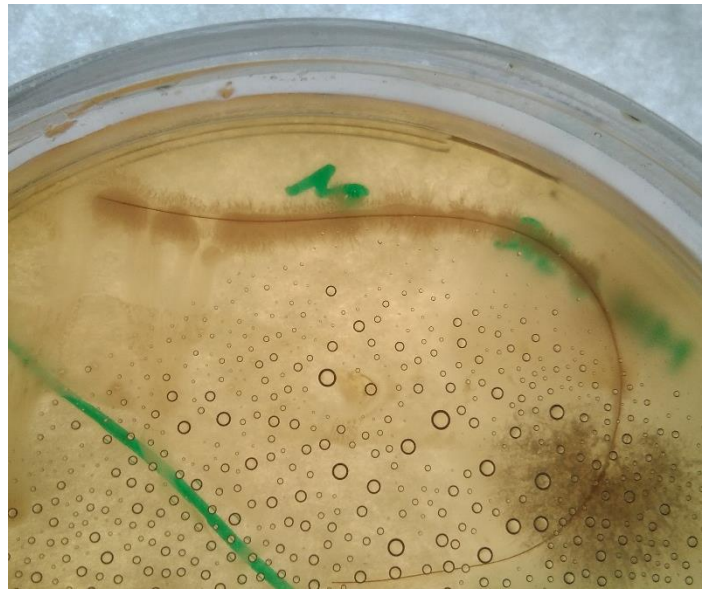




**Figura 5.9.** Resultados del experimento sobre ubicuidad de los microorganismos (ejemplos de microorganismos de aulas, pasillo, patio, gimnasio...)



**Figura 5.10.** Resultados del experimento sobre asepsia y esterilización



**Figura 5.11.** Colonias bacterianas (microbiota del pelo) creciendo alrededor de un pelo (paso 4 del experimento sobre asepsia y esterilización)



## **5.5. Resultados y discusión**

### **5.5.1 Análisis del recuerdo de conceptos básicos de Biología impartidos durante la Educación Primaria**

Los resultados obtenidos por la muestra de alumnos de 6º de Educación Primaria (n=444) en el test de conocimientos básicos de Biología, impartidos en Ciencias Naturales a lo largo de la Educación Primaria (basado en preguntas de Biología extraídas del TIMSS, nivel 4º de Educación Primaria), revelan que la mayoría de las preguntas son respondidas correctamente por un amplio porcentaje de los participantes (tabla 5.1). Esto sugiere que estos conceptos biológicos han sido comprendidos y retenidos adecuadamente por los participantes durante la Educación Primaria. Sin embargo, se observa una excepción: el 57,2 % de los participantes desconoce el papel de los alimentos en la generación de la energía que necesita el cuerpo humano para poder realizar distintos procesos (en concreto para sanar una herida). Mayoritariamente, atribuyen este papel al agua o a distintos procedimientos médicos (pomada o venda).

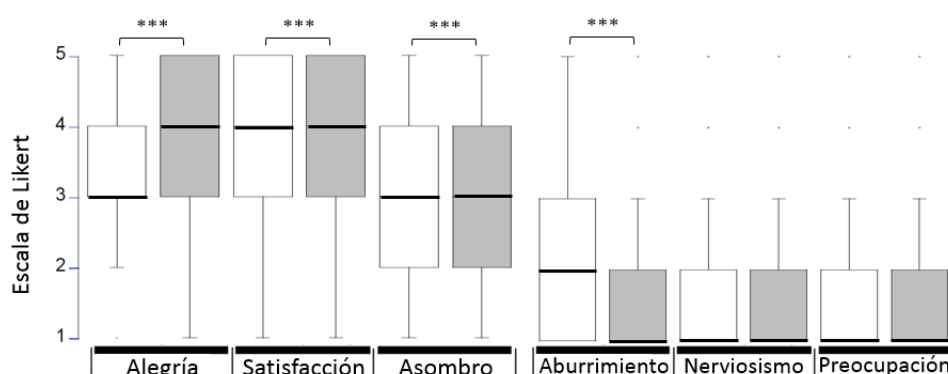
**Tabla 5.1.** Conceptos de Biología en los que se basaban las preguntas del test. Para cada concepto se indica el porcentaje de acierto de la pregunta relacionada, resaltando en negrita los conceptos y porcentajes de aciertos inferiores al 50 %.

<i>Concepto</i>	<i>Porcentaje de aciertos</i>
<i>Herencia</i>	92,3 %
<i>Fotosíntesis</i>	71,4 %
<b><i>Alimento como fuente de energía</i></b>	<b>42,8 %</b>
<i>Distinción entre materia viva e inerte</i>	82,4 %
<i>Animales voladores (aves, mamíferos e insectos)</i>	90,7 %
<i>Alimentos fuentes de vitaminas y minerales</i>	79,7 %
<i>Grasa como aislante térmico</i>	97,9 %
<i>Exoesqueleto</i>	80,9 %

Este resultado concuerda con el trabajo de Kostanjevec *et al.* (2011) quienes detectaron, en una muestra de alumnos de 6º de Educación Primaria, un conocimiento muy pobre del papel energético de los alimentos. Una posible causa de esto podría ser la falta de tratamiento de la respiración celular (y su papel en la producción de energía a partir de los nutrientes) dentro de la nutrición en Educación Primaria, situación que se ha observado en los libros de texto de Ciencias Naturales de esta etapa (García-Barros y Martínez-Losada, 2005). En base a este resultado, sería recomendable recalcar, durante la Educación Primaria, el papel de la nutrición en la producción tanto de materia como de energía.

## 5.5.2 Análisis de las emociones retrospectivas en sesiones expositivas y prácticas de Biología de Educación Primaria. Influencia del género

El análisis del recuerdo de emociones, de los alumnos de 6º de Educación Primaria participantes (n=444) en clases expositivas y prácticas de Biología Educación Primaria, revela que estos describen con diferente intensidad el recuerdo de las emociones que han experimentado en ambos tipos de sesiones de Ciencias Naturales (figura 5.12). Respecto a las emociones positivas, en todos los casos, su recuerdo es más intenso en clases prácticas que en clases expositivas. En el caso de la alegría, la mediana aumenta de 3 en clases expositivas a 4 en clases prácticas (p-valor<0,001, test de Wilcoxon). Respecto a la satisfacción (mediana de 4 en ambos casos) y el asombro (mediana de 3 para ambos contextos), las diferencias significativas observadas (p-valor<0,001, test de Wilcoxon) se deben a un aumento de la varianza hacia valores superiores en clases prácticas. En relación a las emociones negativas, el recuerdo del aburrimiento es más intenso en clases expositivas (mediana de 2) que en clases prácticas (mediana de 1) (p-valor<0,001, test de Wilcoxon). No se observan diferencias significativas entre ambos tipos de sesiones para las emociones nerviosismo y preocupación.



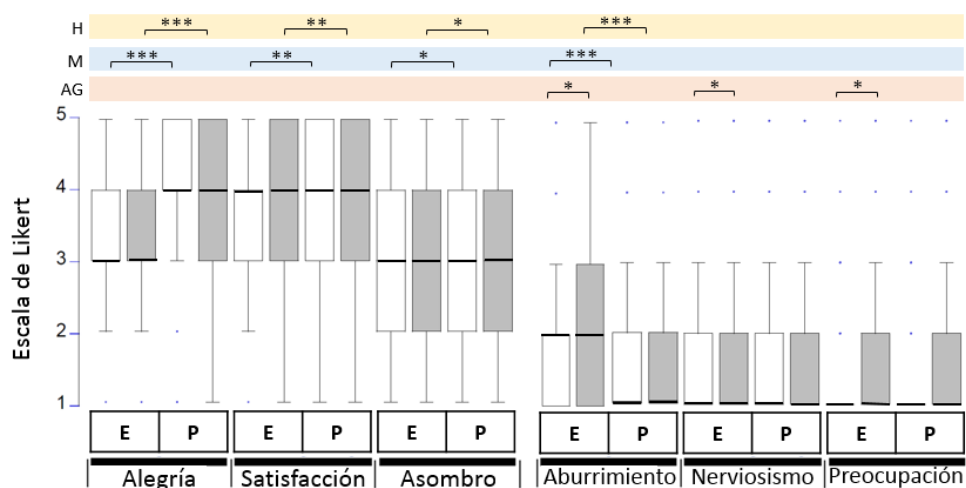
**Figura 5.12.** Distribución de la intensidad de las emociones, positivas y negativas, experimentadas de manera habitual por los alumnos de 6º de Educación Primaria participantes durante clases expositivas (cajas vacías) y prácticas (cajas grises) de Biología en Educación Primaria. La recta horizontal dentro de cada caja representa la mediana. Los límites inferiores y superiores de cada caja corresponden a los percentiles 25 y 75. La terminación inferior y superior de las líneas verticales a los percentiles 5 y 95. Las líneas horizontales sobre las cajas unen grupos significativamente diferentes (test de Wilcoxon, \*\*\*p-valor<0,001).

Estos resultados concuerdan con numerosas investigaciones previas que han revelado el papel motivador de los trabajos prácticos en la enseñanza de las ciencias (Caamaño, 2014; Hofstein y Lunetta, 2004; Wellington, 2002). De este modo, existen indicios sobre su efecto en las emociones de los alumnos de distintos niveles educativos. En concreto, estos resultados coinciden con los del trabajo desarrollado por De Orta *et al.* (2016), quienes estudiaron la frecuencia de emociones, con una muestra de alumnos de 5º de Educación Primaria, ante distintos tipos de actividades de ciencias. Estos autores comprobaron que las emociones

positivas son las más frecuentes en actividades prácticas de ciencias (como salidas al medio natural, actividades manipulativas o actividades de investigación) y que el aburrimiento es la emoción más frecuente en las clases expositivas.

### 5.5.2.1 Estudio de las emociones retrospectivas en clases de Biología de Educación Primaria en función del género

Respecto a los análisis en función del género (figura 5.13), el patrón observado en el análisis general se observa en ambos géneros. De este modo, tanto las mayores intensidades de emociones positivas (alegría, satisfacción y asombro) en clases prácticas, como la menor intensidad de aburrimiento en estas, se advierten en ambos géneros. Sin embargo, se observa un sesgo de género para las emociones negativas en clases expositivas. En todos los casos (aburrimiento, nerviosismo y preocupación) las emociones negativas sentidas con la enseñanza expositiva de la Biología son más intensas en los alumnos de género masculino (p-valor<0,05, test de Wilcoxon).



**Figura 5.13.** Distribución de la intensidad de las emociones, positivas y negativas, experimentadas por las alumnas (cajas vacías) y los alumnos (cajas grises) en clases expositivas (E) y prácticas (P) de Biología en Educación Primaria. La recta horizontal dentro de cada caja representa la mediana. Los límites inferiores y superiores de cada caja corresponden a los percentiles 25 y 75. La terminación inferior y superior de las líneas verticales a los percentiles 5 y 95. Las líneas horizontales sobre las cajas unen grupos significativamente diferentes (test de Wilcoxon, \*\*\*p-valor<0,001, \*\*p-valor<0,01, \*p-valor<0,05) entre los alumnos (H), las alumnas (M) y entre ambos (análisis de género, AG).

Se ha descrito ampliamente que, desde la Educación Primaria, la Biología es una disciplina más motivadora para las chicas que para los chicos (Baram-Tsabari *et al.*, 2006; Bodgan y Meneses, 2019; Prokop *et al.*, 2007). Teniendo en cuenta que la enseñanza de las ciencias en esta etapa educativa se basa mayoritariamente en sesiones expositivas (caracterizadas, de acuerdo con los resultados, por mayores intensidades de aburrimiento), las mayores intensidades de emociones negativas detectadas en los alumnos de género masculino para este tipo de sesiones concuerdan con los resultados de estas investigaciones previas. Dada la importancia de las emociones hacia

las ciencias en la etapa de Educación Primaria, sería recomendable abordar dichas emociones negativas, sobre todo de los varones, para generar en ellos una mayor motivación hacia la Biología. Una manera de mejorar las emociones de los alumnos de Educación Primaria hacia la Biología (sobre todo para disminuir los niveles de aburrimiento) podría ser implementar una mayor cantidad de actividades prácticas en su enseñanza.

Por otro lado, los resultados del recuerdo de emociones revelan que la enseñanza práctica de la Biología es más motivadora que la enseñanza expositiva (tanto en el análisis general como en el análisis en función del género se observa que las emociones positivas son más intensas en este contexto). Además, se observa, en ambos análisis, que dichas emociones positivas tienen una intensidad media o alta (medianas de 3 y 4) también en sesiones expositivas, lo que sugiere el papel motivador de la enseñanza de las clases teóricas de Biología a alumnos de esta etapa.

### **5.5.3 Valor otorgado por alumnos de Educación Primaria a los contenidos de Biología**

Respecto al valor otorgado por los alumnos de 6° de Educación Primaria participantes (n=444) a la Biología en relación a su vida diaria, se obtiene una mediana de 8 y un rango intercuartílico de 2. Estos resultados sugieren que, al finalizar la etapa de Educación Primaria, los alumnos participantes valoran positivamente a la Biología y consideran útiles, para su vida cotidiana, los conocimientos biológicos adquiridos en la asignatura de Ciencias Naturales.

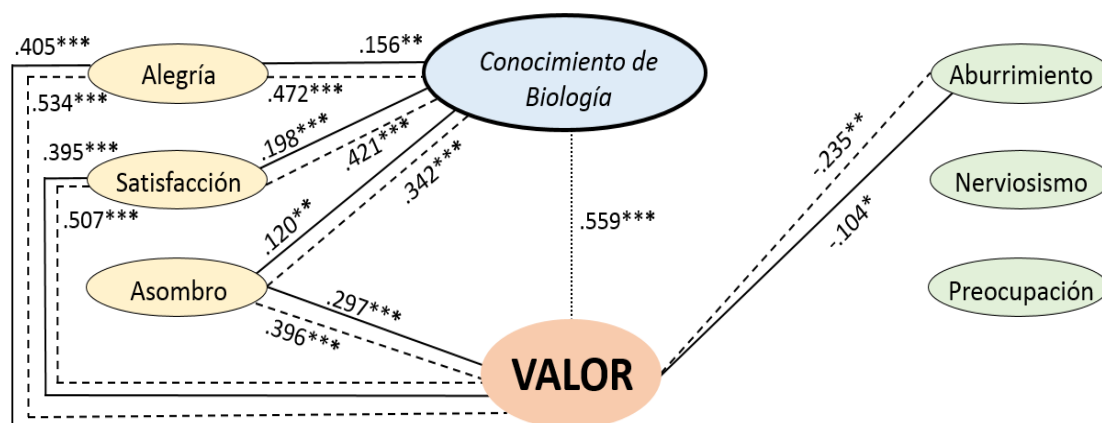
Respecto al análisis del valor en función del género, en ambos casos se obtiene una mediana de 8 y un rango intercuartílico de 2. No existen diferencias significativas entre ambos géneros ( $p$ -valor > 0,05, test de Wilcoxon).

### **5.5.4 Análisis de las interacciones entre el recuerdo de emociones en clases de Biología de Educación Primaria, el conocimiento de Biología y el valor**

Los análisis de correlación de Spearman para las interacciones de las emociones retrospectivas de los alumnos de 6° de Educación Primaria participantes (n=444), en clases expositivas y prácticas de Biología de Educación Primaria, con el conocimiento de Biología adquirido durante esta etapa y con el valor otorgado a los contenidos de Biología (figura 5.14) muestran:

- Correlaciones positivas entre el recuerdo de la intensidad de las emociones positivas (alegría, satisfacción y asombro) en clases expositivas y el conocimiento de Biología.
- Correlaciones positivas entre el recuerdo de la intensidad de las emociones positivas (alegría, satisfacción y asombro) en clases prácticas y el conocimiento de Biología.

- Correlaciones positivas entre el recuerdo de la intensidad de las emociones positivas (alegría, satisfacción y asombro) en clases expositivas y el valor otorgado a los contenidos de Biología.
- Correlaciones positivas entre el recuerdo de la intensidad de las emociones positivas (alegría, satisfacción y asombro) en clases prácticas y el valor otorgado a los contenidos de Biología.
- Correlaciones negativas entre el recuerdo de la intensidad de aburrimiento (tanto en clases expositivas como prácticas) y el valor otorgado a los contenidos de Biología.
- Correlación positiva entre el conocimiento de Biología y el valor otorgado a esta.



**Figura 5.14.** Modelo que representa las correlaciones significativas (correlación de Spearman, \*\*\*p-valor<0,001 \*\*p-valor<0,01, \*p-valor <0,05) entre los resultados obtenidos en la prueba de conocimientos de Biología de Educación Primaria (azul), el valor otorgado a los contenidos biológicos (naranja) y la intensidad de las emociones positivas (amarillo) y negativas (verde) experimentadas durante clases expositivas (líneas continuas) y clases prácticas (líneas discontinuas) de Biología de Educación Primaria.

### 5.5.4.1 Estudio de las interacciones emociones retrospectivas-conocimiento de Biología-valor en función del género

El análisis de estas interacciones en función del género de los participantes (tablas 5.2 y 5.3) no revela diferencias entre ambos géneros.

Respecto a las interacciones emociones-conocimiento de Biología (tabla 5.2), se observan, en ambos géneros, correlaciones positivas entre el recuerdo de intensidad de las emociones positivas en clases prácticas y la nota del test de contenidos. Respecto a las emociones en clases expositivas, se han detectado correlaciones positivas con la satisfacción (ambos géneros) y la alegría (en las alumnas). En ningún caso existen diferencias significativas entre los coeficientes de correlación de ambos géneros.

**Tabla 5.2.** Coeficientes de correlación de Spearman (\*\*p-valor<0,001, \*p-valor<0,01) entre el conocimiento de Biología de Educación Primaria y las emociones experimentadas en esta etapa por las alumnas (M) y los alumnos (H) en clases expositivas y prácticas de Biología Educación Primaria. Las correlaciones significativas se resaltan en negrita. En sombreado se señalan las diferencias significativas entre los coeficientes de correlación de ambos géneros, calculadas mediante remuestreo o *bootstrapping*.

<i>Emociones experimentadas durante la Educación Primaria</i>	<i>Coefficiente de correlación con el conocimiento de Biología de Educación Primaria</i>			
	<i>Clases expositivas</i>		<i>Clases prácticas</i>	
	<i>M</i>	<i>H</i>	<i>M</i>	<i>H</i>
<i>Alegría</i>	<b>0,226**</b>	0,099	<b>0,431***</b>	<b>0,507***</b>
<i>Satisfacción</i>	<b>0,210**</b>	<b>0,192**</b>	<b>0,426***</b>	<b>0,421***</b>
<i>Asombro</i>	0,135	0,119	<b>0,367***</b>	<b>0,325***</b>
<i>Aburrimiento</i>	-0,063	0,043	0,003	-0,063
<i>Nerviosismo</i>	0,034	-0,089	0,022	-0,080
<i>Preocupación</i>	0,028	-0,033	-0,033	-0,076

En cuanto a las interacciones emociones-valor (tabla 5.3), se observan, en ambos géneros, correlaciones positivas entre el recuerdo de la intensidad de las emociones positivas (tanto en clases expositivas como prácticas) y el valor. Respecto a las emociones negativas, destaca el aburrimiento que correlaciona negativamente con el valor tanto en clases expositivas (ambos géneros) como prácticas (en los alumnos de género masculino). Además, la preocupación correlaciona, solo en varones, con el valor, tanto en clases expositivas como en clases prácticas. Únicamente se observan diferencias significativas entre los coeficientes de correlación de ambos géneros para la preocupación en clases expositivas.

**Tabla 5.3.** Coeficientes de correlación de Spearman (\*\*p-valor<0,001, \*p-valor<0,01, \*p-valor<0,05) entre el valor otorgado a los contenidos de Biología por las alumnas (M) y los alumnos (H) y las emociones experimentadas por estos en clases expositivas y prácticas de Biología Educación Primaria. Las correlaciones significativas se resaltan en negrita. En sombreado se señalan las diferencias significativas entre los coeficientes de correlación de ambos géneros, calculadas mediante remuestreo o *bootstrapping*.

<i>Emociones experimentadas durante la Educación Primaria</i>	<i>Coefficiente de correlación con el valor otorgado a los contenidos de Ciencias Naturales</i>			
	<i>Clases expositivas</i>		<i>Clases prácticas</i>	
	<i>M</i>	<i>H</i>	<i>M</i>	<i>H</i>
<i>Alegría</i>	<b>0,515***</b>	<b>0,314***</b>	<b>0,514***</b>	<b>0,549***</b>
<i>Satisfacción</i>	<b>0,471***</b>	<b>0,338***</b>	<b>0,583***</b>	<b>0,449***</b>
<i>Asombro</i>	<b>0,314***</b>	<b>0,286***</b>	<b>0,454***</b>	<b>0,357***</b>
<i>Aburrimiento</i>	<b>-0,280***</b>	<b>-0,193**</b>	-0,064	<b>-0,127*</b>
<i>Nerviosismo</i>	0,032	-0,096	-0,060	-0,072
<i>Preocupación</i>	0,063	<b>-0,172**</b>	-0,006	<b>-0,135*</b>

Finalmente, la correlación entre el conocimiento de Biología y el valor se observa tanto en los alumnos (correlación de 0,608, p-valor<0,001, correlación de Spearman) como en las alumnas (correlación de 0,580, p-valor<0,001, correlación de Spearman), sin existir diferencias entre ambos géneros.

### 5.5.4.2 Discusión

Las asociaciones positivas entre las emociones positivas, experimentadas habitualmente por los participantes con la enseñanza de la Biología en Educación Primaria, y el recuerdo de conceptos biológicos básicos adquiridos en esta etapa sugieren que aquellos alumnos que recuerdan más conceptos de Biología, adquiridos durante la Educación Primaria, son aquellos que han experimentado más emociones positivas durante las clases tanto expositivas como, sobre todo, prácticas de esta materia (mayores coeficientes de correlación y de mayor significatividad). El hecho de que no se observen asociaciones significativas para las emociones negativas, en ningún caso de los analizados, podría deberse a la baja frecuencia con la que los alumnos de esta etapa educativa experimentan emociones negativas hacia la Biología, tanto en clases expositivas como prácticas (apartado 5.5.2 del presente capítulo y las referencias que incluye). Una excepción es el aburrimiento, emoción que ha sido descrita con más frecuencia en clases expositivas. Aun así, no se observan correlaciones significativas del conocimiento de Biología con el aburrimiento en ninguno de los dos contextos académicos analizados.

La asociación detectada entre las emociones y el recuerdo de conocimiento de Biología está en concordancia con la teoría del control-valor (Perkrun, 2006), según la cual las emociones académicas están relacionadas con los logros académicos, uno de los cuales es el aprendizaje a largo plazo. Sin embargo, como se ha indicado anteriormente en esta Tesis Doctoral, existen pocas investigaciones que hayan detectado una asociación duradera entre emociones académicas y el conocimiento a largo plazo. Un ejemplo de esto son los resultados expuestos en el capítulo 3 de este trabajo con maestros en formación inicial (apartado 3.4.1 y las referencias incluidas en él). Sin embargo, no se ha indagado acerca de esta interacción a largo plazo con alumnado de Educación Primaria. Los resultados de este apartado revelan que el aprendizaje de Biología de alumnos de esta etapa educativa está asociado a altas intensidades de emociones positivas. Esto concuerda con distintos trabajos previos que han revelado el importante papel de las emociones (Dunsmoor *et al.*, 2015; Gray *et al.*, 2002), sobre todo positivas (Kensinger y Corkin, 2004; Tyng *et al.*, 2017), en la mejora de la memoria. El hecho de que se observen correlaciones positivas entre las emociones positivas y el recuerdo de contenidos de Biología, tanto para sesiones expositivas como para sesiones prácticas, es consistente con los resultados de las emociones recordadas para ambos contextos (apartado 5.5.2 del presente capítulo); según los cuales ambos tipos de sesiones generan intensidades medias o altas (medianas de 3 y 4) de emociones positivas. Estas son siempre más intensas en sesiones prácticas, lo que concuerda con los coeficientes de correlación hallados para las emociones de este contexto.

Respecto a las asociaciones emociones-valor, los resultados revelan asociaciones positivas entre las emociones positivas experimentadas por los participantes, con la enseñanza de la Biología en

Educación Primaria (tanto en sesiones expositivas como en sesiones prácticas), y el valor subjetivo otorgado a la Biología; así como asociaciones negativas de este y el aburrimiento experimentado en ambos contextos educativos. No existe sesgo de género en estas interacciones, salvo para la preocupación en clases expositivas, que se asocia negativamente con el valor solo en los participantes de género masculino. Estos resultados sugieren que aquellos participantes que valoran mejor la Biología, en relación a su vida cotidiana, son aquellos que han experimentado más emociones positivas, y menos aburrimiento, con su enseñanza durante la Educación Primaria. Estos resultados concuerdan con la teoría del control-valor (Pekrun, 2006), según la que las emociones académicas están relacionadas con la estimación del valor que los alumnos realizan de los procesos de enseñanza-aprendizaje. Además, coincide con lo observado para otros niveles educativos, como los análisis realizados con maestros en formación inicial en la presente Tesis Doctoral (capítulo 4, apartado 4.4.2 y referencias incluidas en él). Sin embargo, existen pocas investigaciones que hayan analizado esta circunstancia con alumnado de Educación Primaria, como los resultados de esta investigación.

El valor subjetivo, que los alumnos otorgan al conocimiento de Biología, se ha medido siguiendo el procedimiento empelado por Pekrun y su grupo de investigación, a través de un solo ítem en el que se consideran exclusivamente aspectos positivos del valor (en una escala de 0 a 10 en este caso). Esta podría ser la causa por la que el valor correlaciona mayoritariamente con las emociones positivas. Esta circunstancia se observa también en los resultados expuestos en el capítulo 4 en los que se estima el valor subjetivo a través de un solo ítem con maestros en formación inicial (apartado 4.4.2 y referencias que incluye). El hecho de que en el valor se hayan considerado aspectos exclusivamente positivos explicaría además, al igual que en los resultados expuestos en dicho capítulo para futuros maestros, que el aburrimiento (emoción negativa con comportamiento singular, que correlaciona negativamente con las emociones positivas, capítulo 2) correlacione, tanto en clases expositivas como en clases prácticas, negativamente con el valor.

En relación a la interacción valor-conocimiento de Biología, el hecho de que se observe una asociación positiva entre el recuerdo de contenidos de Biología, de Educación Primaria, y el valor, otorgado a esta materia, sugiere que aquellos alumnos que valoran más, en relación a su vida diaria, los conceptos de Biología que han aprendido a lo largo de la Educación Primaria son aquellos que recuerdan en mayor medida estos conceptos. Estos resultados concuerdan con la teoría de la expectativa-valor (Eccles y Wigfield, 2002; Eccles *et al.*, 2005), según la cual el rendimiento académico está influido por el valor que los alumnos otorgan a los procesos de enseñanza-aprendizaje. Existen algunos indicios de este hecho, sobre todo con alumnos universitarios (Hulleman *et al.*, 2010; Matthews *et al.*, 2010), así como los resultados mostrados en el capítulo 4 de esta investigación con maestros en formación inicial (apartado 4.4.3). Los



resultados mostrados en este apartado revelan una asociación entre el valor y el rendimiento académico en una muestra de alumnos de Educación Primaria.

Las diferentes asociaciones detectadas (emociones-conocimiento de Biología, emociones-valor y valor-conocimiento de Biología) no indican una determinada causalidad. No se puede determinar si los resultados de aprendizaje de Biología son consecuencia de una experiencia emocional positiva en Educación Primaria, de una mejor valoración de los contenidos de Biología o de ambas cosas; o si son estos resultados los que han determinado las emociones que recuerdan los participantes hacia las clases de Biología de esta etapa y el valor que le atribuyen a esta materia. Del mismo modo, no se puede establecer si las emociones que los alumnos recuerdan haber experimentado en Educación Primaria condicionan el valor que le otorgan a la Biología, o si este ha influido en las emociones que han sentido con la Biología en esta etapa. Se requieren, por tanto, de futuras investigaciones con las que profundizar en estas asociaciones.

Aun así, los resultados revelan que existe una asociación a largo plazo entre el aprendizaje de Biología, las emociones y el valor subjetivo. Las asociaciones positivas detectadas entre las emociones positivas y el valor, y entre este y el conocimiento de Biología, sugieren que las asociaciones entre el recuerdo de conceptos de Biología y las emociones positivas podrían estar mediadas por aumentos en el valor que los alumnos otorgan a los mismos. Esto concuerda con el papel adaptativo de las emociones: la información emocional se recuerda mejor, ya que es más útil para los individuos (y por tanto mejor valorada por estos) (Dunsmoor *et al.*, 2015). Por tanto, estos resultados aconsejan enfatizar la utilidad de los contenidos enseñados con el fin de mejorar la adquisición de conocimientos de Biología y las emociones hacia esta de los alumnos de Educación Primaria. Dado que no se encuentran diferencias en los coeficientes de correlación de los alumnos y las alumnas, esta recomendación es válida para ambos géneros, y podría contribuir a mejorar la motivación de los varones hacia la Biología.

### **5.5.5 Análisis del conocimiento previo sobre Microbiología de alumnos de 6º de Educación Primaria: detección de concepciones alternativas**

El análisis del pretest aplicado a la muestra de alumnos de 6º de Educación Primaria participantes (n=296), antes de la implementación de la práctica de Microbiología, revela la presencia de algunas concepciones alternativas sobre el mundo microbiano (tabla 5.4). Las concepciones alternativas presentes en más del 50 % de la muestra analizada son:

- Desconocimiento del cultivo microbiano y de la formación de colonias (96,28 % de los alumnos). Esto coincide con los resultados de las investigaciones de Byrne (2011) y Simonneaux (2010) quienes comprobaron, con alumnos de distintos cursos de Educación Primaria (de 2º a 6º), que en los alumnos de esta etapa educativa está muy

extendida la idea de que los microorganismos nunca pueden verse a simple vista, ni aunque se junten millones.

- Desconocimiento del lavado de manos como método de asepsia (79,73 % de los participantes), considerándolo como un procedimiento que elimina a todos los microorganismos (esterilización). La falta de reconocimiento de las diferencias entre esterilización y asepsia ha sido descrita en algunos trabajos previos con alumnos de esta etapa (Simonneaux, 2010).
- Desconocimiento de la diversidad de los microorganismos (el 67,91 % no considera a las bacterias como los seres vivos más sencillos y el 76,01 % no comprende el concepto de virus). Estas observaciones coinciden con los trabajos de Byrne (2011), Jones y Rua (2006) y Karadon y Sahin (2010), quienes detectaron un desconocimiento de los distintos grupos de microorganismos con alumnos de Educación Primaria.
- Desconocimiento de la presencia de bacterias vivas en el yogur (61,82 % de los participantes). Este resultado es muy significativo, ya que el yogur es el único alimento que los alumnos de Educación Primaria consideran como producido por los microorganismos (Ballesteros *et al.*, 2018; Byrne, 2011).

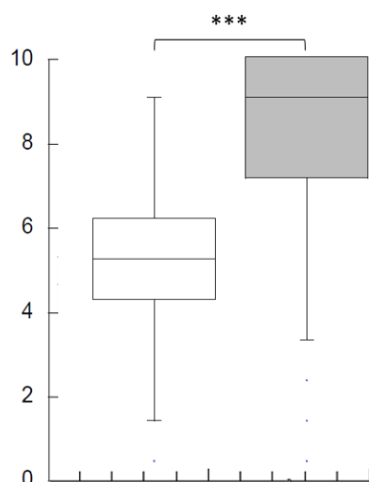
**Tabla 5.4.** Conceptos de Microbiología en los que se basaban las preguntas del pretest. Para cada concepto se indica el porcentaje de acierto de la pregunta relacionada, resaltando en negrita los conceptos y porcentajes de aciertos inferiores al 50 %.

<i>Concepto</i>	<i>Porcentaje de aciertos</i>
<i>Sólo algunos microorganismos son patógenos</i>	84,12 %
<b><i>Los microorganismos pueden cultivarse y verse a simple vista</i></b>	<b>3,72 %</b>
<i>Ubicuidad de los microorganismos</i>	67,23 %
<b><i>Las bacterias son los seres vivos más sencillos</i></b>	<b>32,09 %</b>
<b><i>El lavado de manos como medida de asepsia</i></b>	<b>20,27 %</b>
<i>El alcohol como medida de esterilización</i>	71,96 %
<b><i>Biotecnología: el yogur es un alimento que contiene bacterias vivas</i></b>	<b>38,18 %</b>
<i>Relación de los microorganismos con seres humanos (patógenos y biotecnología)</i>	53,04 %
<b><i>Los virus no son seres vivos</i></b>	<b>23,99 %</b>
<i>Bacterias y levaduras como seres vivos</i>	66,55 %

El resto de los conceptos presentan errores de comprensión o concepciones alternativas en menos del 50 % de la muestra, destacando un desconocimiento de las aplicaciones biotecnológicas de los microorganismos (46,94 % de los alumnos).

### 5.5.6 Análisis de la eficacia de la intervención diseñada respecto al aprendizaje de Microbiología de alumnos de Educación Primaria

Los resultados de la implementación de la práctica de Microbiología diseñada en la presente Tesis Doctoral, sobre el nivel de conocimientos de los participantes (n=296) acerca de los microorganismos, muestran su efectividad respecto al aprendizaje de Microbiología (figura 5.15); ya que se observa un aumento significativo de la nota del postest, respecto a la nota del pretest (la mediana aumenta desde 5 en el pretest hasta 9 en el postest, p-valor<0,001, test de Wilcoxon).



**Figura 5.15.** Resultados obtenidos por los participantes antes, pretest (cajas vacías), y después, postest (cajas grises), de la implementación de la práctica de Microbiología. Las cajas representan la distribución de los resultados. La recta horizontal dentro de cada caja representa la mediana, los límites inferiores y superiores de cada caja corresponden a los percentiles 25 y 75, y la terminación inferior y superior de las líneas verticales se aproximan a los percentiles 5 y 95. La línea horizontal sobre las cajas de grupos significativamente diferentes (\*\*\*)p-valor<0,001, test de Wilcoxon).

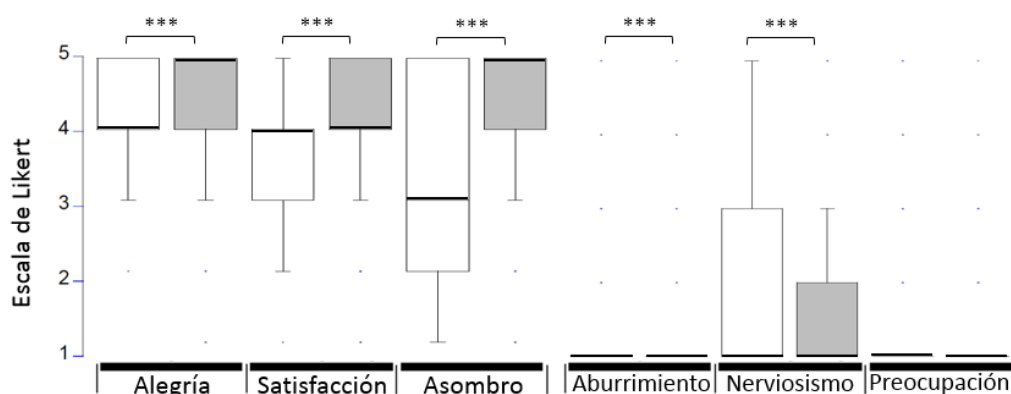
Estos resultados concuerdan con distintas investigaciones previas que han indicado la efectividad de la enseñanza práctica de la Microbiología (Redfern *et al.*, 2013). Un ejemplo de esto son los resultados recogidos en el capítulo 1 de esta Tesis Doctoral (apartado 1.5.1), en los que se muestra la efectividad, sobre el aprendizaje de Microbiología de maestros en formación inicial, de una práctica activa diseñada para la enseñanza de esta disciplina. También concuerdan con investigaciones realizadas en este sentido con alumnos de Educación Primaria (Faccio *et al.*, 2013). Esos autores observaron que, tras una intervención práctica de Microbiología, los alumnos de esta etapa educativa mejoraron su nivel de conocimiento sobre el papel biotecnológico de los microorganismos, aunque seguían considerando a estos como agentes patógenos. El análisis de las respuestas del postest a nivel individual concuerda con esta investigación, ya que revela que la pregunta número 8 (que precisamente aborda estos aspectos, patogenicidad y biotecnología microbiana) pasa de un porcentaje de aciertos del 53,04 % en el pretest al 67,60 % en el postest, siendo ambos porcentajes significativamente distintos (p-

valor<0,001, test de Wilcoxon). Aun así, casi un tercio del alumnado (32,40 %) continúa sin asimilar estos conceptos.

Teniendo en cuenta estos resultados, para mejorar el nivel de conocimientos microbiológicos de los alumnos de Educación Primaria y para luchar contra las concepciones alternativas tan extendidas en esta área, se recomienda implementar más actividades prácticas en la enseñanza de los microorganismos en esta etapa educativa.

### 5.5.7 Análisis del cambio de emociones de alumnos de Educación Primaria con la implementación de práctica de Microbiología

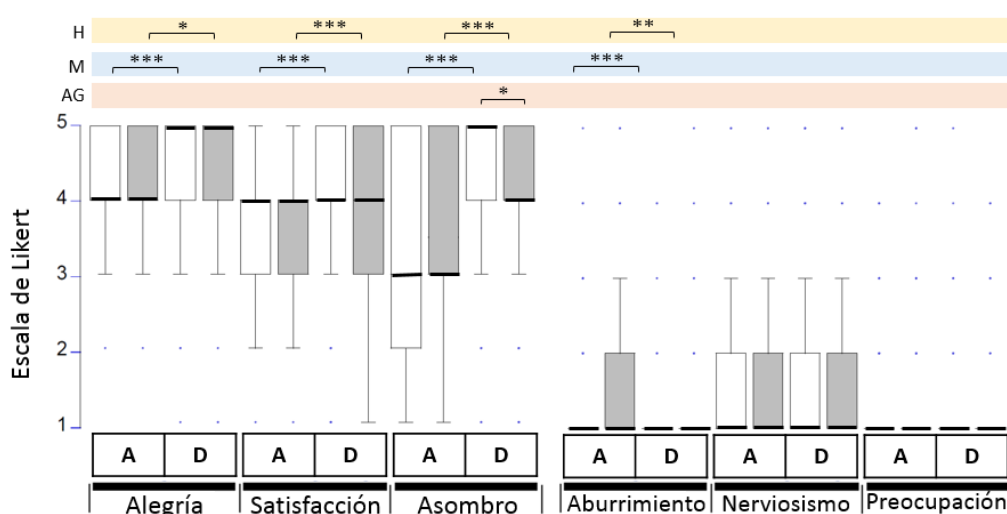
Los resultados del efecto de la práctica de Microbiología sobre las emociones de los alumnos de 6º de Educación Primaria participantes (n=296) muestran que la implementación de esta actividad generó, respecto a sus emociones anticipatorias, un aumento en la intensidad de las emociones positivas; así como una disminución en la intensidad de las negativas (figura 5.16). Respecto a las emociones positivas, la mediana de la alegría aumenta de 4 a 5 (p-valor<0,001, test de Wilcoxon) y la del asombro de 3 a 5 (p-valor<0,001, test de Wilcoxon). Las diferencias significativas observadas en la satisfacción (mediana de 4 antes y después) se deben a un aumento de la varianza hacia valores superiores tras la intervención. Respecto a las emociones negativas, se observan disminuciones en las intensidades del aburrimiento y del nerviosismo (p-valor<0,001, test de Wilcoxon). Las diferencias significativas observadas en ambas (mediana de 1 antes y después) se deben a disminuciones de la varianza hacia valores inferiores después de la realización de la práctica. No se observa diferencias significativas para la preocupación.



**Figura 5.16.** Distribución de la intensidad de las emociones, positivas y negativas, experimentadas por los participantes antes (cajas vacías) y después (cajas grises) de la implementación de la práctica de Microbiología. La recta horizontal dentro de cada caja representa la mediana. Los límites inferiores y superiores de cada caja corresponden a los percentiles 25 y 75, y la terminación inferior y superior de las líneas verticales a los percentiles 5 y 95. Las líneas horizontales sobre las cajas unen grupos significativamente diferentes (test de Wilcoxon, \*\*\*p-valor<0,001).

### 5.5.7.1 Estudio del cambio de emociones con la práctica de Microbiología en función del género

El análisis, en función del género, del efecto de la implementación de la práctica sobre las emociones de los participantes refleja que no existen diferencias entre ambos géneros (figura 5.17), que experimentan similares aumentos en la intensidad de todas las emociones positivas, así como disminuciones en la intensidad de aburrimiento. Solo se observan diferencias significativas en el asombro reportado tras la intervención, más intenso en las alumnas (mediana de 5 en las alumnas y de 4 en los alumnos, p-valor<0,05, test de Wilcoxon).



**Figura 5.17.** Distribución de la intensidad de las emociones, positivas y negativas, experimentadas por las alumnas (cajas vacías) y los alumnos (cajas grises) de Educación Primaria, antes (A) y después (D) de la implementación de la práctica de Microbiología. La recta horizontal dentro de cada caja representa la mediana. Los límites inferiores y superiores de cada caja corresponden a los percentiles 25 y 75, y la terminación inferior y superior de las líneas verticales a los percentiles 5 y 95. Las líneas horizontales sobre las cajas unen grupos significativamente diferentes (test de Wilcoxon, \*\*\*p-valor<0,001, \*\*p-valor<0,01; \*p-valor<0,05) entre los alumnos (H), las alumnas (M) y entre ambos (análisis de género, AG).

### 5.5.7.2 Discusión

Estos resultados indican que la actividad práctica de Microbiología diseñada en la presente Tesis Doctoral motiva a los alumnos de Educación Primaria; ya que genera, respecto a su expectativa de emociones, aumentos en la intensidad de las emociones positivas y disminuciones en la intensidad de las negativas. El papel motivador y de generación de emociones positivas de la enseñanza práctica de las ciencias ha sido revelado en numerosos trabajos previos con alumnos de distintos niveles educativos (Caamaño, 2014; Hofstein y Lunetta, 2004; Wellington, 2002). Por tanto, su implementación en las clases de Ciencias Naturales de Educación Primaria en áreas como la Microbiología, hacia la que los alumnos de esta etapa suelen experimentar mayoritariamente emociones negativas (Ballesteros *et al.*, 2018; Karadon y Sahin, 2010; Mayerhofer, 2009), puede contribuir a frenar esta tendencia.

Los análisis en función del género de los participantes apoyan que la intervención tiene un efecto positivo en la motivación tanto de los alumnos como de las alumnas. Esta circunstancia no se produce en otros niveles educativos: ni en la Educación Secundaria (Weinburgh y Englehard, 1994) ni en la universidad (como en la formación inicial de maestros, capítulo 2, apartado 2.4.5.5). En estos casos se observa un mayor efecto de la enseñanza práctica de la Biología sobre las emociones de las alumnas. Esta observación sugiere que los sesgos de género hacia la Biología, y su enseñanza práctica, podrían profundizarse a partir de la Educación Secundaria.

### **5.5.8 Valor otorgado por alumnos de Educación Primaria a la Microbiología**

Respecto al valor otorgado por los participantes a la Microbiología tras la implementación de la práctica diseñada, se obtiene una mediana de 10 y un rango intercuartílico de 1. Este resultado indica que los alumnos de 6º de Educación Primaria participantes valoran positivamente la práctica realizada y que consideran útiles, para su vida diaria, los contenidos sobre los microorganismos abordados durante la misma.

En relación al análisis del valor en función del género, se obtiene una mediana de 9 en los alumnos y de 10 en las alumnas (rango intercuartílico de 1 en ambos casos); aunque no existen diferencias significativas entre ambos géneros ( $p$ -valor $>0,05$ , test de Wilcoxon).

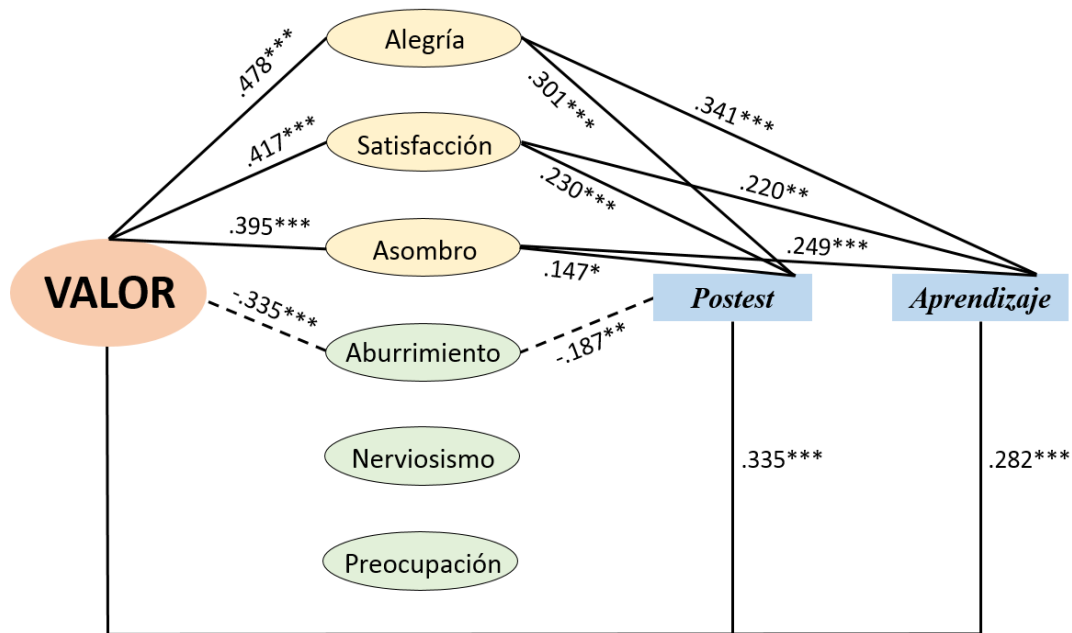
### **5.5.9 Análisis de las interacciones entre las emociones experimentadas por los alumnos de Educación Primaria con la práctica de Microbiología, el conocimiento de Microbiología, el aprendizaje de Microbiología y el valor. Influencia del género**

Las diferentes interacciones detectadas entre las emociones experimentadas por los participantes ( $n=296$ ) con la implementación de la práctica de Microbiología, el nivel de conocimientos de Microbiología posteriores a su implementación (nota del postest), el aprendizaje de Microbiología (diferencia entre la nota del postest y la nota del pretest en un subconjunto de datos de la muestra que está en o por debajo del percentil 75 del pretest) y el valor otorgado a la Microbiología tras la actividad implementada se integran en un modelo representado en la figura 5.18.

Los análisis de correlación de Spearman entre estas variables revelan las siguientes interacciones:

- Correlaciones positivas entre las emociones positivas (alegría, satisfacción y asombro) y la nota del postest.
- Correlación negativa del aburrimiento con la nota del postest.

- Correlaciones positivas entre las emociones positivas (alegría, satisfacción y asombro) y el aprendizaje de Microbiología.
- Correlaciones positivas entre las emociones positivas (alegría, satisfacción y asombro) y el valor otorgado a la Microbiología.
- Correlación negativa del aburrimiento con el valor otorgado a la Microbiología.
- Correlaciones positivas del valor otorgado a la Microbiología con la nota del postest y el aprendizaje de Microbiología.



**Figura 5.18.** Modelo que representa las correlaciones significativas entre la nota del postest y el aprendizaje de Microbiología logrado tras la intervención implementada (azul), el valor otorgado a la Microbiología tras dicha intervención (naranja) y la intensidad de las emociones positivas (amarillo) y negativas (verde) experimentadas durante esta. Las estrellas sobre las líneas continuas (correlaciones positivas) y discontinuas (correlaciones negativas) indican \*\*\*p-valor<0,001 \*\*p-valor<0,01, \*p-valor<0,05 (correlación de Spearman).

### 5.5.9.1 Estudio de las interacciones emociones-conocimiento-valor en función del género

El análisis de estas asociaciones en función del género (tablas 5.5 y 5.6) revela algunos sesgos de género en las interacciones de las emociones con el conocimiento de Biología y el aprendizaje (tabla 5.5).

En concreto, las correlaciones positivas de algunas emociones positivas (satisfacción y asombro) con la nota del postest y con el aprendizaje de Microbiología son solo significativas en los participantes de género masculino, y dichos coeficientes de correlación son significativamente distintos a los de las alumnas. Además, se observa, solo en los varones, una correlación negativa entre el aburrimiento y el aprendizaje de Microbiología (cuyo coeficiente de correlación es significativamente distinto al de las participantes de género femenino).

Respecto al resto de interacciones, en ambos géneros se observan: i) correlaciones positivas de la alegría con la nota del postest y con el aprendizaje, ii) correlaciones positivas entre las emociones positivas y el valor, iii) correlaciones negativas del aburrimiento con el valor (tabla 5.5), y iv) correlaciones positivas del valor con la nota del postest y con el aprendizaje (tabla 5.6). No existen diferencias significativas en los coeficientes de correlación de ambos géneros en ninguna de estas asociaciones.

**Tabla 5.5.** Coeficientes de correlación de la intensidad de las emociones sentidas durante la implementación de la intervención con los conocimientos de Microbiología posteriores a su realización (nota del postest), el aprendizaje de Microbiología (calculado como la diferencia entre la nota del postest y la nota del pretest en un subconjunto de datos de la muestra que está en o por debajo del percentil 75 del pretest) y el valor otorgado a esta disciplina, en las alumnas (M) y los alumnos (H). En negrita se resaltan las correlaciones significativas (Correlación de Spearman, \*\*\*p-valor<0,001; \*\*p-valor<0,01, \*p-valor<0,05). En sombreado se señalan las diferencias significativas entre los coeficientes de correlación de ambos géneros, calculadas mediante remuestreo o *bootstrapping*.

Emociones experimentadas durante la práctica de Microbiología	Coeficiente de correlación con la nota del postest		Coeficiente de correlación con el aprendizaje de Microbiología		Coeficiente de correlación con el valor otorgado a la Microbiología	
	M	H	M	H	M	H
Alegría	<b>0,236**</b>	<b>0,344***</b>	<b>0,320***</b>	<b>0,194*</b>	<b>0,484***</b>	<b>0,450***</b>
Satisfacción	0,134	<b>0,350***</b>	0,037	<b>0,309**</b>	<b>0,376***</b>	<b>0,479***</b>
Asombro	0,055	<b>0,223*</b>	0,018	<b>0,246*</b>	<b>0,315***</b>	<b>0,434***</b>
Aburrimiento	-0,132	-0,052	0,078	<b>-0,176***</b>	<b>-0,300***</b>	<b>-0,347***</b>
Nerviosismo	0,004	-0,138	-0,067	-0,125	0,001	-0,153
Preocupación	-0,002	-0,148	-0,009	-0,136	-0,081	-0,112

**Tabla 5.6.** Coeficientes de correlación del valor otorgado a la Microbiología tras la realización de la intervención con los conocimientos de Microbiología posteriores a su realización (nota del postest) y el aprendizaje de Microbiología (calculado como la diferencia entre la nota del postest y la nota del pretest en un subconjunto de datos de la muestra que está en o por debajo del percentil 75 del pretest), en las alumnas (M) y los alumnos (H). En negrita se resaltan las correlaciones significativas (Correlación de Spearman, \*\*\*p-valor<0,001). En sombreado se señalan las diferencias significativas entre los coeficientes de correlación de ambos géneros, calculadas mediante remuestreo o *bootstrapping*.

	Coeficiente de correlación con la nota del postest		Coeficiente de correlación con el aprendizaje de Microbiología	
	M	H	M	H
Valor otorgado a la Microbiología	<b>0,307***</b>	<b>0,348***</b>	<b>0,319***</b>	<b>0,216*</b>

### 5.5.9.2 Discusión

Las emociones sentidas por los alumnos de Educación Primaria, durante la práctica de Microbiología, interaccionan con su rendimiento académico y su aprendizaje sobre los microorganismos. En concreto, se observan asociaciones positivas de las emociones positivas (alegría, satisfacción y asombro), sentidas por la muestra de alumnos de 6º de Educación Primaria durante la realización de la intervención, con los conocimientos de Biología



posteriores a su implementación y con el aprendizaje de Microbiología. En estas interacciones se observa, además, un sesgo de género, ya que las asociaciones positivas de la nota del postest y el aprendizaje con la satisfacción y el asombro se dan solo en los participantes de género masculino (en los que además se observa una asociación negativa del aburrimiento con el aprendizaje). Estos resultados sugieren que aquellos alumnos que han experimentado más emociones positivas con la implementación de la práctica diseñada son aquellos que han obtenido mejores notas en el postest y que han aprendido más Microbiología. Esta circunstancia puede aplicarse, para las emociones satisfacción y asombro, sobre todo a los participantes de género masculino. De igual modo, aquellos participantes de género masculino que han sentido menos aburrimiento son lo que han aprendido más acerca de los microorganismos.

Estas observaciones concuerdan con distintas investigaciones previas que han observado, con alumnos de distintos niveles educativos, asociaciones entre el rendimiento académico y las emociones experimentadas por los alumnos durante distintas actividades educativas. Un ejemplo de esto son los resultados recogidos en el capítulo 3 de la presente Tesis Doctoral, en los que se muestran estas asociaciones emociones-nota del postest durante la enseñanza activa de la Biología a maestros en formación inicial (apartado 3.4.3 y referencias que incluye). En particular, los resultados obtenidos en este capítulo concuerdan con estudios previos que han revelado asociaciones significativas entre las emociones académicas de alumnos de Educación Primaria y su rendimiento en Matemáticas (Lichtenfeld *et al.*, 2012; Putwain *et al.*, 2018a y b). Sin embargo, esta asociación no se ha explorado para el rendimiento en ciencias en general, ni de Biología en particular. Asimismo, tampoco se ha indagado la interacción de las emociones con el aprendizaje (entendido como la diferencia entre el nivel de conocimientos antes y después de una actividad). Los resultados de este apartado revelan una asociación entre las emociones, sobre todo positivas, y el aprendizaje en alumnos de esta etapa educativa; acomodándose a la concepción del aprendizaje como un proceso tanto cognitivo como afectivo (Garritz, 2009; Hargreaves, 1998; Zembylas, 2007; Pintrich *et al.*, 1993). Destacan las emociones positivas, que correlacionan positivamente con los conocimientos posteriores de Biología y el aprendizaje, así como el aburrimiento que lo hace negativamente (Pekrun, 2014). Las correlaciones detectadas para las emociones positivas podrían explicarse, como se ha indicado con anterioridad, por su influencia en la memoria (Fredrickson, 1998; Kensinger y Corkin, 2004; Pessoa, 2008; Tyng *et al.*, 2017).

Respecto a las asociaciones de las emociones con el valor otorgado a la Microbiología, los resultados revelan correlaciones positivas de las emociones positivas (alegría, satisfacción y asombro) con el valor, así como correlaciones negativas de este con el aburrimiento. Estas asociaciones sugieren que aquellos participantes que han experimentado más emociones positivas, y menos aburrimiento, durante la actividad implementada son aquellos que, tras esta,

valoran mejor la Microbiología en relación a su vida cotidiana. Como se ha indicado previamente, estas correlaciones emociones-valor se acomodan a la teoría del control-valor (Pekrun, 2006), según la cual las emociones académicas están relacionadas con el valor subjetivo que los alumnos otorgan a los procesos de enseñanza-aprendizaje. Estas asociaciones se acomodan, por tanto, a la teoría contemporánea de que las emociones son un mecanismo que poseen los seres humanos de atribuir valor a los estímulos que reciben de su entorno. Estos resultados revelan que esto es así también en niños (alumnos de Educación Primaria), en los que la verbalización de la emociones se está aún desarrollando. Existen indicios de asociaciones entre estas variables con alumnos de distintos niveles educativos; como los resultados del capítulo 4 de este trabajo en los que se muestra que las emociones experimentadas por una muestra de futuros maestros, durante la enseñanza activa de la Biología, se asocia con el valor otorgado a esta en relación a su futuro desempeño profesional (apartado 4.4.2 y referencias incluidas en él). Sin embargo, no se ha indagado esta asociación con alumnos de Educación Primaria. Al igual que lo indicado con anterioridad (tanto en el capítulo 4 como en el apartado 5.5.4.2 del presente capítulo), dado que el valor se ha medido a través de un solo ítem y como un constructo positivo, este correlaciona mayoritariamente con las emociones positivas; así como con el aburrimiento.

Respecto a la interacción del valor con el conocimiento de Microbiología posterior a la intervención y con el aprendizaje, los resultados muestran una correlación positiva entre estas variables. Estas interacciones indican que aquellos alumnos que han aprendido más Microbiología, tras la implementación de la actividad diseñada, son aquellos que la valoran mejor para su vida diaria. Estas correlaciones valor-aprendizaje concuerdan con la teoría de la expectativa-valor (Eccles y Wigfield, 2002; Eccles *et al.*, 2005), según la cual el valor subjetivo que los alumnos otorgan a los procesos de enseñanza-aprendizaje influye en su rendimiento académico. La interacción valor-aprendizaje y su adecuación a la teoría de la expectativa-valor, se ha observado, en la presente investigación, para futuros maestros (capítulo 4, apartado 4.4.3 y las referencias que incluye), aunque no han sido descritas previamente con alumnado de Educación Primaria. Los resultados de este apartado revelan que el aprendizaje logrado, por alumnos de esta etapa, tras la implementación de una actividad práctica de Microbiología, está asociado al valor que le otorgan a esta disciplina.

Las asociaciones emociones-aprendizaje detectadas no indican una determinada causalidad, pero sugieren que las emociones positivas experimentadas por los alumnos durante la intervención han mejorado el aprendizaje, que el aprendizaje alcanzado ha estimulado las emociones positivas, o que ambos fenómenos han ocurrido a la vez. Esto último es plausible, dado que entre los dominios cognitivos y afectivo se establecen relaciones bidireccionales (Eldar y Niv, 2015). De este modo, el aprendizaje podría haber sido provocado tanto por la

influencia de las emociones positivas en procesos cognitivos como la memoria (Kensinger y Corkin, 2004) y la atención (Aydogan *et al.*, 2015), como a través de su papel en la modulación de la motivación (Bradley, 2000). En cualquier caso, los resultados obtenidos reflejan una interrelación de las emociones, sobre todo positivas y del aburrimiento, y el aprendizaje en la enseñanza práctica de Microbiología a alumnos de Educación Primaria. Esta asociación entre emociones y aprendizaje concuerda con el papel evolutivo de las emociones (Damasio, 2010): las personas están motivadas para recordar detalles de eventos emocionales, ya que esta información es útil para su futuro (Dunsmoor *et al.*, 2015). Esto se ve apoyado por las asociaciones detectadas de las emociones positivas y el aburrimiento con el valor, y entre este y el aprendizaje. Estas interacciones sugieren que las asociaciones, entre el aprendizaje y estas emociones, podrían estar mediadas por aumentos en el valor que los alumnos otorgan a los contenidos de Microbiología abordados con la práctica implementada.

## **5.6. Conclusiones**

En este capítulo se han analizado las emociones experimentadas por muestras de alumnos de 6° de Educación Primaria de Badajoz (tanto recordadas a lo largo de esta etapa educativa como sentidas durante la implementación de una actividad práctica de Microbiología), así como su nivel de conocimientos de Biología (tanto previos, adquiridos durante la etapa de Educación Primaria, como adquiridos con la intervención diseñada) y el valor que le otorgan a los contenidos biológicos en relación a su vida cotidiana. Los resultados revelan asociaciones positivas entre las emociones positivas, el aprendizaje de Biología y el valor. Respecto a los objetivos específicos planteados los resultados revelan que:

- Los alumnos de 6° de Educación Primaria participantes no han adquirido, en las clases de Ciencias Naturales de la etapa de Educación Primaria, un conocimiento correcto del concepto de nutrición respecto a la producción de energía.
- Los alumnos de 6° de Educación Primaria participantes recuerdan haber experimentado más emociones positivas y menos aburrimiento en las clases prácticas de Biología de Educación Primaria que en las clases expositivas.
- Los alumnos de 6° de Educación Primaria de género masculino recuerdan haber experimentado, en comparación con sus compañeras, más emociones negativas con la enseñanza expositiva de la Biología.
- Los alumnos de 6° de Educación Primaria participantes valoran positivamente, en relación a su vida cotidiana, los contenidos de Biología que han aprendido en las clases de Ciencias Naturales de Educación Primaria; sin que existan diferencias de género hacia esta variable.
- El conocimiento de Biología, adquirido por los alumnos de 6° de Educación Primaria a lo largo de la etapa, interacciona positivamente con las emociones positivas y con el valor subjetivo otorgado a la Biología; y este interacciona positivamente con las emociones positivas y negativamente con el aburrimiento. Estas asociaciones sugieren que los alumnos de 6° de Educación Primaria participantes que recuerdan una mayor cantidad de contenidos de Biología, adquiridos en Educación Primaria, son aquellos que recuerdan haber sentido más emociones positivas con la enseñanza de la Biología en esta etapa (tanto en clases expositivas como en clases prácticas); así como aquellos que la valoran mejor en relación a su vida diaria. Además, en relación al valor, aquellos participantes que otorgan un mayor valor a la Biología son aquellos que recuerdan haber sentido más emociones positivas y menos aburrimiento en ambos tipos de sesiones de Biología.
- No existen sesgos de género en las interacciones emociones retrospectivas-aprendizaje-valor analizadas con los participantes.

- Los alumnos de 6° de Educación Primaria participantes presentan distintas concepciones alternativas sobre Microbiología, algunas de las cuales están muy extendidas; como el desconocimiento del cultivo microbiano y de la diversidad de los microorganismos, la confusión de los conceptos de asepsia y esterilización y la falta de reconocimiento de la presencia de bacterias vivas en el yogur.
- La práctica de Microbiología diseñada favorece el aprendizaje acerca de los microorganismos de los alumnos de 6° de Educación Primaria participantes.
- La práctica de Microbiología diseñada genera, respecto a las emociones anticipatorias de los alumnos de 6° de Educación Primaria participantes, aumentos en la intensidad de las emociones positivas y disminuciones en la intensidad de las negativas; sin observarse diferencias por género en estos cambios.
- Los alumnos de 6° de Educación Primaria participantes valoran positivamente, en relación a su vida cotidiana, los contenidos de Microbiología que han adquirido durante la implementación de la intervención diseñada; sin que exista sesgo de género en esta variable.
- El conocimiento de Biología posterior a la práctica implementada y el aprendizaje de Microbiología interactúan positivamente con las emociones positivas y con el valor subjetivo otorgado a la Microbiología; a la vez que este interactúa positivamente con las emociones positivas y negativamente con el aburrimiento. Estas asociaciones sugieren que los alumnos de 6° de Educación Primaria participantes que han aprendido más Microbiología con la intervención diseñada son aquellos que han sentido, durante su implementación, más emociones positivas; así como aquellos que valoran mejor el conocimiento de los microorganismos para su vida cotidiana. Además, aquellos que otorgan más valor al conocimiento de Microbiología son aquellos que han sentido más emociones positivas y menos aburrimiento durante la intervención.
- Existen algunos sesgos de género en las interacciones emociones-conocimiento-valor analizadas para la implementación de la práctica de Microbiología. La relación positiva entre algunas emociones positivas sentidas con la intervención (satisfacción y asombro) y el aprendizaje de Microbiología se produce sólo en los participantes de género masculino. Asimismo, la intensidad del aburrimiento sentida por estos se relaciona negativamente con el aprendizaje.

## **5.7 Implicaciones en la enseñanza de la Biología en Educación Primaria**

Los resultados expuestos en este capítulo ponen de manifiesto la relevancia de la enseñanza práctica de la Biología en Educación Primaria, dada su influencia en: i) las emociones académicas (papel motivador mostrado en los resultados acerca del recuerdo de emociones experimentadas en las clases de Biología de Educación Primaria, así como en el análisis del cambio de emociones con la implementación de la práctica de Microbiología diseñada e implementada en la presente Tesis Doctoral) y ii) el aprendizaje de conceptos biológicos (como muestran los resultados del análisis de la efectividad de la práctica de Microbiología). Teniendo en cuenta estos resultados se sugiere, para mejorar las emociones y el nivel de conocimientos biológicos de los alumnos de Educación Primaria, incorporar un mayor número de actividades prácticas en la enseñanza de las Ciencias Naturales (y de la Biología en particular), ya que estas son poco implementadas en esta etapa educativa (García-Barros y Martínez-Losada, 2001). Esta recomendación puede resultar significativa especialmente en áreas como la Microbiología, asociada a numerosas ideas alternativas (como muestran la revisión bibliográfica del apartado 5.1.1 y los resultados del apartado 5.5.5 del presente capítulo) y emociones negativas (Ballesteros *et al.*, 2018; Karadon y Sahin, 2010; Mayerhofer, 2009). Asimismo, las actividades prácticas podrían resultar útiles para abordar la enseñanza de otros conceptos biológicos complejos para alumnos de Educación Primaria, por ejemplo la nutrición y su papel en la producción de energía (como indican los resultados del apartado 5.5.1 de este capítulo).

Por otro lado, los análisis de correlación entre las emociones y el aprendizaje, así como de estos con el valor subjetivo otorgado por los participantes a los contenidos de Biología en relación a su vida cotidiana, revelan asociaciones significativas entre estas tres variables (tanto en los análisis realizados acerca de las clases de Biología recibidas a lo largo de la etapa de Educación Primaria como los realizados con la implementación de la práctica de Microbiología). A pesar de no indicar una relación causa-efecto, estas correlaciones sugieren que una mejora de las emociones y/o del valor subjetivo otorgado a los contenidos, logrado mediante la implementación de actividades prácticas y/o del tratamiento de la relación de los contenidos con la vida cotidiana de los alumnos, podrían favorecer el aprendizaje. Esta circunstancia se ha puesto de manifiesto en trabajos previos, con alumnos de niveles educativos superiores, sobre regulación emocional (Rozek *et al.*, 2019) y sobre la aplicabilidad de los contenidos científicos impartidos (Matthews *et al.*, 2010). Por tanto, el diseño de intervenciones educativas sobre las emociones de los alumnos de Educación Primaria hacia determinados contenidos de Biología, o sobre el valor subjetivo atribuido a los mismos, podría contribuir a mejorar el rendimiento académico en Biología de estos alumnos.

Además de revelar el papel motivador de la enseñanza práctica de la Biología, los resultados acerca del recuerdo emocional en clases de Biología de Educación Primaria también exhiben el papel motivador de las sesiones expositivas (caracterizadas por medianas de 3 y 4 de las emociones positivas). Adicionalmente, al igual que en clases prácticas, dichas emociones positivas se asocian con el nivel de conocimientos de Biología a largo plazo y con el valor subjetivo otorgado a los contenidos; aunque los coeficientes de correlación son menores que en clases prácticas. En relación a las emociones negativas, exceptuando el aburrimiento (más intenso en sesiones expositivas), las clases teóricas generan bajos niveles de otras emociones negativas (en concreto preocupación y nerviosismo). Sin embargo, se observa un sesgo de género en dichas emociones negativas sentidas en clases expositivas: estas son más intensas en los alumnos que en las alumnas de Educación Primaria. Estos resultados sugieren que el sesgo de género observado hacia la Biología (como disciplina más motivadora para las chicas) por otras investigaciones (Baram-Tsabari *et al.*, 2006; Bodgan y Meneses, 2019; Prokop *et al.*, 2007) podría estar relacionado con el mayor nivel de emociones negativas de los chicos en clases teóricas, las más implementadas para la enseñanza de las ciencias en esta etapa (García-Barros y Martínez-Losada, 2001). De este modo, el manejo, por parte de los docentes de Ciencias Naturales de Educación Primaria, de las emociones negativas que surgen durante la enseñanza expositiva de la Biología podría resultar clave para contribuir a mejorar la motivación de los chicos hacia la Biología.





## **Conclusiones generales/General conclusions**

Los resultados de la presente Tesis Doctoral ponen de manifiesto asociaciones entre el aprendizaje de Biología, las emociones académicas y el valor subjetivo que atribuyen los alumnos a ese aprendizaje. Estas interacciones se detectan tanto en la muestra de estudiantes del Grado en Educación Primaria de la Universidad de Extremadura (maestros en formación inicial) como en los alumnos de 6º curso de Educación Primaria de Badajoz. Estas observaciones, junto con las descritas en la literatura citada en los distintos capítulos, permiten concluir que las emociones académicas y el valor subjetivo otorgado por estos alumnos hacia los procesos de enseñanza-aprendizaje podrían ser determinantes en su efectividad; aunque para algunas interacciones no se establecen relaciones de causalidad.

*Results of this doctoral dissertation evidence associations among Biology learning, academic emotions and the subjective value ascribed by students to learning. These interactions are detected both in the sample of students of the Bachelor's Degree in Primary Education (pre-service teachers) and in the sample of pupils of the 6<sup>th</sup> grade of Primary Education in Badajoz. These observations, together with those described in the literature cited in the different chapters, allow us to conclude that the academic emotions and the subjective value attributed by these students towards the teaching-learning processes could be decisive in their effectiveness; although for several interactions causal relationships are not established.*

De acuerdo con los objetivos generales planteados, se concluye que:

*According to foreseen general objectives, it is concluded that:*

- **Objetivo general 1. Diseñar tres intervenciones prácticas activas para la enseñanza de Biología a maestros en formación inicial, así como determinar su efectividad respecto al aprendizaje de las ciencias.**

*General objective 1. To design several active practices of Biology as educational interventions for pre-service Primary teachers, as well as to determine its effectiveness in relation to science learning.*

La enseñanza práctica activa de Biología (basada en la implementación de la investigación dirigida, las analogías, la interdisciplinariedad y el tratamiento de las interrelaciones Ciencia-Tecnología-Sociedad) es efectiva como método de enseñanza-aprendizaje de las ciencias en los maestros en formación inicial. Esta conclusión confirma la efectividad de las metodologías activas de enseñanza-aprendizaje.

*Active practices of Biology (based on developing guided-research, analogies, interdisciplinary and highlighting Science-Technology-Society relationships) are effective teaching and learning methodologies for pre-service Primary teachers. This conclusion confirms the effectiveness of active methodologies in teaching and learning processes.*

- **Objetivo general 2. Determinar las emociones académicas retrospectivas de los maestros en formación inicial durante sus clases de Biología de Educación Secundaria, así como las experimentadas antes y durante la implementación de las prácticas activas de Biología diseñadas.**

*General objective 2. To determine retrospective academic emotions of pre-service Primary teachers towards past Biology lessons of Secondary Education, as well as those that they experience before (anticipated emotions) and after the implementation of active practices of Biology.*

Las emociones académicas se pueden determinar mediante un cuestionario autoinforme cuantitativo de ítems sencillos, mostrando resultados consistentes. Los maestros en formación inicial recuerdan haber experimentado más emociones positivas y menos emociones negativas en clases prácticas que en clases expositivas de Biología de Educación Secundaria. Las emociones positivas en clases prácticas pasadas son más intensas en las futuras maestras. Asimismo, estas emociones retrospectivas hacia la enseñanza de la Biología en Educación Secundaria se transfieren a las emociones anticipatorias que los futuros maestros reportan antes de las prácticas de Biología. Las prácticas activas de Biología diseñadas e implementadas en esta investigación modifican las emociones anticipatorias de los maestros en formación inicial, generando aumentos en la intensidad de las emociones positivas y disminuciones en la intensidad de las emociones negativas. Estas variaciones son más amplias en las maestras en formación inicial. Esta conclusión confirma el papel motivador de la enseñanza práctica y de las metodologías activas.

*Academic emotions can be measured using a quantitative self-reported test of single items, providing consistent results. Pre-service Primary teachers self-reported higher positive and lower negative emotions for Biology practices than for Biology lectures attended during Secondary Education. These positive emotions toward past practices were even higher for female future teachers. Further, these retrospective emotions towards Biology teaching of Secondary Education are transferred to the anticipatory*

*emotions that future teachers report before Biology practices. Active Biology practices designed and implemented in this work modify the anticipated emotions of students by increasing positive emotions and decreasing negative ones. In females' subset, this trend is more pronounced than in males. This conclusion supports the motivating role of practical teaching and active methodologies.*

- **Objetivo general 3. Determinar las interacciones de las emociones académicas experimentadas por los maestros en formación inicial con su nivel de conocimientos de Biología y con el aprendizaje de Biología; tanto en las sesiones de Biología de su etapa como estudiantes de Educación Secundaria como antes y durante la implementación de las prácticas activas de Biología diseñadas.**

*General objective 3. To determine the interactions between academic emotions, Biology knowledge and learning in a sample of pre-service Primary teachers, both during past Biology lessons of Secondary Education and before and after active practices of Biology.*

Las interacciones entre las emociones retrospectivas y el conocimiento de Biología de Educación Secundaria sugieren que los maestros en formación inicial que experimentaron, con la enseñanza de Biología en Educación Secundaria, más emociones positivas (en clases prácticas) y menos emociones negativas (en clases expositivas y prácticas) son aquellos que recuerdan más conceptos de Biología adquiridos en esta etapa educativa. Particularmente en los futuros maestros varones, la falta de este conocimiento se asocia con altas intensidades de emociones retrospectivas negativas, tanto en clases prácticas como en clases expositivas. Asimismo, aquellos maestros en formación inicial que tienen un menor nivel de conocimientos previos de Biología (nota del pretest) son aquellos que reportan, antes de la implementación de las prácticas activas de Biología, mayores intensidades de emociones anticipatorias negativas. Estas interacciones apoyan el valor predictivo de los conocimientos científicos previos de Educación Secundaria en las emociones anticipatorias de los futuros maestros.

Las emociones anticipatorias también interactúan con el conocimiento de Biología posterior (nota del postest) y a largo plazo (nota del retest), así como con el aprendizaje de Biología (nota del postest menos nota del pretest). Aquellos maestros en formación inicial que, antes de las prácticas activas de Biología, reportan más emociones positivas y menos emociones negativas son aquellos que, tras su implementación, tienen un mayor nivel de conocimientos de Biología y aprenden más Biología. Estas asociaciones

apoyan el valor predictivo de las emociones anticipatorias de los futuros maestros en su rendimiento académico.

Respecto a las emociones sentidas durante las prácticas activas, las interacciones detectadas sugieren que aquellos maestros en formación inicial que, durante la implementación de las prácticas activas de Biología diseñadas, experimentan más emociones positivas y menos emociones negativas son aquellos que, tras estas intervenciones, logran mayores niveles de conocimientos de Biología (notas del posttest y del retest) y aprenden más Biología (nota del posttest menos nota del pretest).

Estas asociaciones ponen de manifiesto la continua interacción de las emociones y el aprendizaje y, en su conjunto, apoyan las teorías educativas actuales sobre el papel de las emociones en el aprendizaje.

*Interactions between retrospective emotions and Biology knowledge of Secondary Education suggest that pre-service Primary teachers who experienced, with Biology teaching of Secondary Education, more positive emotions (in practices) and less negative emotions (in both practices and lectures) are those who remember more Biology contents acquired in this educational stage. Particularly in male future teachers, the lack of this knowledge is associated with high intensities of retrospective negative emotions, in both practices and lectures. Likewise, those pre-service Primary teachers who have a lower level of previous Biology knowledge (pretest scores) are those who report, before the implementation of the active Biology practices, higher intensities of anticipatory negative emotions. These interactions support the predictive value of previous scientific knowledge of Secondary Education in the anticipatory emotions of future teachers.*

*Anticipatory emotions also interact with later Biology knowledge (posttest scores) and long-term Biology knowledge (follow-up test scores), as well as with Biology learning (posttest minus pretest scores). Those pre-service Primary teachers who, before the active Biology practices, report more positive emotions and less negative emotions are those who, after their implementation, have a higher level of Biology knowledge and learn more Biology. These associations support the predictive value of anticipatory emotions of future Primary teachers in their academic performance.*

*Regarding emotions felt during active practices, detected interactions suggest that those pre-service Primary teachers who, during the implementation of designed active Biology practices, experience more positive emotions and less negative emotions are those who, after these interventions, achieve higher levels of Biology knowledge*

*(posttest and follow-up test scores) and learn more Biology (posttest minus pretest scores).*

*These interactions evidence the continuous interplay of emotions and learning and, altogether, support current educational theories on the role of emotions in learning.*

- **Objetivo general 4. Determinar el valor subjetivo otorgado, por los maestros en formación inicial, a las prácticas activas de Biología diseñadas; así como las interacciones de este con las emociones académicas, el nivel de conocimientos de Biología y el aprendizaje de Biología.**

*General objective 4. To determine the subjective value assigned by pre-service Primary teachers to the active practices of Biology as well as its interactions with academic emotions, Biology knowledge and the learning of Biology.*

El valor subjetivo se puede determinar usando tanto un único ítem como un cuestionario multi-ítem, mostrando en ambos casos resultados consistentes. Los maestros en formación inicial valoran positivamente, empleando ambos métodos, las prácticas activas de Biología, lo que apoya el papel motivador de estas metodologías.

Las interacciones detectadas sugieren que los maestros en formación inicial que valoran mejor las prácticas activas de Biología (a través de un solo ítem) son aquellos que experimentan, durante su realización, más emociones positivas y menos aburrimiento; así como aquellos que, tras su implementación, logran mayores niveles de conocimiento de Biología (nota del postest) y aprenden más Biología (nota del postest menos nota del pretest).

El análisis de las subescalas del valor (interés, utilidad y coste) con el test multi-ítem muestra que las prácticas activas aumentan las valoraciones del interés y la utilidad, y disminuyen el coste, pero solo en las maestras en formación inicial. Así, las metodologías activas pueden modificar el valor subjetivo de los maestros en formación inicial. Las asociaciones encontradas sugieren que los maestros en formación inicial que otorgan más interés y utilidad a las prácticas activas son aquellos que experimentan, durante su realización, más emociones positivas; así como aquellos con un mayor conocimiento de Biología posterior (nota del postest) y que aprenden más Biología (nota del postest menos nota del pretest). En cambio, los maestros en formación inicial que otorgan más coste a las prácticas activas diseñadas son aquellos que sienten más emociones negativas durante su implementación; así como aquellos con un menor nivel

de conocimiento de Biología posterior (nota del posttest) y que aprenden menos Biología (nota del posttest menos nota del pretest). Particularmente en los futuros maestros varones, las emociones negativas también interactúan negativamente con el interés y la utilidad.

Esta conclusión apoya las interacciones entre emociones académicas, valor subjetivo y aprendizaje establecidas en las teorías de la expectativa-valor y del control-valor, así como las teorías contemporáneas sobre las emociones como procesos de evaluación.

*Subjective value can be measured both using a single item or a multi-item questionnaire, providing consistent results. Pre-service Primary teachers value positively, using both methods, the active Biology practices, fact that supports the motivating role of these methodologies.*

*Detected interactions suggest that pre-service Primary teachers who value better active Biology practices (through a single item) are those who experience, during their implementation, more positive emotions and less boredom; as well as those who, after their implementation, achieve higher levels of Biology knowledge (posttest scores) and learn more Biology (posttest minus pretest scores).*

*The analysis of subjective value subscales (interest value, utility value, and cost value) through multi-item test show that active practices increase appraisal of interest and utility, and decrease cost, but just in the female subset. Thus, active methodologies can modify value appraisal. Detected associations suggest that pre-service Primary teachers who assign more interest and utility to active practices are those who, during their implementation, experience more positive emotions; as well as those with a higher level of later Biology knowledge (posttest scores) and who learn more Biology (posttest minus pretest scores). On the other hand, pre-service Primary teachers who assign more cost to designed active practices are those who feel more negative emotions during their implementation; as well as those with a lower level of later Biology knowledge (posttest scores) and who learn less Biology (posttest minus pretest scores). Particularly in male future teachers, negative emotions also interact negatively with interest and utility.*

*This conclusion supports the interactions among academic emotions, subjective value and learning predicted by expectancy-value and control-value theories, as well as a contemporary view of emotions as valuation processes.*

- **Objetivo general 5. Determinar las interacciones entre las emociones académicas experimentadas hacia la Biología por alumnos de 6° de Educación Primaria, el aprendizaje de Biología y el valor subjetivo que otorgan a la Biología; tanto para las sesiones de Ciencias Naturales que han recibido en la etapa de Educación Primaria como con la implementación de una actividad práctica de Biología diseñada.**

*General objective 5. To determine the interactions among academic emotions, Biology learning and value appraisals in a sample of 6<sup>th</sup> grade Primary Education pupils either during their Natural Sciences of Primary Education or after the implementation of a Biology practice.*

Los alumnos de Educación Primaria reportan más emociones positivas y menos emociones negativas para las clases prácticas de Biología, de su etapa de Educación Primaria, que para las clases expositivas. Las interacciones detectadas sugieren que los alumnos de 6° de Educación Primaria con un mayor nivel de conocimientos básicos de Biología, adquiridos en esta etapa, son aquellos que recuerdan haber experimentado, con la enseñanza de la Biología, más emociones positivas tanto en clases expositivas como en clases prácticas; así como aquellos que valoran mejor la Biología en relación a su vida cotidiana.

Respecto a la intervención implementada, la práctica de Microbiología diseñada es un método de enseñanza-aprendizaje efectivo con alumnos de Educación Primaria. Esta práctica modifica las emociones de los alumnos disminuyendo las emociones negativas e incrementado las emociones positivas. Las asociaciones encontradas sugieren que aquellos alumnos de Educación Primaria que sintieron más emociones positivas, durante la implementación de esta actividad práctica, son aquellos que tienen un mayor conocimiento de Microbiología posterior (nota del postest) y que aprendieron más Microbiología (nota del postest menos nota del pretest); así como aquellos que valoran mejor a la Microbiología en relación a su vida cotidiana. Particularmente en los varones, las emociones positivas interaccionan con el rendimiento académico.

*Primary Education pupils self-reported higher positive and lower negative emotions for the Biology practices than for the Biology lectures they attended. Detected interactions suggest that Primary Education pupils with a higher level of basic Biology knowledge, acquired at this educational stage, are those who remember more positive emotions both in lectures and practices; as well as those who value Biology better in relation to their daily lives.*

*Regarding implemented intervention, designed Microbiology practice is an effective teaching and learning methodology for Primary Education pupils. This practice modify the pupil's emotions by decreasing negative emotions and increasing positive ones. Detected associations suggest that those Primary Education pupils who felt more positive emotions, during the implementation of this practical activity, are those who achieve higher levels of Microbiology knowledge (posttest score) and learn more Microbiology (posttest minus pretest score); as well as those who value Microbiology better in relation to their daily lives. Particularly in boys, positive emotions interact with academic performance.*

En su conjunto, los resultados revelan la capacidad del aprendizaje activo para modular las emociones académicas y respaldan las teorías educativas actuales que atribuyen un papel fundamental a las emociones y las valoraciones subjetivas de los estudiantes en el aprendizaje. Las interacciones entre emociones académicas, valor y aprendizaje son independientes del nivel educativo, al menos cuando están asociadas a metodologías activas. El desarrollo de estas metodologías activas en las clases de ciencias podría prevenir la caída de motivación hacia las ciencias a lo largo de la escolarización y podrían contribuir a mejorar el futuro desempeño profesional de los maestros en formación inicial.

*Altogether, results highlight the ability of active learning as academic emotion modulator and provide additional support to current educational theories ascribing a fundamental role of emotions and task-values in learning. Interactions among emotions, values, and learning are independent of the educational stage, at least when associated with active methodologies. The development of these active methodologies in science lessons could prevent the drop in motivation for science through school years and may contribute to improve the future professional performance of teachers in initial training.*



## **Limitaciones y futuras líneas de investigación**

En relación a la muestra empleada en la presente Tesis Doctoral, cabe destacar que tanto la muestra de maestros en formación inicial (estudiantes del Grado en Educación Primaria de la Universidad de Extremadura de las Facultades de Educación de Badajoz y de Formación del Profesorado de Cáceres) como la de alumnos de Educación Primaria (alumnos de 6º de Educación Primaria de varios colegios de Badajoz) son muestras limitadas y con unas características muy concretas. Los participantes de ambas muestras pertenecen al mismo país y región, tienen una educación previa similar y se encuentran inmersos en el mismo programa formativo. Por tanto, los resultados de esta investigación no son extrapolables más allá del contexto particular que representan: un conjunto de futuros maestros de Extremadura y de alumnos del último curso de Educación Primaria de Badajoz. Asimismo, los análisis realizados se han llevado a cabo sin establecer ningún grupo control. Por tanto, no se puede determinar hasta qué punto los resultados obtenidos están influenciados por la metodología implementada (la enseñanza práctica activa) y no por otros factores (como por ejemplo los contenidos impartidos). En consecuencia, en futuras investigaciones podría ser interesante replicar los análisis realizados en la Tesis Doctoral con muestras de otros contextos diferentes, así como estableciendo un grupo experimental (al que impartir determinados contenidos de Biología mediante prácticas activas) y un grupo control (al que impartir los mismos contenidos biológicos mediante sesiones expositivas o de gran grupo dentro de su programa formativo).

Respecto a los instrumentos empleados, la medida de las emociones mediante un test cuantitativo autoinforme de ítems sencillos, a pesar de ser rápida y consistente (consistencia interna en base a su comportamiento factorial y consistencia externa dada la congruencia con estudios previos), presenta una limitación: no se miden emociones, sino su verbalización en forma de sentimientos. Dado que cada individuo interpreta esto de una manera, no se puede determinar hasta qué punto los datos obtenidos con los cuestionarios autoinformes de emociones son representativos de una respuesta emocional. Aun así, las emociones incluidas en los cuestionarios se han seleccionado en base a la bibliografía, siendo emociones relevantes en educación, conocidas y habitualmente experimentadas en ámbitos académicos. Por otro lado, las emociones y los constructos de valor (interés, utilidad y coste) se miden mediante escalas de Likert. A pesar de que se establece el significado de los valores superior e inferior de cada escala, es necesario considerar que cada participante puede interpretar las escalas de manera distinta. Además, ambas escalas son relativamente cortas (de 5 puntos para las emociones y de 7 puntos para los constructos de valor). Por tanto, dichas escalas solo permiten observar grandes cambios en estas variables. El diseño de instrumentos con escalas algo mayores (por ejemplo de

10 puntos) para medir emociones y constructos de valor podría resultar de utilidad para detectar cambios más representativos.

Continuando con los instrumentos, el aprendizaje se ha estimado como un aumento en la nota de los cuestionarios de conocimientos (diferencia entre la nota del postest y la nota del pretest). Esta manera de estimar el aprendizaje es muy simple, ya que solo refleja un aumento en el nivel de conocimientos científicos. Sin embargo, el aprendizaje es más complejo e incluye otros elementos como la adquisición de habilidades (por ejemplo estrategias didácticas) y el desarrollo de actitudes. Por tanto, en futuras investigaciones sería interesante diseñar instrumentos (como cuestionarios de preguntas abiertas o entrevistas) o procedimientos (como grabaciones de las intervenciones) con los que determinar (mediante análisis cualitativo) variaciones en estos aspectos con la implementación de las prácticas activas. Además, debido a la dificultad para obtener muestra, solo en el año académico 2 se ha determinado (mediante un retest) el nivel de conocimientos de Biología a largo plazo (dos o tres meses). Por consiguiente, para profundizar en los resultados obtenidos en esta investigación, en futuros estudios podría resultar significativo replicar los análisis realizados con un número mayor de participantes respondiendo al retest.

Respecto a las intervenciones implementadas, estas se han diseñado para la enseñanza de contenidos concretos de Biología (Biología Celular, Microbiología y Biología evolutiva) a muestras de niveles educativos concretos (Educación Primaria y Grado en Educación Primaria). En futuras investigaciones podría ser interesante replicar los análisis realizados en esta investigación adaptando alguna de las prácticas activas a alumnos de otras etapas educativas (por ejemplo la práctica activa de Microbiología en Educación Infantil o la práctica activa de Biología evolutiva en Educación Secundaria), o para otras intervenciones prácticas activas diseñadas para la enseñanza de otros contenidos biológicos, por ejemplo pertenecientes a áreas más memorísticas como la Botánica o la Zoología, o de otras ciencias experimentales (Geología, Física y Química). Asimismo, otra futura línea de investigación es la implementación de estas prácticas activas, adaptadas a alumnos de Educación Primaria, por parte de maestros en formación inicial durante sus prácticas de enseñanza, con el objetivo de analizar su impacto en el CDC.

En relación a los análisis realizados, cabe destacar que estos son cuantitativos. Esto ha permitido establecer cambios en el nivel de conocimientos de Biología, en las emociones académicas y en el valor subjetivo, así como analizar estudios de correlación para determinar las asociaciones entre estas variables. Sin embargo, estos análisis cuantitativos no posibilitan establecer las causas de los cambios observados y las interacciones detectadas. En consecuencia, se requieren futuras investigaciones con las que determinar (mediante análisis cualitativos) las causas de los

cambios en los conocimientos de Biología, las emociones y los constructos de valor con la enseñanza práctica activa de Biología.

Por otro lado, las correlaciones detectadas entre emociones académicas, aprendizaje y valor subjetivo no permiten establecer una relación causa-efecto. Como se ha indicado con anterioridad a lo largo de la Tesis Doctoral, los resultados obtenidos no permiten establecer si el aprendizaje logrado con la implementación de las prácticas activas de Biología es consecuencia de una experiencia emocional positiva y/o de aumentos en el valor subjetivo hacia los contenidos; o bien si es el aprendizaje el causante de dichas emociones positivas y/o mayores niveles en el valor subjetivo. Por tanto, son precisas futuras investigaciones con las que profundizar en posibles relaciones de causalidad entre estas variables. En este sentido, podría ser interesante diseñar programas de regulación emocional con el objetivo de intervenir, mediante la implementación de actividades prácticas activas de Biología, sobre emociones académicas concretas; y comparar estos resultados con los de un grupo control.



## **Referencias bibliográficas**

- Abd-El-Khalick, F., Boujaoude, S., Duschl, R., Lederman, N., Mamlok-Naaman, R., Hofstein, A., Niaz, M., Treagust, D., & Tuan, H. (2004). Inquiry in Science Education: International Perspectives. *International Journal of Science Education*, 38(3), 397-419.
- Abrahams, I., & Millar, R. (2008). Does practical work really work? A study of the effectiveness of practical work as a teaching and learning method in school science. *International Journal of Science Education*, 30(14), 1945-1969.
- Aguilar, S., Maturano, C., & Núñez, G. (2007). Utilización de imágenes para la detección de concepciones alternativas: un estudio exploratorio con estudiantes universitarios. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 6(3), 691-713.
- Allen, M. (2010). Learner error, affectual stimulation, and conceptual change. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(2), 151-173.
- Andrews, S., Runyon, C., & Aikens, M. (2017). The Math–Biology Values Instrument: Development of a Tool to Measure Life Science Majors' Task Values of Using Math in the Context of Biology. *CBE-Life Sciences Education*, 16(3), 1-12.
- Ann, L., & Zembal-Saul, C. (2004). Learning by doing? Prospective elementary teachers' developing understandings of scientific inquiry and science teaching and learning. *International Journal of Science Education*, 26(13), 1653-1674.
- Appleton, K. (2003). How do beginning primary school teachers cope with science? Toward an understanding of science teaching practice. *Research in Science Education*, 33(1), 1–25.
- Aramburu, M. (2004). Relaciones entre el desarrollo operatorio, las preconcepciones y el estilo cognitivo. *Revista Iberoamericana de Educación*, 33, 1-16.
- Areepattamannil, S., Freeman, J. G., & Klinger, D. A. (2011). Influence of motivation, self-beliefs and instructional practices on science achievement of adolescents in Canada. *Social Psychology of Education*, 14, 233–259.
- Arons, A. (1981). Thinking, reasoning and understanding in introductory physics courses. *The Physics teacher*, 19(3), 166-172.
- Artino, A. R. (2009). Think, feel, act: Motivational and emotional influences on military students' online academic success. *Journal of Computing in Higher Education*, 21(2), 146-166.
- Artino, A. R., & Jones, K. D. (2012). Exploring the complex relations between achievement emotions and self-regulated learning behaviors in online learning. *The Internet and Higher Education*, 15(3), 170-175.
- Artino, A. R., La Rochelle, J. S., & Durning, S. J. (2010). Second-year medical students' motivational beliefs, emotions, and achievement. *Medical education*, 44(12), 1203-1212.
- Atkinson, J. W. (1957). Motivational determinants of risk taking behavior. *Psychological Review*, 64, 359–372.
- Aubusson, P. J., Harrison, A. G., & Ritchie, S. M. (2005). *Metaphor and analogy in science education*. Dordrecht, Países Bajos: Springer.
- Ausubel, D., Novak, J., & Hanesian, H. (1978). *Educational psychology: a cognitive view*. Nueva York, Estados Unidos: Holt, Rinehart and Winston.

- Aydogan, H., Bozkurt, F., & Coskun, H. (2015). An Assessment of Brain Electrical Activities of Students toward Teacher's Specific Emotions. *International Journal of Social, Behaviors, Educational, Economic, Business and industrial Engineering*, 9(6), 1977-2000.
- Ballesteros, M. I., Paños, E., & Ruiz, J. R. (2018). Los microorganismos en la Educación Primaria: ideas de los alumnos de 8 a 11 años e influencia de los libros de texto. *Enseñanza de las Ciencias*, 36(1), 79-98.
- Bandiera, M. (2007). Micro-organisms: Everyday knowledge predates and contrasts with school knowledge. En R. Pento & D. Couso (Eds.), *Contributions from science education research* (pp. 213-224). Dordrecht, Países Bajos: Springer.
- Banet, E., & Ayuso, G. (1995). Introducción a la genética en la enseñanza secundaria y bachillerato: I. Contenidos de enseñanza y conocimientos de los alumnos. *Enseñanza de las Ciencias*, 13(2), 137-153.
- Baid, H., & Lambert, N. (2010). Enjoyable learning: the role of humour, games, and fun activities in nursing and midwifery education. *Nurse Education Today*, 30(6), 548-552.
- Barke, H. D., Hazari, A., & Yitbarek, S. (2009). *Misconceptions in chemistry: Addressing perceptions in chemical education*. Berlín, Alemania: Springer.
- Baram-Tsabari, A., Sethi, R. J., Bry, L., & Yarden, A. (2006). Using questions sent to an Ask A Scientist site to identify children's interests in science. *Science Education*, 90(6), 1050-1072.
- Baram-Tsabari, A., & Yarden, A. (2008). Girls' biology, boys' physics: evidence from free-choice science learning settings. *Research in Science and Technological Education*, 26(1), 75-92.
- Baum, D. A., Smith, S. D., & Donovan, S. S. (2005). The tree-thinking challenge. *Science*, 310(5750), 979-980.
- Baysen, E., & Baysen, F. (2013). Turkish prospective kindergarten teachers' conceptions concerning some selected atmospheric events. *International Journal of Elementary Education*, 2(5), 32-37.
- Bean, T. W., Searles, D., Singer, H., & Cowen, S. (1990). Learning concepts from biology text through pictorial analogies and an analogical study guide. *The Journal of Educational Research*, 83(4), 233-237.
- Beilock, S. L., Gunderson, E. A., Ramírez, G., & Levine, S. C. (2010). Female teachers' math anxiety affects girls' math achievement. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(5), 1860-1863.
- Bekdemir, M. (2010). The pre-service teachers' mathematics anxiety related to depth of negative experiences in mathematics classroom while they were students. *Educational Studies in Mathematics*, 75(3), 311-328.
- Bell, B., & Gilbert, J. (1994). Teacher development as professional, personal and social development. *Teaching and Teacher Education*, 10(5), 483-497.
- Bellocchi, A., & Ritchie, S. M. (2015). "I was proud of myself that I didn't give up and I did it": Experiences of pride and triumph in learning science. *Science Education*, 99(4), 638-668.
- Bettencourt, C., Velho, J. L., & Almeida, P. A. (2011). Biology teachers' perceptions about Science-Technology-Society (STS) education. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 15, 3148-3152.

- Bisquerra, R. (2005). La educación emocional en la formación del profesorado. *Revista interuniversitaria de formación del profesorado*, 19(3), 95-114.
- Bloom, B.S., Engelhart, M. D., Furst, E. J., Hill, W. H., & Krathwohl, D. R. (1956). *Taxonomy of Educational Objectives: The Classification of Educational Goals, by a committee of college and university examiners. Handbook I: Cognitive Domain*. Nueva York, Estados Unidos: Longman.
- Bodgan, R. B., & Meneses, J. Á. (2019). Preferencia por contenidos científicos de física o de biología en Educación Primaria: un análisis clúster. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 16(1), 1-16.
- Bonill, J., & Márquez, C. (2011). ¿Qué experiencias manifiestan los futuros maestros sobre las clases de ciencias?: implicaciones para su formación. *Revista de educación*, 354, 307-309.
- Borgerding, L. A., Sadler, T. D., & Koroly, M. J. (2013). Teachers' concerns about biotechnology education. *Journal of Science Education and Technology*, 22(2), 133-147.
- Borrachero, A. B. (2015). *Las emociones en la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias en educación secundaria* (Tesis Doctoral). Universidad de Extremadura, Badajoz.
- Borrachero, A. B., Brígido, M., Mellado, L., Costillo, E., & Mellado, V. (2014). Emotions in prospective secondary teachers when teaching science content, distinguishing by gender. *Research in Science & Technological Education*, 32(2), 182-215.
- Borrachero, A. B., Dávila, M. A., & Costillo, E. (2017). Asociación entre notas académicas y el recuerdo de emociones experimentadas en Secundaria en el aprendizaje de las ciencias. En P. Membiela, N. Casado, M. I. Cebreiros & M. Vidal (Eds.), *La enseñanza de las ciencias en el actual contexto educativo* (pp. 557-562). Ourense, España: Educación Editora.
- Bouckaert, R., Lemey, P., Dunn, M., Greenhill, S. J., Alekseyenko, A. V., Drummond, A. J., Gray, R. D., Suchard, M. A., & Atkinson, Q. D. (2012). Mapping the origins and expansion of the Indo-European language family. *Science*, 337(6097), 957-60.
- Bradley, M. M. (2000). Emotion and motivation. *Handbook of psychophysiology*, 2, 602-642.
- Brady, P., & Bowd, A. (2005). Mathematics anxiety, prior experience and confidence to teach mathematics among pre-service education students. *Teachers and teaching*, 11(1), 37-46.
- Brewer, C., & Smith, D. (2011). *Vision and change in undergraduate biology education: a call to action*. Washington D.C., Estados Unidos: American Association for the Advancement of Science.
- Brígido, M. (2014). *Programa metacognitivo de intervención emocional en la enseñanza de las Ciencias Experimentales para maestros de Primaria en formación inicial* (Tesis Doctoral). Universidad de Extremadura, Badajoz.
- Brígido, M., Bermejo, M. L., Conde, M. C., & Mellado, V. (2010). The Emotions in Teaching and Learning Nature Sciences and Physics/Chemistry in Pre-Service Primary Teachers. *US-China Education Review*, 7(12), 25-32.
- Brígido, M., Borrachero, A. B., Bermejo, M. L., & Mellado, V. (2013a). Prospective primary teachers' self-efficacy and emotions in science teaching. *European Journal of Teacher Education*, 36(2), 200-217.

- Brígido, M., Couso, D., Gutiérrez, C., & Mellado, V. (2013b). The Emotions about Teaching and Learning Science: A Study of Prospective Primary Teachers in Three Spanish Universities. *Journal of Baltic Science Education*, 12(3), 299-311.
- Britner, S. L. (2008). Motivation in high school science students: A comparison of gender differences in life, physical, and earth science classes. *Journal of Research in Science Teaching*, 45(8), 955-970.
- Brownell, S. E., Kloser, M. J., Fukami, T., & Shavelson, R. (2012). Undergraduate Biology Lab Courses: Comparing the Impact of Traditionally Based " Cookbook" and Authentic Research-Based Courses on Student Lab Experiences. *Journal of College Science Teaching*, 41(4), 36-45.
- Brown, S., & Salter, S. (2010). Analogies in science and science teaching. *Advances in physiology education*, 34(4), 167-169.
- Buck, L. B., Bretz, S. L., & Towns, M. H. (2008). Characterizing the level of inquiry in the undergraduate laboratory. *Journal of College Science Teaching*, 38(1), 52-58.
- Bursal, M., & Paznokas, L. (2006). Mathematics anxiety and preservice elementary teachers' confidence to teach mathematics and science. *School Science and Mathematics*, 106(4), 173-180.
- Buser, T., Niederle, M., & Oosterbeek, H. (2014). Gender, competitiveness and career choices. *The Quarterly Journal of Economics*, 129(3), 1409-1447.
- Byrne, J. (2011). Models of Micro-Organisms: Children's knowledge and understanding of micro-organisms from 7 to 14 years old. *International Journal of Science Education*, 33(14), 1927-1961.
- Byrne, J., Grace, M., & Hanley, P. (2009). Children's anthropomorphic and anthropocentric ideas about micro-organisms: Educational research. *Journal of Biological Education*, 44(1), 37-43.
- Byrne, J., & Sharp, J. (2006). Children's ideas about micro-organisms. *School Science Review*, 88(322), 71-79.
- Caamaño, A. (2014). Los trabajos prácticos en ciencias. En M. P. Jiménez, A. Caamaño, A. Oñorbe, E. Pedrinaci, & A. de Pro (Eds.), *Enseñar ciencias* (pp. 95-118). Barcelona, España: GRAÓ.
- Caballer, M., & 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., & 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.
- Caballero, A., Blanco, L.J., & Guerrero, E. (2008). El dominio afectivo en futuros maestros de matemáticas en la Universidad de Extremadura. *Paradigma*, 29(2), 157-171.
- Cady, J. A., & Rearden, K. (2007). Pre-service teachers' beliefs about knowledge, mathematics, and science. *School Science and Mathematics*, 107(6), 237-245.



- Çalik, M., Ayas, A., & Coll, R. K. (2009). Investigating the effectiveness of an analogy activity in improving students' conceptual change for solution chemistry concepts. *International journal of science and mathematics education*, 7(4), 651-676.
- Camacho, J. P., Jara, N., Morales, C., Rubio, N., Muñoz T., & 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), 196-212.
- Carmona-Halty, M., Salanova, M., Llorens, S., & Schaufeli, W. B. (2019). Linking positive emotions and academic performance: The mediated role of academic psychological capital and academic engagement. *Current Psychology*, 1, 1-10.
- Carrascosa, J. (2005). El problema de las concepciones alternativas en la actualidad (parte I). Análisis sobre las causas que la originan y/o mantienen. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 2(2), 183-208.
- Carrascosa, J., Gil, D., & Vilches, A. (2006). Papel de la actividad experimental en la educación científica. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 23(2), 157-181.
- Castro, C. S. (2007). La competencia matemática (en el sentido de PISA) de los futuros maestros. *Enseñanza de las Ciencias*, 25(3), 355-366.
- Chernicoff, L., & Echeverría, E. (2012). ¿Por qué enseñar ciencia a través de la indagación? Un caso en la Universidad Autónoma de la Ciudad de México (UACM). *Educación Química*, 23(4), 433-450.
- Chi, M. (2005). Commonsense conceptions of emergent processes: Why some misconceptions are robust. *The journal of the learning sciences*, 14(2), 161-199.
- Chiang, W. W., & Liu, C. J. (2014). Scale of academic emotion in science education: Development and validation. *International Journal of Science Education*, 36(6), 908-928.
- Chinn, C. A., & Malhotra, B. A. (2002). Epistemologically authentic inquiry in schools: A theoretical framework for evaluating inquiry tasks. *Science Education*, 86(2), 175-218.
- Cho, H., Kahle, J., & Nordland, F. (1985). An investigation of high school biology textbooks as sources of misconceptions and difficulties in genetics and some suggestions for teaching genetics. *Science Education*, 69(5), 707-719.
- Chouinard, R., Karsenti, T., & Roy, N. (2007). Relations among competence beliefs, utility value, achievement goals, and effort in mathematics. *British journal of educational psychology*, 77(3), 501-517.
- Colburn, A. (2000). An inquiry primer. *Science scope*, 23(6), 42-44.
- Coll, R. (2015). Analogies in Science. En R. Gunstone (Ed.), *Encyclopedia of Science Education* (pp. 41-42). Dordrecht, Países Bajos: Springer.
- Cortés, A. L., Gándara, M., Calvo, J. M., Martínez, M. B., Ibarra, M., Arlegui, J., & Gil, M. J. (2012). Expectativas, necesidades y oportunidades de los maestros en formación ante la enseñanza de las Ciencias en la Educación Primaria. *Enseñanza de las Ciencias*, 30(3), 155-176.
- Costillo, E., Borrachero, A. B., Brígido, M., & 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, 515-532.

- Cowen, A. S., & Keltner, D. (2017). Self-report captures 27 distinct categories of emotion bridged by continuous gradients. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(38), E7900-E7909.
- Crawford, B. A., Zemba-Saul, C., Munford, D., & Friedrichsen, P. (2005). Confronting prospective teachers' ideas of evolution and scientific inquiry using technology and inquiry-based tasks. *Journal of research in science teaching*, 42(6), 613-637.
- Damasio, A. (2010). *Y el cerebro creó al hombre*. Barcelona, España: Destino.
- Daniels, L., Haynes, T., Stupnisky, R., Perry, R., Newall, N., & Pekrun, R. (2008). Individual differences in achievement goals: A longitudinal study of cognitive, emotional, and achievement outcomes. *Contemporary Educational Psychology*, 33(4), 584–608.
- Daniels, L., Stupnisky, R., Pekrun, R., Haynes, T., Perry, R., & Newall, N. (2009). A longitudinal analysis of achievement goals: From affective antecedents to emotional effects and achievement outcomes. *Journal of Educational Psychology*, 101(4), 948–963.
- Darwin, C. (1872). *The expression of the emotions in man and animals*. Londres, Inglaterra: John Murray, Albemarle Street.
- Dávila, M. A. (2018). *Las emociones en el aprendizaje de Física y Química en el alumnado de Educación Secundaria. Un programa de Intervención Emocional* (Tesis Doctoral). Universidad de Extremadura, Badajoz.
- Dávila, M. A., Borrachero, A. B., Cañada, F., Martínez-Borreguero, G., & Sánchez, J. (2015). Evolución de las emociones que experimentan los estudiantes del Grado de maestro en Educación Primaria, en didáctica de la materia y la energía. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 12(3), 550-564.
- Davis, E. A., & Petish, D. (2005). Real-world applications and instructional representations among prospective elementary science teachers. *Journal of Science Teacher Education*, 16(4), 263-286.
- De Orta, Á., Reyes, R., & De las Heras-Pérez, M. Á. (2016). Repercusiones de la forma de enseñar: Emociones que despiertan diferentes tipos de actividades. *Campo Abierto. Revista de Educación*, 35(1), 189-204.
- Decreto103/2014, de 10 de junio, por el que se establece el currículo de Educación Primaria para la Comunidad Autónoma de Extremadura. DOE núm. 114 de 16 de junio de 2014, pp. de 18965 a 19283.
- Derting, T. L., & Ebert-May, D. (2010). Learner-centered inquiry in undergraduate biology: positive relationships with long-term student achievement. *CBE-Life Sciences Education*, 9(4), 462-472.
- Deslauriers, L., Schelew, E., & Wieman, C. (2011). Improved learning in a large-enrollment physics class. *Science*, 332(6031), 862-864.
- Díaz, J. L., & Flores, E. (2001). La estructura de la emoción humana: un modelo cromático del sistema afectivo. *Salud mental*, 24(4), 20-35.
- Díaz, R., López, R., García, A., Abuín, G., Nogueira, E., & García, J. (1996) ¿Son los alumnos capaces de atribuir a los microorganismos algunas transformaciones de los alimentos? *Enseñanza de las Ciencias*, 14(2), 143-153.

- Díaz, R., López, R., Abuín, G., García, Á., Nogueira, E., & García, J. A. (1998). ¿Cómo conciben los alumnos/as los microorganismos? En S. García-Barros & C. Martínez-Losada (Eds.), *La didáctica de las ciencias: tendencias actuales* (pp.287-297). La Coruña, España: Universidade da Coruña, Servizo de Publicacións
- Díaz de Bustamante, J., & Jiménez, M. (1996). ¿Ves lo que dibujas? Observando células con el microscopio, *Enseñanza de las Ciencias*, 14(2), 183-194.
- D'Mello, S., Lehman, B., Pekrun, R., & Graesser, A. (2014). Confusion can be beneficial for learning. *Learning and Instruction*, 29, 153-170.
- Dolan, R. J. (2002). Emotion, Cognition, and Behavior. *Science*, 298(5596), 1191-1194.
- Dolan, E. L., & Collins, J. P. (2015). We must teach more effectively: here are four ways to get started. *Molecular biology of the cell*, 26(12), 2151-2155.
- Dreyfus, A., & Jungwirth, E. (1989). The pupil and the living cell: a taxonomy of dysfunctional ideas about an abstract idea. *Journal of Biological Education*, 23(1), 49-55.
- Driver, R. (1988). Un enfoque constructivista para el desarrollo del currículo en ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 6(2), 109-120.
- Duit, R. (1991). On the role of analogies and metaphors in learning science. *Science Education*, 75, 649-672
- Dunsmoor, J. E., Murty, V. P., Davachi, L., & Phelps, E. A. (2015). Emotional learning selectively and retroactively strengthens memories for related events. *Nature*, 520, 345-348.
- Echave, A. D., Ferrer, L. M., & Morales, M. J. (2011). La relevancia y el valor de los trabajos prácticos en Educación Primaria y en la formación del profesorado de este nivel. Una experiencia de aula. *Revista Investigación en la Escuela*, 74, 101-111.
- Eccles, J. S., O'Neill, S. A., & Wigfield, A. (2005). Ability Self-Perceptions and Subjective Task Values in Adolescents and Children. En K. A. Moore & L. H. Lippman (Eds.), *The Search Institute series on developmentally attentive community and society. What do children need to flourish: Conceptualizing and measuring indicators of positive development* (pp. 237-249). Nueva York, Estados Unidos: Springer
- Eccles, J. S., & Wigfield, A. (2002). Motivational beliefs, values, and goals. *Annual Review of Psychology*, 53, 109-132.
- Edelson, M., Sharot, T., Dolan, R., & Dudai, Y. (2011). Following the crowd: brain substrates of long-term memory conformity. *Science*, 333(6038), 108-111.
- Eldar, E., & Niv, Y. (2015). Interaction between emotional state and learning underlies mood instability. *Nature communications*, 6, 6149.
- Eldar, E., Rutledge, R., Dolan, R. & Niv, Y. (2016). Mood as representation of momentum. *Trends in Cognitive Sciences*, 20(1), 15-24.
- Eliot, J. A., & Hirumi, A. (2019). Emotion theory in education research practice: an interdisciplinary critical literature review. *Educational Technology Research and Development*, 1-20.
- Etkin, A., Büchel, C., & Gross, J. J. (2015). The neural bases of emotion regulation. *Nature Reviews Neuroscience*, 16(11), 693-700.

- Faccio, E., Costa, N., Losasso, C., Cappa, V., Mantovani, C., Cibin, V., Andrighetto, I., & Ricci, A. (2013). What programs work to promote health for children? Exploring beliefs on microorganisms and on food safety control behavior in primary schools. *Food Control*, 33(2), 320-329.
- Fernández-Abascal, E., Díaz, M., y Sánchez, J. (2001). *Procesos psicológicos*. Madrid, España: Ediciones Pirámide.
- Fernández, M., & Peña, S. (2008). Concepciones de maestros de primaria sobre el planeta Tierra y gravedad: Implicaciones en la enseñanza de la ciencia. *Revista electrónica de investigación educativa*, 10(2), 1-25.
- Fernández-Torrado, E. J. (2016). *Estudio de las emociones que experimentan los alumnos de educación secundaria obligatoria en el proceso de aprendizaje de biología y geología y sus posibles causas* (Trabajo Final de Máster). Universidad de Extremadura, Badajoz.
- Flores, R., & 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.
- Foy, P., Arora, A., & Stanco, G. (2013). *TIMSS 2011 User Guide for the International Database. Supplement 1: International Version of the TIMSS 2011 Background and Curriculum Questionnaires*. Amsterdam, Países Bajos: International Association for the Evaluation of Educational Achievement.
- Fonseca, M. J., Costa, P., Lencastre, L., & Tavares, F. (2012). Disclosing biology teachers' beliefs about biotechnology and biotechnology education. *Teaching and Teacher Education*, 28(3), 368-381.
- Fredrickson, B. L. (1998). What good are positive emotions? *Review of general psychology*, 2(3), 300-319.
- Fredrickson, B. L. (2001). The role of positive emotions in positive psychology: The broaden-and-build theory of positive emotions. *American Psychology*, 56(3), 218-226.
- Freeman, S., Eddy, S. L., McDonough, M., Smith, M. K., Okoroafor, N., Jordt, H., & Wenderoth, M. P. (2014). Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(23), 8410-8415.
- Frenzel, A., Goetz, T., Lüdtke, O., Pekrun, R., & Sutton, R. (2009). Emotional transmission in the classroom: exploring the relationship between teacher and student enjoyment. *Journal of educational psychology*, 101(3), 705-716.
- Frenzel, A., Goetz, T., Pekrun, R., & Watt, H. M. (2010). Development of mathematics interest in adolescence: Influences of gender, family, and school context. *Journal of Research on Adolescence*, 20(2), 507-537.
- Frenzel, A., Pekrun, R., & Goetz, T. (2007). Girls and mathematics. A "hopeless" issue? A control-value approach to gender differences in emotions towards mathematics. *European Journal of Psychology of Education*, 22(4), 497-514.
- Fryer, L. K., & Ainley, M. (2017). Supporting interest in a study domain: A longitudinal test of the interplay between interest, utility-value, and competence beliefs. *Learning and Instruction*, 60, 252-262.

- Furió, C. (1996). Las concepciones alternativas del alumnado en ciencias: dos décadas de investigación. *Alambique*, 3(7), 7-17.
- Gable, P. A., & Harmon-Jones, E. (2008). Approach-motivated positive affect reduces breadth of attention. *Psychological Science*, 19(5), 476-482.
- García, A. (1991). Estudio llevado a cabo sobre representaciones de la respiración celular en los alumnos de bachillerato y COU. *Enseñanza de las Ciencias*, 9(2), 129-134.
- García, S., Martínez, C., & Mondelo, M. (1995). El trabajo práctico. Una intervención para la formación de profesores. *Enseñanza de las Ciencias*, 13 (2), 203-209.
- García, T., & Pintrich, P. R. (1994). Regulating motivation and cognition in the classroom: The role of self-schemas and self-regulatory strategies. *Self-regulation of learning and performance: Issues and educational applications*, 127153, 433-452.
- García-Barros, S., & Martínez-Losada, C. (2001). Qué actividades y qué procedimientos utiliza y valora el profesorado de educación primaria. *Enseñanza de las Ciencias*, 19(3), 433-452.
- García Barros, S., & Martínez Losada, C. (2005). La nutrición en textos escolares del último ciclo de Primaria y primero de Secundaria. *Enseñanza de las Ciencias*, Extra, 1-6.
- García-Ruiz, M., & Sánchez, B. (2006). Las actitudes relacionadas con las ciencias naturales y sus repercusiones en la práctica docente de profesores de primaria. *Perfiles educativos*, 28(114), 61-89.
- Gardner, G., & Jones, M. (2011). Science instructors' perceptions of the risks of biotechnology: Implications for science instruction. *Research in Science Education*, 41(5), 711-738.
- Garritz, A. (2009). La afectividad en la enseñanza de la ciencia. *Educación Química*, 20, 212-219.
- Garritz, A. (2010). Indagación: las habilidades para desarrollarla y promover el aprendizaje. *Educación Química*, 21(2), 106-110.
- Garritz, A., & Mellado, V. (2014). El conocimiento didáctico del contenido y la afectividad. En A. Garritz, S. F. Daza & G. Lorenzo (Eds.), *Conocimiento Didáctico del Contenido. Una perspectiva Iberoamericana* (pp. 229-264). Saarbrücken, Alemania: Editorial Academia Española.
- Gibson, H. L., & Chase, C. (2002). Longitudinal impact of an inquiry-based science program on middle school students' attitudes toward science. *Science Education*, 86(5), 693-705.
- Gil, D., & Valdés, P. (1996). La orientación de las prácticas de laboratorio como investigación: un ejemplo ilustrativo. *Enseñanza de las Ciencias*, 14, 155-163.
- Gilbert, S. (2003). Lipid bilayer and micelle [Figura]. Recuperado de [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Lipid\\_bilayer\\_and\\_micelle.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Lipid_bilayer_and_micelle.png) (fecha de consulta: 01/10/2019)
- Giles, J., Ryan, D. A., Belliveau, G., De Freitas, E., & Casey, R. (2006). Teaching style and learning in a quantitative classroom. *Active learning in higher education*, 7(3), 213-225.
- Glynn, S. M. (1991). Explaining science concepts: A teaching-with-analogies model. En S. M. Glynn, R. H. Yeany & B. K. Britton (Eds.), *The psychology of learning science* (pp. 219-240). Londres, Reino Unido: Taylor & Francis

- Glynn, S. M. (2008). Making science concepts meaningful to students: teaching with analogies. En S. Mikelskis-Seifert, U. Ringelband & M. Bruckmann (Eds.), *Four Decades of Research in Science Education: from Curriculum Development to Quality Improvement* (pp. 113-127). Munster, Alemania: Waxmann.
- Goetz, T., Bieg, M., Lüdtke, O., Pekrun, R., & Hall, N. C. (2013). Do girls really experience more anxiety in mathematics? *Psychological science*, 24(10), 2079-2087.
- Goetz, T., Frenzel, A., Pekrun, R., Hall, N., & Lüdtke, O. (2007). Between-and within-domain relations of students' academic emotions. *Journal of Educational Psychology*, 99(4), 715-733.
- Goetz, T., & Hall, N. C. (2013). Emotion and achievement in the classroom. En J. Hattie (Ed.), *International guide to student achievement* (pp. 192-195). Londres, Inglaterra: Routledge.
- Goetz, T., Nett, U. E., Martiny, S. E., Hall, N. C., Pekrun, R., Dettmers, S., & Trautwein, U. (2012). Students' emotions during homework: Structures, self-concept antecedents, and achievement outcomes. *Learning and Individual Differences*, 22(2), 225-234.
- Goetz, T., Sticca, F., Pekrun, R., Murayama, K., & Elliot, A. J. (2016). Intraindividual relations between achievement goals and discrete achievement emotions: an experience sampling approach. *Learning and Instruction*, 41, 115-125.
- Gogol, K., Brunner, M., Goetz, T., Martin, R., Ugen, S., Keller, U., Fischbach, A., & Preckel, F. (2014). "My questionnaire is too long!" The assessments of motivational-affective constructs with three-item and single-item measures. *Contemporary Educational Psychology*, 39(3), 188-205.
- González-Weil, C., & 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*, 30(3), 31-52.
- Gormally, C., Brickman, P., Hallar, B., & Armstrong, N. (2009). Effects of inquiry-based learning on students' science literacy skills and confidence. *International journal for the scholarship of teaching and learning*, 3(2), 16-22.
- Gray, J., Braver, T., & Raichle, M. (2002). Integration of emotion and cognition in the lateral prefrontal cortex. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 99(6), 4115-4120
- Greca, I. M., Meneses, J. A., & Díez, M. (2017). La formación en ciencias de los alumnos del Grado en Maestro de Educación Primaria. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 16(2), 231-256.
- Gresham, G. (2007). A study of mathematics anxiety in pre-service teachers. *Early Childhood Education Journal*, 35(2), 181-188.
- Gu, T. (2015). Cell membrane detailed diagram [Figura]. Recuperado de [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cell\\_membrane\\_detailed\\_diagram\\_4.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cell_membrane_detailed_diagram_4.svg) (fecha de consulta: 01/10/2019)
- Gu, X., Liu, X., Van Dam, N. T., Hof, P. R., & Fan, J. (2013). Cognition–emotion integration in the anterior insular cortex. *Cerebral Cortex*, 23(1), 20-27.
- Gunstone, R.F., Slattery, M., Baird, J.R., & Northfield, J.R. (1993). A case study exploration of development in preservice science teachers. *Science Education*, 77(1), 47-73.
- Gutlerner, J. (2015). Beyond "publish or perish". *Science*, 350(6256), 49.

- Haak, D. C., HilleRisLambers, J., Pitre, E., & Freeman, S. (2011). Increased structure and active learning reduce the achievement gap in introductory biology. *Science*, 332(6034), 1213-1216.
- Hargreaves, A. (1998). The emotional practice of teaching. *Teaching and Teacher Education*, 14(8), 835- 854.
- Harms, U. (2002). Biotechnology education in schools. *Electronic Journal of Biotechnology*, 5(3), 5-6.
- Harrison, A. G., & Treagust, D. F. (2006). Teaching and learning with analogies. En P. J. Aubusson, A. G. Harrison & S. M. Ritchie (Eds.), *Metaphor and analogy in science education* (pp. 11-24). Dordrecht, Países Bajos: Springer.
- Henry, G., Fortner, C., & Bastian, K. (2012). The effects of experience and attrition for novice high-school science and mathematics teachers. *Science*, 335(6072), 1118-1121.
- Herranen, J. K., Vesterinen, V. M., & Aksela, M. K. (2015). How to measure elementary teachers' interest in teaching chemistry? *Chemistry Education Research and Practice*, 16(2), 408-416.
- Hertel, P. T., & Parks, C. (2002). Emotional episodes facilitate word recall. *Cognition & Emotion*, 16(5), 685-694.
- Hertweck, K. L. (2014). Phylogenetic biology for both novice and expert learners. *Evolution: Education and Outreach*, 7(1), 29-30.
- Hewson, P. W., & Hewson, M. G. (1989). Analysis and use of a task for identifying conceptions of teaching science. *Journal of Educational for Teaching*, 15(3), 191-209.
- Hilge, C. (2001). Using everyday and scientific conceptions for developing guidelines of teaching microbiology. En H. Behrendt, H. Dahncke, R. Duit, W. Gräber, M. Komorek, A. Kross & P. Reiska (Eds), *Research in Science Education-Past, Present, and Future* (pp. 253-258). Dordrecht, Países Bajos: Springer.
- Ho, S. Y., & Larson, G. (2006). Molecular clocks: when times are a-changin'. *TRENDS in Genetics*, 22(2), 79-83.
- Hodson, D. (1994). Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio. *Enseñanza de las Ciencias*, 12 (3), 299-313.
- Hofstein, A., & Lunetta, V. (2004). The laboratory in science education: Foundations for the twenty-first century. *Science education*, 88(1), 28-54.
- Hong, J. Y. (2010). Pre-service and beginning teachers' professional identity and its relation to dropping out of the profession. *Teaching and teacher Education*, 26(8), 1530-1543.
- Hong, Z. R., Lin, H. S., & Lawrenz, F.P. (2012). Effects of an Integrated Science and Societal Implication Intervention on Promoting Adolescents' Positive Thinking and Emotional Perceptions in Learning Science. *International Journal of Science Education*, 34(3), 329- 252.
- Holstermann, N., Grube, D., & Bögeholz, S. (2010). Hands-on activities and their influence on students' interest. *Research in Science Education*, 40(5), 743-757.
- Hulleman, C. S., Godes, O., Hendricks, B. L., & Harackiewicz, J. M. (2010). Enhancing interest and performance with a utility value intervention. *Journal of Educational Psychology*, 102(4), 880-895.

- Hulleman, C. S., & Harackiewicz, J. M. (2009). Promoting interest and performance in high school science classes. *Science*, 326 (5958), 1410-1412.
- Huxham, M. (2005). Learning in lectures: Do 'interactive windows' help? *Active learning in higher education*, 6(1), 17-31.
- Itzek-Greulich, H., Flunger, B., Vollmer, C., Nagengast, B., Rehm, M., & Trautwein, U. (2017). Effectiveness of lab-work learning environments in and out of school: A cluster randomized study. *Contemporary Educational Psychology*, 48, 98-115.
- Itzek- Greulich, H., & Vollmer, C. (2017). Emotional and motivational outcomes of lab work in the secondary intermediate track: The contribution of a science center outreach lab. *Journal of Research in Science Teaching*, 54(1), 3-28.
- Jones, M., & Rua, M. (2006). Conceptions of germs: Expert to novice understandings of microorganisms. *Electronic Journal of Science Education*, 10(3), 1-40.
- Jones, M., & Rua, M. (2008). Conceptual representations of flu and microbial illness held by students, teachers, and medical professionals. *School Science and Mathematics*, 108(6), 263–278.
- Jones, G., Gardner, G., Lee, T., Poland, K., & Robert, S. (2013). The Impact of Microbiology instruction on students' perceptions of risks related to microbial illness. *International Journal of Science Education*, 3(3), 199-213.
- Kajander, A., & Lovric, M. (2009). Mathematics textbooks and their potential role in supporting misconceptions. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 40(2), 173-181.
- Karadon, H. D., & Şahin, N. (2010). Primary school students' basic knowledge, opinions and risk perceptions about microorganisms. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 2(2), 4398-4401.
- Kassam, K. S., Markey, A. R., Cherkassky, V. L., Loewenstein, G., & Just, M. A. (2013). Identifying emotions on the basis of neural activation. *PloS one*, 8(6), e66032.
- Keall, D. (2008). Solvation of Na with water [Figura]. Recuperado de <https://en.wikipedia.org/wiki/Solvation> (fecha de consulta: 01/10/2019)
- Kensinger, E. A., & 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.
- Kikas, E. (2004). Teachers' conceptions and misconceptions concerning three natural phenomena. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(5), 432–448.
- Kimura, M. (1983). *The Neutral Theory of Molecular Evolution*. Cambridge, Inglaterra: Cambridge University Press.
- King, C. J. (2010). An analysis of misconceptions in science textbooks: Earth science in England and Wales. *International Journal of Science Education*, 32(5), 565-601.
- King, D., Ritchie, S., Sandhu, M., & Henderson, S. (2015). Emotionally intense science activities. *International Journal of Science Education*, 37(12), 1886-1914.



- Knutson, K., Smith, J., Wallert, M. A., & Provost, J. J. (2010). Bringing the excitement and motivation of research to students; Using inquiry and research-based learning in a year- long biochemistry laboratory: Part I guided inquiry-purification and characterization of a fusion protein: Histidine tag, malate dehydrogenase, and green fluorescent protein. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 38(5), 317-323.
- Kong, Y., Anderson, T., & Pelaez, N. (2016). How to Identify and Interpret Evolutionary Tree Diagrams. *Journal of Biological Education*, 50(4), 395-406.
- Kogan, M., & Laursen, S. L. (2014). Assessing long-term effects of inquiry-based learning: A case study from college mathematics. *Innovative higher education*, 39(3), 183-199.
- Korber, B., Muldoon, M., Theiler, J., Gao, F., Gupta, R., Lapedes, A., Hahn, B. H., Wolinsky, S., & Bhattacharya, T. (2000). Timing the ancestor of the HIV-1 pandemic strains. *Science*, 288(5472), 1789-1796.
- Koshland, D. E. (2002). The seven pillars of life. *Science*, 295(5563), 2215-2216
- Kostanjevec, S., Jerman, J., & Koch, V. (2011). The effects of nutrition education on 6th graders knowledge of nutrition in nine-year primary schools in Slovenia. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 7(4), 243-252.
- Kragel, P. A., Knodt, A. R., Hariri, A. R., & LaBar, K. S. (2016). Decoding spontaneous emotional states in the human brain. *PLoS Biology*, 14(9), e2000106.
- Krcarras (2008). Bicelleproteinmembrane [Figura]. Recuperado de <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bicelleproteinmembrane.jpg> (fecha de consulta: 01/10/2019)
- Kuhn, D. (2001). How do people know? *Psychological Science*, 12, 1-8.
- Labov, J., Reid, A., & Yamamoto, K. (2010). Integrated biology and undergraduate science education: a new biology education for the twenty-first century? *CBE-Life Sciences Education*, 9, 10-16.
- Laird, A. R., Eickhoff, S. B., Kurth, F., Fox, P. M., Uecker, A. M., Turner, J. A., Robinson, J. L., Lancaster, J. L., & Fox, P. T. (2009). ALE meta-analysis workflows via the brainmap database: progress towards a probabilistic functional brain atlas. *Frontiers in neuroinformatics*, 3, 23.
- Larkin, D. (2012). Misconceptions about “misconceptions”: Preservice secondary science teachers' views on the value and role of student ideas. *Science Education*, 96(5), 927-959.
- Lee, W., Lee, M. J., & Bong, M. (2014). Testing interest and self-efficacy as predictors of academic self-regulation and achievement. *Contemporary educational psychology*, 39(2), 86-99.
- Lichtenfeld, S., Pekrun, R., Stupnisky, R. H., Reiss, K., & Murayama, K. (2012). Measuring students' emotions in the early years: the achievement emotions questionnaire-elementary school (AEQ-ES). *Learning and Individual differences*, 22(2), 190-201.
- Linnenbrink-García, L., & Pekrun, R. (2014). *International handbook of emotions in education*. Londres, Inglaterra: Routledge.
- Little, A., & Hoel, A. (2011). Interdisciplinary Team Teaching: An Effective Method to Transform Student Attitudes. *Journal of Effective Teaching*, 11(1), 36-44.

- Llach, M., & Vila, M. (2017). ¡Ha desaparecido un ratón! ¿Nos ayudáis a buscar al culpable? Análisis del impacto didáctico y emocional de un encargo ficticio. *Enseñanza de las Ciencias*, 35(3), 151-173.
- López-Pérez, J. P. (2009). Microbiología básica en la educación secundaria obligatoria: el lavado de las manos. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 6(2), 319-324.
- Lucariello, J. M., Nastasi, B., Dwyer, C., Skiba, P. R., DeMarie, D., & Anderman, E. (2016). “Top 20” Psychological Principles for PK-12 Education. *Theory Into Practice*, 55(2), 86-93
- Luce, M., & Hsi, S. (2015). Science-Relevant Curiosity Expression and Interest in Science: An Exploratory Study. *Science Education*, 99(1), 70-97.
- Luckie, D., Maleszewski, J., Loznak, S., & Krha, M. (2004). Infusion of collaborative inquiry throughout a biology curriculum increases student learning: a four-year study of “Teams and Streams”. *Advances in Physiology Education*, 28(4), 199-209.
- Machemer, P. L., & Crawford, P. (2007). Student perceptions of active learning in a large cross-disciplinary classroom. *Active learning in higher education*, 8(1), 9-30.
- Mafra, P., Lima, N., & Carvalho, G. S. (2015). Experimental activities in primary school to learn about microbes in an oral health education context. *Journal of Biological Education*, 49(2), 190-203.
- Maloney, E. A., & Beilock, S. L. (2012). Math anxiety: Who has it, why it develops, and how to guard against it. *Trends in cognitive sciences*, 16(8), 404-406.
- Marcelos, M. F., & Nagem, R. L. (2012). Use of the “tree” analogy in evolution teaching by biology teachers. *Science & Education*, 21(4), 507-541.
- Marinier, R. P., & Laird, J. E. (2004). Toward a Comprehensive Computational Model of Emotions and Feelings. *ICCM*, 172-177.
- Martínez-Borreguero, G., Cañada, F., Naranjo, F. L., & Dávila, M. A. (2017). Autorreflexión de emociones sentidas en el laboratorio de física para mejorar la competencia científica de maestros en formación. En P. Membiela, N. Casado, M. I. Cebreiros & M. Vidal (Eds.), *La enseñanza de las ciencias en el actual contexto educativo* (pp. 181-186). Ourense, España: Educación Editora.
- Martínez-Losada, C., & García-Barros, S. (2005). Do Spanish secondary school teachers really value different sorts of procedural skills? *International Journal of Science Education*, 27(7), 827-854.
- Mastrilli, T. M. (1997). Instructional analogies used by biology teachers: Implications for practice and teacher preparation. *Journal of Science Teacher Education*, 8(3), 187-204.
- Matthews, K. E., Adams, P., & Goos, M. (2010). Using the principles of BIO2010 to develop an introductory, interdisciplinary course for biology students. *CBE—Life Sciences Education*, 9(3), 290-297.
- Mauss, I. B., & Robinson, M. D. (2009). Measures of emotion: A review. *Cognition and emotion*, 23(2), 209-237.
- Mayerhofer, N. (2009). La influencia de la palabra microbio en las representaciones iniciales de alumnos de primaria. *Enseñanza de las Ciencias*, Extra, 2073-2079.

- McCaughy, N. (2004). The emotional dimensions of a teacher's pedagogical content knowledge: Influences on content, curriculum, and pedagogy. *Journal of Teaching in Physical Education*, 23(1), 30-47.
- McClendon, R. C. (1996). Motivation and cognition of preservice teachers: MSLQ. *Journal of Instructional Psychology*, 23(3), 216.
- McConney, A., Oliver, M.C., Woods-McConney, A., Schibeci, R., & Maor, D. (2014). Inquiry, Engagement, and Literacy in Science: A Retrospective, Cross-National Analysis Using PISA 2006. *Science Education*, 98(6), 963-980.
- McCright, A., O'Shea, B., Sweeder, R., Urquhart, G., & Zeleke, A. (2013). Promoting interdisciplinarity through climate change education. *Nature Climate Change*, 3(8), 713-716.
- Mead, R., Hejmadi, M., & Hurst, L. D. (2017). Teaching genetics prior to teaching evolution improves evolution understanding but not acceptance. *PLoS Biology*, 15(5), e2002255.
- Meece, J. L., Glienke, B. B., & Burg, S. (2006). Gender and motivation. *Journal of school psychology*, 44(5), 351-373.
- Meece, J. L., & Jones, M. G. (1996). Gender differences in motivation and strategy use in science: Are girls rote learners? *Journal of Research in Science Teaching*, 33(4), 393-406.
- Mega, C., Ronconi, L., & De Beni, R. (2014). What makes a good student? How emotions, self-regulated learning, and motivation contribute to academic achievement. *Journal of Educational Psychology*, 106(1), 121-131.
- Meir, E., Perry, J., Herron, J. C., & Kingsolver, J. (2007). College students' misconceptions about evolutionary trees. *The American Biology Teacher*, 69(7), 71-76.
- Meisel, R. P. (2010). Teaching tree-thinking to undergraduate biology students. *Evolution: Education and Outreach*, 3(4), 621-628.
- Mellado, V., Blanco, L.J., Borrachero, A.B., & Cárdenas, J.A. (2013). *Las emociones en la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias y las matemáticas (Vol. I y II)*. Badajoz, España: Grupo DEPROFE.
- Mellado, V., Borrachero, A. B., Brígido, M., Melo, L. V., Dávila, M. A., Cañada, F., Conde, M. C., Costillo, E., Cubero, J., Esteban, R., Martínez-Borreguero, G., Ruiz, C., Sánchez, J., Garritz, A., Mellado, L., Vázquez, B., Jiménez, R., & Bermejo, M. L. (2014). Las emociones en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 32(3), 11-36
- Mellado, V., Ruiz, C., Bermejo, M. L., & Jiménez, R. (2006). Contributions from the philosophy of science to education of science teachers. *Science & Education*, 15(5), 419-445.
- Melo, L., Cañada, F., & Mellado, V (2017). Exploring the Emotions in Pedagogical Content Knowledge about the Electric Field. *International Journal of Science Education*, 39(8), 1025-1044.
- Membali, P. (2005). Reflexión desde la experiencia sobre la puesta en práctica de la orientación ciencia-tecnología-sociedad en la enseñanza científica. *Educación Química*, 16(3), 404-409.
- Mendes, D. (2015). Estudio de las motivaciones de los estudiantes de secundaria de física y química y la influencia de las metodologías de enseñanza en su interés. *Educación XXI*, 18(2), 215-235.

- Minkley, N., Ringeisen, T., Josek, L. B., & Kaerner, T. (2017). Stress and emotions during experiments in biology classes: Does the work setting matter?. *Contemporary Educational Psychology*, 49, 238-249.
- Milare, T., & Alves Filho, J. (2010). Do ensino disciplinar à formação interdisciplinar da cidadania no Ensino de Ciências. *Educación Química*, 21(1), 53-59.
- Moore, A. (2008). Science teaching must evolve. *Nature*, 453(7191), 31-32.
- Mora, F. (2008). *El reloj de la sabiduría. Tiempos y espacios en el cerebro humano*. Madrid, España: Alianza Editorial.
- Moskovitz, C., & Kellogg, D. (2011). Inquiry-based writing in the laboratory course. *Science*, 332(6032), 919-920.
- Murayama, K., Pekrun, R., Lichtenfeld, S., & Vom Hofe, R. (2013). Predicting long-term growth in students' mathematics achievement: The unique contributions of motivation and cognitive strategies. *Child development*, 84(4), 1475-1490.
- Murphy, S., MacDonald, A., Wang, C. A., & Danaia, L. (2019). Towards an Understanding of STEM Engagement: a Review of the Literature on Motivation and Academic Emotions. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, 1-17.
- Nadelson, L., Culp, R., Bunn, S., Burkhart, R., Shetlar, R., Nixon, K., & Waldron, J. (2009). Teaching evolution concepts to early elementary school students. *Evolution: Education and Outreach*, 2(3), 458-473.
- Nee, S. (2005). The great chain of being. *Nature*, 435(7041), 429-429.
- Next Generation Science Standards Lead States. (2013). *Next generation science standards: For states, by states*. Washington DC, Estados Unidos: National Academies Press
- Nicolaou, C., Evagorou, M., & Lymbouridou, C. (2015). Elementary School Students' Emotions When Exploring an Authentic Socio-Scientific Issue through the Use of Models. *Science Education International*, 26(2), 240-259.
- Noteborn, G., Carbonell, K. B., Dailey-Hebert, A., & Gijsselaers, W. (2012). The role of emotions and task significance in virtual education. *The Internet and Higher Education*, 15(3), 176-183.
- Nottis, K. E. K., & McFarland, J. (2001). A comparative analysis of pre-service teacher analogies generated for process and structure concepts. *Electronic Journal of Science Education*, 5(4).
- Nuangchalerm, P. (2009). Development of socioscientific issues-based teaching for preservice science teachers. *Journal of Social Sciences*, 5(3), 239-243.
- Oliva, J. M. (1999). Algunas reflexiones sobre las concepciones alternativas y el cambio conceptual. *Enseñanza de las Ciencias*, 17(1), 93-197.
- Oliva, J. M. (2008). Qué conocimientos profesionales deberíamos tener los profesores de ciencias sobre el uso de analogías. *Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias*, 5(1), 15-28.
- Oliva, J. M., Aragón, M. M., Bonat, M., & Mateo, J. (2001). Una propuesta didáctica basada en la investigación para el uso de analogías en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 19(3), 453-470.

- Oliva, J. M., Azcárate, P., & Navarrete, A. (2007). Teaching models in the use of analogies as a resource in the science classroom. *International Journal of Science Education*, 29(1), 45-66.
- Ordoñez, C., Cardona, J., Daza, A., Rodas, J., & Ruiz, F. (2013). Relaciones entre el uso de la analogía en la enseñanza y el aprendizaje del concepto Estructura Íntima de la Materia. *Enseñanza de las Ciencias*, Extra, 2616-2621.
- Orgill, M., & Bodner, G. (2004). What research tells us about using analogies to teach chemistry. *Chemistry Education Research and Practice*, 5(1), 15-32.
- Osborne, J., & Dillon, J. (2008). *Science Education in Europe: critical reflections. A report to the Nuffield Foundation*. Londres, Inglaterra: The Nuffield Foundation.
- Osborne, J., Simon, S., & Collins, S. (2003). Attitudes towards science: A review of the literature and its implications. *International journal of science education*, 25(9), 1049-1079.
- Otero, R. (2006). Emociones, sentimientos y razonamientos en didáctica de las ciencias. *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*, 1(1), 25-53.
- Owens, C. V. (2003). Nonsense, Sense and Science: Misconceptions and Illustrated Trade Books. *Journal of Children's Literature*, 29(1), 55-62.
- Ozel, M., Caglak, S., & Erdogan, M. (2013). Are affective factors a good predictor of science achievement? Examining the role of affective factors based on PISA 2006. *Learning and Individual Differences*, 24, 73-82.
- Pagel, M. (2009). Human language as a culturally transmitted replicator. *Nature Reviews Genetics*, 10(6), 405-415.
- Pang, J., & Good, R. (2000). A review of the integration of science and mathematics: Implications for further research. *School Science and Mathematics*, 100(2), 73-82.
- Paris, N. A., & Glynn, S. M. (2004). Elaborate analogies in science text: Tools for enhancing preservice teachers' knowledge and attitudes. *Contemporary Educational Psychology*, 29(3), 230-247.
- Pekrun, R. (2006). The control-value theory of achievement emotions: Assumptions, corollaries, and implications for educational research and practice. *Educational psychology review*, 18(4), 315-341.
- Pekrun, R. (2014). *Emotions and learning*. Ginebra, Suiza: International Academy of Education/ International Bureau of Education.
- Pekrun, R., Elliot, A., & Maier, M. (2006). Achievement goals and discrete achievement emotions: A theoretical model and prospective test. *Journal of Educational Psychology*, 98, 583-597.
- Pekrun, R., Elliot, A. & Maier, M. (2009). Achievement goals and achievement emotions: Testing a model of their joint relations with academic performance. *Journal of Educational Psychology*, 101(1), 115-135.
- Pekrun, R., Goetz, T., Daniels, L., Stupnisky, R., & Perry, R. (2010). Boredom in achievement settings: Exploring control-value antecedents and performance outcomes of a neglected emotion. *Journal of Educational Psychology*, 102(3), 531-549.

- Pekrun, R., Goetz, T., Frenzel, A., Barchfeld, P., & Perry, R. (2011). Measuring emotions in students' learning and performance: The Achievement Emotions Questionnaire (AEQ). *Contemporary educational psychology*, 36(1), 36-48.
- Pekrun, R., Goetz, T., Titz, W., & Perry, R. P. (2002). Academic emotions in students' self-regulated learning and achievement: A program of qualitative and quantitative research. *Educational psychologist*, 37(2), 91-105.
- Pekrun, R., Hall, N., Goetz, T., & Perry, R. (2014). Boredom and academic achievement: Testing a model of reciprocal causation. *Journal of Educational Psychology*, 106(3), 696-710.
- Pekrun, R., Lichtenfeld, S., Marsh, H. W., Murayama, K., & Goetz, T. (2017). Achievement emotions and academic performance: Longitudinal models of reciprocal effects. *Child development*, 88(5), 1653-1670.
- Peña, N. (2019). Perfil emocional del profesorado y sus implicaciones en prácticas docentes no intervencionistas. *Profesorado, Revista de Currículum y Formación del Profesorado*, 23(1), 511-532.
- Pérez, A., & de Pro, A. (2013). Estudio demoscópico de lo que sienten y piensan los niños y adolescentes sobre la enseñanza formal de las ciencias. En V. Mellado, L.J. Blanco, A.B. Borrachero & J.A. Cárdenas (Eds.), *Las Emociones en la Enseñanza y el Aprendizaje de las Ciencias y las Matemáticas* (pp- 495-520). Badajoz, España: Grupo DEPROFE.
- Pessoa, L. (2008). On the relationship between emotion and cognition. *Nature Reviews Neuroscience*, 9(2), 148-158.
- Phelps, E. A. (2006). Emotion and cognition: insights from studies of the human amygdala. *Annual Review of Psychology*, 57, 27-53.
- Phillips, S. (2014). Analogy, cognitive architecture and universal construction: A tale of two systematicities. *PloS one*, 9(2), e89152.
- Pintrich, P. R., Marx, R. W., & Boyle, R. A. (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.
- Pipitone, C., Guitart, J., Agudelo, C., & García-LLadó, À. (2019). Favoreciendo el cambio emocional positivo hacia las ciencias en la formación inicial del profesorado. *Ápice. Revista de Educación Científica*, 3(1), 41-54.
- Posner, J., Russell, J. A., Gerber, A., Gorman, D., Colibazzi, T., Yu, S., Wang, Z., Kangarlu, A., Zhu, H., & Peterson, B. S. (2009). The neurophysiological bases of emotion: An fMRI study of the affective circumplex using emotion-denoting words. *Human brain mapping*, 30(3), 883-895.
- Posner, J., Strike, K.A., Hewson, P.W., & Gertzog, A. (1982). Accommodation of a scientific conception: toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66(2), 211-277.
- Pozo, J. (1996). Las ideas del alumnado sobre la ciencia: de donde vienen, a donde van... y mientras tanto qué hacemos con ellas. *Alambique*, 7, 18-26.
- Pozo, J., & Gómez, M. (2013). *Aprender y enseñar ciencia. Del conocimiento cotidiano al conocimiento científico*. Madrid, España: Ediciones Morata

- Pozuelos, F. J. (2001). La investigación escolar: una alternativa para innovar en el aula. En F. J. Pozuelos & G. Travé (Eds.), *Entre pupitres. Razones e instrumento para un nuevo marco educativo* (pp. 113-151). Huelva, España: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Huelva.
- Price, R. M., & Pérez, K. E. (2016). Beyond the adaptationist legacy: updating our teaching to include a diversity of evolutionary mechanisms. *The American Biology Teacher*, 78(2), 101-108.
- Prieto, T., & Blanco, A. (1997). *Las concepciones de los alumnos y la investigación en Didáctica de las Ciencias*. Málaga, España: SPICUM de la Universidad de Málaga y CEP de Málaga.
- Prieto, T., España, E., & Martín, C. (2012). Algunas cuestiones relevantes en la enseñanza de las ciencias desde una perspectiva Ciencia-Tecnología-Sociedad. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 9(1), 71-77.
- Prokop, P., Prokop, M., & Tunnicliffe, S. D. (2007). Is biology boring? Student attitudes toward biology. *Journal of Biological Education*, 42(1), 36-39.
- Prout, A. (1985). Science, health and everyday knowledge: A case study about the common cold. *European Journal of Science Education*, 7(4), 399-406.
- Putwain, D. W., Becker, S., Symes, W., & Pekrun, R. (2018a). Reciprocal relations between students' academic enjoyment, boredom, and achievement over time. *Learning and Instruction*, 54, 73-81.
- Putwain, D. W., Pekrun, R., Nicholson, L. J., Symes, W., Becker, S., & Marsh, H. W. (2018b). Control-value appraisals, enjoyment, and boredom in mathematics: A longitudinal latent interaction analysis. *American Educational Research Journal*, 55(6), 1339-1368.
- Quinn, H., Schweingruber, H., & Keller, T. (2012). *A framework for K-12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas*. Washington D. C., Estados Unidos: National Academies Press.
- Raccanello, D., Brondino, M., & De Bernardi, B. (2013). Achievement emotions in elementary, middle, and high school: How do students feel about specific contexts in terms of settings and subject-domains? *Scandinavian Journal of Psychology*, 54(6), 477-484.
- Rachman, S. (2004). Fear of contamination. *Behaviour Research and Therapy*, 42(11), 1227-1255.
- Ramírez, G., & Beilock, S. L. (2011). Writing about testing worries boosts exam performance in the classroom. *Science*, 331(6014), 211-213.
- Ranellucci, J., Hall, N. C., & Goetz, T. (2015). Achievement goals, emotions, learning, and performance: A process model. *Motivation Science*, 1(2), 98-120.
- Real Decreto 126/2014, de 28 de febrero, por el que se establece el currículo básico de Educación Primaria. Referencia: BOE-A-2014-2222.
- Redfern, J., Burdass, D., & Verran, J. (2013). Practical microbiology in schools: a survey of UK teachers. *Trends in Microbiology*, 21(11), 557-559.
- Reigosa, C., & Jiménez, M. (2000). La cultura científica en la resolución de problemas en el laboratorio. *Enseñanza de las Ciencias*, 18(2), 275-284.

- Reis, P., & Galvão, C. (2004). The impact of socio-scientific controversies in Portuguese natural science teachers' conceptions and practices. *Research in Science Education*, 34(2), 153-171.
- Retana-Alvarado, D. A. (2018). *El cambio en las emociones de maestros en formación inicial en la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias basada en la indagación* (Tesis Doctoral). Universidad de Huelva, Huelva.
- Retana-Alvarado, D. A., De las Heras-Pérez, M. Á., Vázquez-Bernal, B., & Jiménez, R. (2018). El cambio en las emociones de maestros en formación inicial hacia el clima de aula en una intervención basada en investigación escolar. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 15(2), 1-16.
- Richards, C. (2016). DNA chemical structure [Figura]. Recuperado de [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:DNA\\_chemical\\_structure.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:DNA_chemical_structure.svg) (fecha de consulta: 01/10/2019)
- Richland, L. E., & Simms, N. (2015). Analogy, higher order thinking, and education. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*, 6(2), 177-192.
- Richland, L. E., Zur, O., & Holyoak, K. J. (2007). Cognitive supports for analogies in the mathematics classroom. *Science*, 316(5828), 1128-1129.
- Rico, A., & Díez, J. R. (2014). ¿De dónde procede el alcohol de mi cerveza? El estudio de la Microbiología en la formación inicial de maestras y maestros de Educación Primaria. En M. De las Heras-Pérez, *26 Encuentros de Didáctica de las ciencias experimentales*. ÁPICE, Huelva.
- Rieber, L. P., & Noah, D. (2008). Games, simulations, and visual metaphors in education: antagonism between enjoyment and learning. *Educational Media International*, 45(2), 77-92.
- Riedel, M. C., Yanes, J. A., Ray, K. L., Eickhoff, S. B., Fox, P. T., Sutherland, M. T., & Laird, A. R. (2018). Dissociable meta-analytic brain networks contribute to coordinated emotional processing. *Human brain mapping*, 39(6), 2514-2531.
- Riegle-Crumb, C., Morton, K., Moore, C., Chimonidou, A., Labrake, C., & Kopp, S. (2015). Do inquiring minds have positive attitudes? The science education of preservice elementary teachers. *Science education*, 99(5), 819-836.
- Ritchie, S. M., Tobin, K., Sandhu, M., Sandhu, S., Henderson, S. & Roth, W. (2013). Emotional arousal of beginning physics teachers during extend experimental investigations. *Journal of Research in Science Teaching*, 50(2), 137-161.
- Robinson, M. D., & Clore, G. L. (2002). Belief and feeling: evidence for an accessibility model of emotional self-report. *Psychological bulletin*, 128(6), 934-960.
- Romero, J. T. (2016). *El estudio de las emociones a través de la educación física en Educación Primaria* (Trabajo Fin de Grado). Universidad de Extremadura, Cáceres.
- Romine, W.L., Barrow, L.H., & Folk, W.R. (2013). Exploring Secondary Students' Knowledge and Misconceptions about Influenza: Development, validation, and implementation of a multiple-choice influenza knowledge scale. *International Journal of Science Education*, 35(11), 1874-190.
- Rosiek, J. (2003). Emotional scaffolding: An exploration of the teacher knowledge at the intersection of student emotion and the subject matter. *Journal of Teacher Education*, 54(5), 399-412.



- Roth, W. (2008). The nature of scientific conceptions: A discursive psychological perspective. *Educational Research Review*, 3(1), 30-50.
- Rothhaar, R., Pittendrigh, B. R., & Orvis, K. S. (2006). The Lego® analogy model for teaching gene sequencing and biotechnology. *Journal of Biological Education*, 40(4), 166-171.
- Rozek, C. S., Ramírez, G., Fine, R. D., & Beilock, S. L. (2019). Reducing socioeconomic disparities in the STEM pipeline through student emotion regulation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116(5), 1553-1558.
- Rubin, D. C., & Talarico, J. M. (2009). A comparison of dimensional models of emotion: Evidence from emotions, prototypical events, autobiographical memories, and words. *Memory*, 17(8), 802-808.
- Rubio, J., Sánchez, G., & Valcárcel, M.V. (2018). Percepción de profesores y estudiantes de 3ºESO sobre el uso de analogías en el estudio de los estados de agregación de la materia. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 15(2), 2104.
- Ruiz-Molina, M. E., & Cuadrado-García, M. (2008). E-learning in a university interdisciplinary and bilingual context: Analysis of students' participation, motivation and performance. *Multicultural Education & Technology Journal*, 2(3), 156-169.
- Ruthig, J. C., Perry, R. P., Hladkyj, S., Hall, N. C., Pekrun, R., & Chipperfield, J. G. (2008). Perceived control and emotions: Interactive effects on performance in achievement settings. *Social Psychology of Education*, 11(2), 161–180.
- Ryan, T. G. (2008). Understanding evolutionary trees. *Evolution: Education and Outreach*, 1(2), 121-137.
- Sadler, T. D. (2004). Moral sensitivity and its contribution to the resolution of socio-scientific issues. *Journal of Moral Education*, 33 (3), 339-358.
- Sadler, T. D., & Dawson, V. (2012). Socio-scientific issues in science education: Contexts for the promotion of key learning outcomes. En B. Fraser, K. Tobin, & C. J. McRobbie (Eds.), *Second international handbook of science education* (pp. 799-809). Dordrecht, Países Bajos: Springer
- Sánchez, J., Segovia, I., & Miñán, A. (2011). Exploración de la ansiedad hacia las matemáticas en los futuros maestros de educación primaria. *Profesorado. Revista de Currículum y formación del profesorado*, 15, 1-16.
- Sarid, O., Anson, O., Yaari, A., & Margalith, M. (2004). Academic stress, immunological reaction, and academic performance among students of nursing and physiotherapy. *Research in nursing & health*, 27(5), 370-377.
- Scherer, K. R. (2005). What are emotions? And how can they be measured? *Social science information*, 44(4), 695-729
- Schneider, R. M., Krajcik, J., Marx, R. W., & Soloway, E. (2002). Performance of students in project-based science classrooms on a national measure of science achievement. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(5), 410-422.
- Schoon, K. (1995). The origin and extent of alternative conceptions in the earth and space sciences: A survey of pre-service elementary teachers. *Journal of Elementary Science Education*, 7(2), 27–46.

- Sender, R., Fuchs, S., & Milo, R. (2016). Revised estimates for the number of human and bacteria cells in the body. *PLoS Biol*, 14(8), 1-14.
- Sereno, M. I. (1991). Four analogies between biological and cultural/linguistic evolution. *Journal of Theoretical Biology*, 151(4), 467-507.
- Serrano, A., Liebner, J., & Hines, J. K. (2016). Cannibalism, kuru, and mad cows: prion disease as a “choose-your-own-experiment” case study to simulate scientific inquiry in large lectures. *PLoS biology*, 14(1), e1002351.
- Shapiro, S. (2010). Revisiting the teachers’ lounge: Reflections on emotional experience and teacher identity. *Teaching and Teacher Education*, 26, 616-621.
- Shaw, K., Van Horne, K., Zhang, H., & Boughman, J. (2008). Essay contest reveals misconceptions of high school students in genetics content. *Genetics*, 178(3), 1157-1168.
- Shulman, L. S. (1986). Those who understand: Knowledge growth in teaching. *Educational researcher*, 15(2), 4-14.
- Simonneaux, L. (2000). A study of pupils’ conceptions and reasoning in connection with ‘microbes’, as a contribution to research in biotechnology education. *International Journal of Science Education*, 22(6), 619–644.
- Smith, G. J., Vijaykrishna, D., Bahl, J., Lycett, S. J., Worobey, M., Pybus, O. G., Ma, S. K., Cheung, C. L., Raghwani, J., Peiris, J. M., Guan, Y., & Rambaut, A. (2009a). Origins and evolutionary genomics of the 2009 swine-origin H1N1 influenza A epidemic. *Nature*, 459(7250), 1122-1125.
- Smith, M., Wood, W., Adams, W., Wieman, C., Knight, J., Guild, N., & Su, T. (2009b). Why peer discussion improves student performance on in-class concept questions. *Science*, 323(5910), 122-124.
- Smith, M., Wood, W., & Knight, J. (2008). The genetics concept assessment: a new concept inventory for gauging student understanding of genetics. *CBE-life sciences Education*, 7(4), 422-430.
- Srivastava, A., & Ramadas, J. (2013). Analogy and gesture for mental visualization of DNA structure. En D. Treagust & C. Tsui (Eds.), *Multiple representations in biological education* (pp. 311-329). Dordrecht, Países Bajos: Springer.
- Steinmayr, R., Crede, J., McElvany, N., & Wirthwein, L. (2016). Subjective well-being, test anxiety, academic achievement: Testing for reciprocal effects. *Frontiers in psychology*, 6, 1994.
- Stone, E. (2014). Guiding Students to Develop an Understanding of Scientific Inquiry: A Science Skills Approach to Instruction and Assessment. *CBE-Life Sciences Education*, 13(1), 90-101.
- Storey, R. (1990). Textbook errors & misconceptions in biology: Cell Structure. *The American Biology Teacher*, 52(4), 213-218.
- Stuckey, M., Hofstein, A., Mamlok-Naaman, R., & Eilks, I. (2013). The meaning of ‘relevance’ in science education and its implications for the science curriculum. *Studies in Science Education*, 49(1), 1-34.
- Swars, S. L., Daane, C. J., & Giesen, J. (2006). Mathematics anxiety and mathematics teacher efficacy: What is the relationship in elementary preservice teachers? *School Science and Mathematics*, 106(7), 306-315.

- Sylwester, R. (1994). How emotions affect learning. *Educational Leadership*, 52(2), 60-65.
- Talanquer, V. (2004). Formación docente: ¿Qué conocimiento distingue a los buenos maestros de química? *Educación Química*, 15(1), 52-58.
- Tansey, J. T., Baird, T., Cox, M. M., Fox, K. M., Knight, J., Sears, D., & Bell, E. (2013). Foundational concepts and underlying theories for majors in “biochemistry and molecular biology. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 41(5), 289-296.
- Teodoro, A., & Chambel, L. (2013). The role of teachers in students' education for antibiotic use. En A. Mendez-Vilas (Ed), *Microbial pathogens and strategies for combating them: science, technology and educations* (pp. 1957-1968). Badajoz, España: Formatex Research Center.
- Timmis, K., Cavicchioli, R., Garcia, J. L., Nogales, B., Chavarria, M., Stein, L., McGenity, T. J., Webster, N., Singh, B., Handelsman, J., de Lorenzo, V., Pruzzo, C., Timmis, J., Martin, J. L., Verstraete, W., Jetten, M., Danchin, A., Huang, W., Gilbert, J., Lal, R., Santos, H., Lee, S. Y., Sessitsch, A., Bonfante, P., Gram, L., Lin, R. T., Ron, E., Karahan, C., van der Meer, J. R., Artunkal, S., Jahn, D., & Harper, L. (2019) The urgent need for microbiology literacy in society. *Environmental microbiology*, 21(5), 1513-1528.
- Tomas, L., Rigano, D., & Ritchie, S. M. (2016). Students' regulation of their emotions in a science classroom. *Journal of Research in Science Teaching*, 53(2), 234-260.
- Tomas, L., & Ritchie, S. M. (2012). Positive Emotional Responses to Hybridised Writing about a Socio-Scientific Issue. *Research in Science Education*, 42(1), 25-49.
- Torsney, B. M., Ponnock, A. R., & Lombardi, D. (2017). The role of values in preservice teachers' decision to teach. *The Teacher Educator*, 52(1), 39-56.
- Treagust, D., Duit, R., Joslin, P., & Lindauer, I. (1992). Science teachers' use of analogies: observations from classroom practice. *International Journal of Science Education*, 14(4), 413-422.
- Treagust, D., Harrison, A. G., & Venville, G. J. (1998). Teaching science effectively with analogies: An approach for preservice and inservice teacher education. *Journal of Science Teacher Education*, 9(2), 85-101.
- Trigwell, K., Ellis, R., & Han, F. (2012). Relations between students' approaches to learning, experienced emotions and outcomes of learning. *Studies in Higher Education*, 37(7), 811-824.
- Trundle, K., Atwood, R., & Christopher, J. (2002). Preservice elementary teachers' conceptions of moon phases before and after instruction. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(7), 633-658.
- Tuan, H. L., Chin, C. C., Tsai, C. C., & Cheng, S. F. (2005). Investigating the effectiveness of inquiry instruction on the motivation of different learning styles students. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 3(4), 541-566.
- Tyng, C. M., Amin, H. U., Saad, M. N., & Malik, A. S. (2017). The influences of emotion on learning and memory. *Frontiers in psychology*, 8, 1454.
- Tytler, R. (2014). Attitudes, identity, and aspirations toward science. En S. Abell & N. Lederman (Eds.), *Handbook of Research on Science Education, Volume II* (pp. 96-117). Londres, Inglaterra: Routledge.

- Umbach, P. D., & Wawrzynski, M. R. (2005). Faculty do matter: The role of college faculty in student learning and engagement. *Research in Higher education*, 46(2), 153-184.
- Ural, E. (2016). The effect of guided-inquiry laboratory experiments on science education students' chemistry laboratory attitudes, anxiety and achievement. *Journal of Education and Training Studies*, 4(4), 217-227.
- Van-Deur, P., & Murray-Harvey, R. (2005). The Inquiry Nature of Primary Schools and Students' Self-Directed Learning Knowledge. *International Education Journal*, 5(5), 166-177.
- Van Hecke, G., Karukstis, K., Haskell, R., McFadden, C., & Wettack, F. (2002). An integration of chemistry, biology, and physics: the interdisciplinary laboratory. *Journal of chemical education*, 79(7), 837-844.
- Valiente, C., Swanson, J., & Eisenberg, N. (2012). Linking students' emotions and academic achievement: When and why emotions matter. *Child development perspectives*, 6(2), 129-135.
- Vázquez, Á., & 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-Ben, L. (2015). La evolución biológica en la educación primaria española, un contenido pendiente. *Revista de Estudios e Investigación en Psicología y Educación*, 6, 153-157.
- Vicente, M., Garcia-Ovalle, M., & Medina, J. (2010) *Ni contigo ni sin ti (Guía para entender los microbios)*. Madrid, España: Ediciones Grand Guignol.
- Villavicencio, F. T., & Bernardo, A. B. (2013). Positive academic emotions moderate the relationship between self-regulation and academic achievement. *British Journal of Educational Psychology*, 83(2), 329-340.
- Von Secker, C. E., & Lissitz, R. W. (1999). Estimating the impact of instructional practices on student achievement in science. *Journal of research in science teaching*, 36(10), 1110-1126.
- Wallace, C., & Brooks, L. (2015). Learning to Teach Elementary Science in an Experiential, Informal Context: Culture, Learning, and Identity. *Science Education*, 99(1), 174-198.
- Watson, D., & Tellegen, A. (1985). Toward a consensual structure of mood. *Psychological bulletin*, 98(2), 219.
- Wei, C. A., Beardsley, P. M., & Labov, J. B. (2012). Evolution education across the life sciences: making biology education make sense. *CBE-Life Sciences Education*, 11(1), 10-16.
- Weinburgh, M. (1995). Gender differences in student attitudes toward science: A meta-analysis of the literature from 1970 to 1991. *Journal of Research in science Teaching*, 32(4), 387-398.
- Weinburgh, M. H., & Englehard, G. (1994). Gender, prior academic performance and beliefs as predictors of attitudes toward biology laboratory experiences. *School Science and Mathematics*, 94(3), 118-123.
- Wentura, D., Rothermund, K., & Bak, P. (2000). Automatic vigilance: the attention-grabbing power of approach-and avoidance-related social information. *Journal of personality and social psychology*, 78(6), 1024-1037.

- Wellington, J. (2002). *Practical work in school science: Which way now?* Londres, Inglaterra: Routledge.
- Whitaker, M. C., & Valtierra, K. M. (2018). Enhancing preservice teachers' motivation to teach diverse learners. *Teaching and Teacher Education, 73*, 171-182.
- White, P. J., Heidemann, M. K., & Smith, J. J. (2013). A new integrative approach to evolution education. *BioScience, 63*(7), 586-594.
- Wieman, C. E. (2014). Large-scale comparison of science teaching methods sends clear message. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 111*(23), 8319-8320.
- Willson, V. L., & Putnam, R. R. (1982). A meta-analysis of pretest sensitization effects in experimental design. *American Educational Research Journal, 19*(2), 249-258.
- Yamanoi, T., Takemura, M., Sakura, O., & Kazama, T. (2012). Development and evaluation of an activity to teach molecular phylogeny, deep time and classification systems for Japanese high school students. *Asian Journal of Biology Education, 6*, 13-25.
- Yerrick, R., Doster, E., Nugent, J., Parke, H., & Crawley, F. E. (2003). Social interaction and the use of analogy: An analysis of preservice teachers' talk during physics inquiry lessons. *Journal of Research in Science Teaching, 40*(5), 443-463.
- Zan, R., Brown, L., Evans, J., & Hannula, M. S. (2006). Affect in mathematics education: An introduction. *Educational studies in mathematics, 63*(2), 113-121.
- Zembylas, M. (2007). Emotional ecology: The intersection of emotional knowledge and pedagogical content knowledge in teaching. *Teaching and Teacher Education, 23*(4), 355-367.
- Ziadie, M. A., & Andrews, T. C. (2018). Moving Evolution Education Forward: A Systematic Analysis of Literature to Identify Gaps in Collective Knowledge for Teaching. *CBE-Life Sciences Education, 17*(1), ar11.



## Anexos

### **Anexo 1. Cuestionarios empleados para determinar la efectividad de la práctica activa diseñada para la enseñanza de Biología Celular, Física y Química**

#### **Cuestionario empleado en los años académicos 1 y 2**

Con el fondo verde las preguntas para valorar la presencia de ideas previas alternativas sobre conceptos de Biología Celular, en base a lo recogido en la bibliografía para la etapa de Educación Secundaria y universitaria.

Con el fondo naranja las preguntas sobre conceptos básicos de Bioquímica y Biología Celular necesarios para llevar a cabo la práctica de extracción de ADN.

Con el fondo azul las preguntas extraídas del TIMSS relacionadas con los conceptos abordados durante la práctica de extracción de ADN.

<b>1. Podemos extraer material genético de:</b> a) Sólo los seres vivos b) Sólo los procariontes c) Sólo los eucariontes d) De todos los seres vivos y algunos no vivos (por ejemplo virus)
<b>2. ¿Dónde crees que se encuentra el ADN en un tomate?:</b> a) Sólo en las células de la semilla b) Sólo en las células de la pulpa (del fruto) c) Sólo en las células de la piel d) En todas las células
<b>3. El ADN es:</b> a) Un ácido nucleico b) Una grasa rodeada de fósforo c) Una proteína d) Un aminoácido
<b>4. En los humanos los cromosomas sexuales se encuentran exclusivamente en:</b> a) Las células de los testículos y los ovarios b) Todas las células con núcleo c) Los espermatozoides y los óvulos d) Las mitocondrias de todas las células
<b>5. Qué tipos de células tienen mitocondrias y cloroplastos:</b> a) Las células animales b) Las células vegetales c) Las bacterias d) Ninguna, o bien tiene mitocondrias o bien tienen cloroplastos
<b>6. La diferencia esencial entre célula procariota y célula eucariota radica en:</b> a) El tamaño celular b) La pared celular c) El núcleo celular d) La composición química del citoplasma
<b>7. Respecto al ADN señala la respuesta CORRECTA:</b> a) Se encuentra exclusivamente en el núcleo celular b) Es el único ácido nucleico de la célula c) Se encuentra en cloroplastos, mitocondrias y núcleo d) Está formado por aminoácidos

**8. Señala la afirmación CORRECTA:**

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

**9. En los vegetales, la pared celular es:**

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

**10. Identifica la relación “tipo celular – características” INCORRECTA:**

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

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

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

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

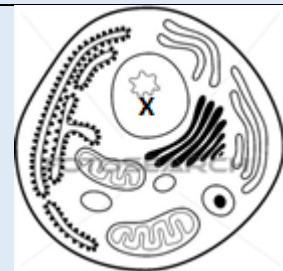
- a) Proporcionar energía para la actividad celular
- b) Producir azúcar para almacenar en las células
- c) Liberar oxígeno para la respiración
- d) Proporcionar dióxido de carbono para la fotosíntesis

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

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

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

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





### Cuestionario empleado en los años académicos 3 y 4

Con el fondo verde las preguntas para valorar la presencia de ideas previas alternativas sobre conceptos de Biología Celular, en base a lo recogido en la bibliografía para la etapa de Educación Secundaria y universitaria.

Con el fondo naranja las preguntas sobre conceptos básicos de Bioquímica y Biología Celular necesarios para llevar a cabo la práctica de extracción de ADN.

Con el fondo azul las preguntas extraídas del TIMSS relacionadas con los conceptos abordados durante la práctica de extracción de ADN.

Con el fondo gris las preguntas relativas a conceptos de Química y Física necesarios para comprender la extracción de ADN.

<p><b>1. Podemos extraer material genético de:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>a) Sólo los seres vivos</li><li>b) Sólo los procariotas</li><li>c) Sólo los eucariotas</li><li>d) De todos los seres vivos y algunos no vivos como los virus</li></ul>
<p><b>2. ¿Dónde crees que se encuentran el ADN en un tomate?:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>a) Sólo en las células de la semilla</li><li>b) Sólo en las células de la pulpa (del fruto)</li><li>c) Sólo en las células de la piel</li><li>d) En todas las células</li></ul>
<p><b>3. En los humanos los cromosomas sexuales se encuentran exclusivamente en:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>a) Las células de los testículos y los ovarios</li><li>b) Todas las células con núcleo</li><li>c) Los espermatozoides y los óvulos</li><li>d) Las mitocondrias de todas las células</li></ul>
<p><b>4. ¿Qué tipos de células tienen mitocondrias y cloroplastos?</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>a) Las células animales</li><li>b) Las células vegetales</li><li>c) Las bacterias</li><li>d) Ninguna, o bien tiene mitocondrias o bien tienen cloroplastos</li></ul>
<p><b>5. La diferencia esencial entre célula procariota y célula eucariota radica en:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>a) El tamaño celular</li><li>b) La pared celular</li><li>c) El núcleo celular</li><li>d) La composición química del citoplasma</li></ul>
<p><b>6. Respecto al ADN señala la respuesta CORRECTA:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>a) Se encuentra exclusivamente en el núcleo celular</li><li>b) Es el único ácido nucleico de la célula</li><li>c) Se encuentra en cloroplastos, mitocondrias y núcleo</li><li>d) Está formado por aminoácidos</li></ul>
<p><b>7. Señala la afirmación CORRECTA:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>a) Todas las células están rodeadas por una membrana plasmática rígida</li><li>b) La membrana plasmática está formada fundamentalmente por lípidos, proteínas, carbohidratos y nucleótidos</li><li>c) Dentro de las células algunos orgánulos están rodeados por membranas similares a la membrana plasmática</li><li>d) Solo las células eucariotas tienen membrana plasmática</li></ul>

**8. En los vegetales, la pared celular es:**

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

**9. Identifica la relación “tipo celular – características” INCORRECTA:**

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

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

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



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

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

**12. El pH de los fluidos biológicos depende de:**

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

**13. Señala la afirmación CORRECTA:**

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

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

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

**15. Señala la afirmación CORRECTA sobre las moléculas anfipáticas:**

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

**Anexo 2. Cuestionario empleado para determinar la efectividad de la práctica activa diseñada para la enseñanza de Microbiología**

1. **¿Cómo de esterilizada está la punta de una aguja que ha sido flameada con un mechero?**
  - a) Totalmente esterilizada
  - b) Muy esterilizada
  - c) Casi esterilizada
  - d) Poco esterilizada
  
2. **Respecto a las funciones vitales realizadas por los microorganismos:**
  - a) Realizan la nutrición, la relación y la reproducción
  - b) Realizan la nutrición y la reproducción
  - c) No realizan la nutrición ya que ésta es propia de vertebrados
  - d) Los microorganismos no realizan ninguna función vital
  
3. **¿Cuál de las siguientes afirmaciones es CORRECTA en relación a los microorganismos?**
  - a) Un microorganismo lo es sólo mientras no se ve a simple vista
  - b) Un microorganismo es un ser vivo que no se ve a simple vista
  - c) Un moho creciendo sobre una fruta no es un microorganismo
  - d) Los microorganismos no se ven ni aunque se junten millones
  
4. **Después de tocar los fluidos de un enfermo de gripe debes lavarte las manos:**
  - a) Para esterilizarlas
  - b) Como medida de asepsia
  - c) Para quitar la suciedad
  - d) Para activar al sistema inmune
  
5. **¿Qué puede proporcionar al cuerpo humano inmunidad contra algunas enfermedades por un largo periodo de tiempo?**
  - a) Los antibióticos
  - b) Las vitaminas
  - c) Las vacunas
  - d) Los glóbulos rojos
  
6. **¿Dónde vivían los microorganismos cuando aparecieron en la Tierra?**
  - a) En el agua
  - b) En el aire
  - c) Sobre el suelo
  - d) Bajo el suelo
  
7. **¿Cuál de los siguientes elementos es indispensable para que pueda crecer un microorganismo?**
  - a) Azúcar
  - b) Oxígeno
  - c) Agua
  - d) Luz solar

**8. ¿Con qué objetivo se añade cloro al agua?**

- a) Para sanearla
- b) Para esterilizarla
- c) Para hacerla aséptica
- d) Para aromatizarla

**9. ¿Cuál de los siguientes microorganismos realizan las funciones vitales?**

- a) Bacterias y levaduras
- b) Bacterias y virus
- c) Sólo las bacterias
- d) Sólo los virus

**10. Señala la afirmación CORRECTA:**

- a) Todos los microorganismos son patógenos
- b) Ningún microorganismo es patógeno
- c) Sólo algunos microorganismos son patógenos
- d) La mayoría de los microorganismos son patógenos

**11. Algunos microorganismos se utilizan para fabricar alimentos como el pan o el yogur.**

**¿Por qué podemos comer estos alimentos?**

- a) Porque los microorganismos están muertos
- b) Porque los microorganismos del pan horneado están muertos y en el caso del yogur están medio muertos
- c) No importa que tengan microorganismos, ya que éstos son comestibles
- d) Porque los microorganismos están vivos y activan nuestras defensas para matarlos

**12. ¿En cuál de los siguientes ambientes no hay microorganismos?**

- a) En el aire del campo
- b) En la sangre de un individuo sano
- c) Sobre una mesa limpia
- d) En las profundidades marinas

**13. ¿A qué microorganismos matan los antibióticos?**

- a) Virus
- b) Bacterias
- c) A todos los microorganismos
- d) Hongos

**14. En una extracción de sangre te tratan la zona con alcohol antes de pincharte para:**

- a) Para enfriar la zona y que se vea mejor la vena
- b) Para desinfectar la zona
- c) Para limpiar la zona
- d) Ninguna de las respuestas anteriores es correcta

**15. Imagina que trabajas en un restaurante. ¿Después de qué acción hay lavarse las manos?**

- a) Después de ir al baño
- b) Después de cobrar
- c) Después de manipular otros alimentos
- d) Todas las anteriores son ciertas



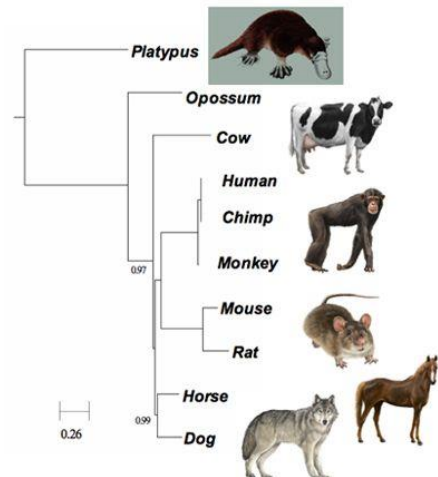
**Anexo 3. Cuestionario empleado para determinar la efectividad de la práctica activa diseñada para la enseñanza de Biología evolutiva**

**1. Señala la afirmación correcta relativa a los árboles filogenéticos:**

- a) Son clasificaciones de los seres vivos basadas exclusivamente en su morfología
- b) Son representaciones de las relaciones evolutivas de los de seres vivos construidas comparando sus moléculas de ADN
- c) Son clasificaciones de los de seres vivos construidas únicamente comparando sus embriones
- d) Ninguna de las opciones es correcta

**2. Observa el árbol de la figura. ¿Cuál de las siguientes afirmaciones es correcta?**

- a) Las secuencias de nucleótidos del perro son más parecidas a las de la vaca que a las del caballo
- b) El ADN de los caballos es más parecido al de los chimpancés que al de los perros
- c) Los genes del perro son más similares a los del caballo que a los del mono
- d) Los genes de la rata y el ratón son idénticos ya que la rata es la hembra del ratón



**3. Señala la información correcta:**

- a) Los genes pueden ser de ADN, ARN o proteínas
- b) Los genes están formados por nucleótidos
- c) Los genes están formados por aminoácidos
- d) El conjunto de todas las proteínas de un organismo se denomina genoma

**4. La evolución consiste en:**

- a) Herencia de genes
- b) Variación de genes
- c) Selección de algunas variantes de genes
- d) Todas las respuestas son correctas

**5. Señala la afirmación correcta:**

- a) La replicación es el paso de DNA a RNA
- b) La transcripción es el paso de DNA a RNA
- c) La traducción es el paso de DNA a proteínas
- d) La transcripción es el paso de DNA a proteínas

- 6. ¿Qué nombre reciben los genes que tienen una secuencia similar y comparten la misma función?**
- a) Genes homólogos
  - b) Genes recesivos
  - c) Genes reguladores
  - d) Genes ligados
- 7. ¿A qué tipo de mutación corresponde el siguiente cambio: TCCTAT - - -> TCCAT?**
- a) Inserción
  - b) Deleción
  - c) Sustitución
  - d) Ninguno de los anteriores
- 8. ¿Qué cambio ocurre en el siguiente fragmento de ADN: CGATCGT - - -> CGATGGT?**
- a) Inserción
  - b) Deleción
  - c) Sustitución
  - d) No se produce ninguna mutación
- 9. Señala la afirmación correcta:**
- a) El ARN tiene los mismos nucleótidos que el ADN: Adenina, Timina, Citosina y Guanina
  - b) El ARN tiene los mismos nucleótidos que el ADN: Adenina, Citosina, Guanina y Uracilo
  - c) Cada 3 nucleótidos del ARN mensajero se codifica un aminoácido
  - d) Dependiendo del tipo de aminoácido, éste está codificado por 1 o varios nucleótidos
- 10. ¿Qué puede ocurrir si un gen sufre una mutación al introducirse un nuevo nucleótido en su secuencia?**
- a) Cambiaría la secuencia del ADN, pero en ningún caso la de la proteína que produce
  - b) Cambiarían los tripletes del ARN mensajero y, por tanto, la proteína producida podría ser diferente
  - c) No ocurriría nada, ya que siempre que se introduce un nucleótido nuevo se elimina uno antiguo
  - d) Ninguna de las opciones es correcta



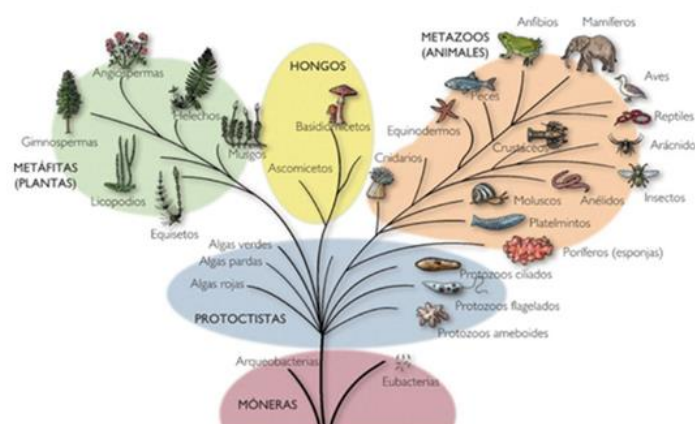
**Anexo 4. Cuestionario empleado para determinar los resultados de aprendizaje duradero de Biología Celular y Microbiología**

- 1. ¿Cómo de esterilizada está la punta de una aguja que ha sido flameada con un mechero?**
  - a) Totalmente esterilizada
  - b) Muy esterilizada
  - c) Casi esterilizada
  - d) Poco esterilizada
  
- 2. Respecto a las funciones vitales realizadas por los microorganismos:**
  - a) Realizan la nutrición, la relación y la reproducción
  - b) Realizan la nutrición y la reproducción
  - c) No realizan la nutrición ya que ésta es propia de vertebrados
  - d) Los microorganismos no realizan ninguna función vital
  
- 3. Después de tocar los fluidos de un enfermo de gripe debes lavarte las manos:**
  - a) Para esterilizarlas
  - b) Como medida de asepsia
  - c) Para quitar la suciedad
  - d) Para activar al sistema inmune
  
- 4. ¿Cuál de los siguientes elementos es indispensable para que pueda crecer un microorganismo?**
  - a) Azúcar
  - b) Oxígeno
  - c) Agua
  - d) Luz solar
  
- 5. ¿Cuál de los siguientes microorganismos realizan las funciones vitales?**
  - a) Bacterias y levaduras
  - b) Bacterias y virus
  - c) Sólo las bacterias
  - d) Sólo los virus
  
- 6. Algunos microorganismos se utilizan para fabricar alimentos como el pan o el yogur. ¿Por qué podemos comer estos alimentos?**
  - a) Porque los microorganismos están muertos
  - b) Porque los microorganismos del pan horneado están muertos y en el caso del yogur están medio muertos
  - c) No importa que tengan microorganismos, ya que éstos son comestibles
  - d) Porque los microorganismos están vivos y activan nuestras defensas para matarlos
  
- 7. Podemos extraer material genético de:**
  - a) Sólo los seres vivos
  - b) Sólo los procariotas
  - c) Sólo los eucariotas
  - d) De todos los seres vivos y algunos no vivos (por ejemplo virus)
  
- 8. ¿Dónde crees que se encuentran el ADN en un tomate?:**
  - a) Sólo en las células de la semilla
  - b) Sólo en las células de la pulpa (del fruto)
  - c) Sólo en las células de la piel
  - d) En todas las células

- 9. En los humanos los cromosomas sexuales se encuentran exclusivamente en:**
- a) Las células de los testículos y los ovarios
  - b) Todas las células con núcleo
  - c) Los espermatozoides y los óvulos
  - d) Las mitocondrias de todas las células
- 10. 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
- 11. Respecto al ADN señala la respuesta CORRECTA:**
- a) Se encuentra exclusivamente en el núcleo celular
  - b) Es el único ácido nucleico de la célula
  - c) Se encuentra en cloroplastos, mitocondrias y núcleo
  - d) Está formado por aminoácidos
- 12. 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
- 13. En los vegetales, la pared celular es:**
- a) Una estructura extracelular formada por polisacáridos, fundamentalmente celulosa
  - b) Una estructura rígida que las rodea
  - c) La materia prima para formar el papel
  - d) Todas las respuestas son correctas

## Anexo 5. Protocolo empleado en la práctica activa de Biología evolutiva

### **Seminario: La evolución a través de analogías lingüísticas**



### **Las analogías en la enseñanza de las ciencias**

*1/ Lectura y discusión del siguiente texto:*

Cuando se empieza a estudiar la estructura de los átomos en las clases de Física y Química, muchos profesores la comparan con el Sistema Solar, que está formado por el Sol (análogo al núcleo atómico) alrededor del cual giran los planetas (análogo a los electrones). Esta comparación es un ejemplo de analogía, herramienta que suele formar parte de los recursos didácticos utilizados por los docentes para explicar conceptos de ciencias. Las analogías son comparaciones entre dominios de conocimiento que mantienen una cierta relación de semejanza entre sí, como la estructura de los átomos y del Sistema Solar del ejemplo anterior. Constituyen una herramienta frecuente en el pensamiento ordinario de las personas y ocupan también un lugar importante en el ámbito de la enseñanza, en general, y de la enseñanza de las ciencias, en particular. Las analogías ayudan a los estudiantes a entender los fenómenos naturales mediante la comparación de un concepto o fenómeno científico con un objeto o evento familiar, llamado análogo, que es bien comprendido por los alumnos. Permiten la visualización de conceptos científicos que son, en su mayoría, abstractos, y hacen que la información nueva sea más concreta y fácil de imaginar. Así, cuando una analogía es apropiada promueve el aprendizaje significativo y evita el desarrollo de ideas erróneas.

Según Oliva *et al.* (2001) algunas de las pautas o condiciones que debe cumplir una analogía para ser eficaz en el proceso de enseñanza-aprendizaje son:

- El análogo utilizado debe ser más accesible que el objeto de estudio, debe hacer referencia a una situación más cotidiana y, por tanto, con la que los alumnos se encuentren más familiarizados, ya que la referencia a temas familiares ayuda a dividir los conceptos en unidades comprensibles para los estudiantes. No sería útil, por ejemplo, representar el aparato circulatorio a partir de una analogía con el funcionamiento de un circuito eléctrico, dado que probablemente este otro sistema es tanto o menos asequible para los alumnos que el primero.
- La analogía debe ser concreta y específica. En consecuencia, debe ser susceptible de representarse a través de una imagen o de algo que sea tangible.

- La semejanza entre los fenómenos que se comparan no debe ser ni demasiado grande ni demasiado pequeña. Si el fenómeno a explicar y el análogo son muy distintos, los alumnos pueden tener dificultades a la hora de encontrar relaciones entre ambos. Y si son demasiado parecidos la analogía tampoco será útil, ya que la semejanza podría ser tan evidente que no sería estimulante.
- Se debe evitar el empleo de análogos en los que los alumnos dispongan de concepciones alternativas y también de aquéllos hacia los que éstos pudieran presentar actitudes poco favorables. En caso contrario, se corre el riesgo de provocar una transferencia de dichas concepciones o actitudes a través de la analogía.

Además de cumplir con las características anteriores, otro aspecto relevante a tener en cuenta en la utilización de una analogía como, herramienta didáctica, es cómo se debe implementar esta estrategia en el aula para que sea efectiva. La mayor parte de las veces, la metodología empleada con las analogías no ha diferido mucho de la mera transmisión/recepción de conocimientos ya elaborados, al igual que con el resto de contenidos de las asignaturas científicas. De esta manera, las analogías suelen presentarse como modelos o productos ya acabados que los alumnos deben entender en la dirección pretendida. Ésta es una muestra más de cuál es la metodología que sigue imperando en la enseñanza de las ciencias, en la que el protagonismo sigue estando en manos del profesor mientras que el alumno se limita a ser un mero espectador. Coherentemente con el planteamiento constructivista de la enseñanza de las ciencias, el docente no debe plantear la analogía como un producto prefabricado que ha de ser aprendido, sino como un proceso en el que los alumnos puedan aportar sus opiniones, tomar decisiones y contribuir abiertamente en su construcción. Una manera de ello es concebir la analogía como algo que se genera a través de tareas o actividades de distinto tipo a realizar por los alumnos (Oliva *et al.*, 2001).

**Bibliografía:**

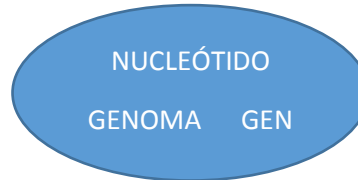
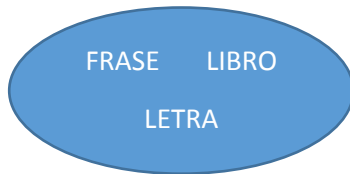
Oliva, J. M., Aragón, M. M., Bonat, M., y Mateo, J. (2001). Una propuesta didáctica basada en la investigación para el uso de analogías en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 19(3), 453-470.

2/ *¿Qué analogías emplearías en la enseñanza de los siguientes conceptos con alumnos de Educación Primaria?*

a) Aspecto de un volcán	b) Las ranas croan o las ovejas balan
c) Piara	d) Aleta de un pez
e) Tubérculo	f) Funcionamiento del corazón
g) Funcionamiento de un riñón	h) Respuesta inmune ante una infección
i) Célula	j) Transmisión del impulso nervioso

**Introducción a conceptos básicos de filogenia molecular**

1/ “El DNA es un como un libro que contiene las instrucciones para la vida en forma de genes”. A partir de esta analogía, relaciona los conceptos análogos de los siguientes grupos:



2/ Observa el siguiente mapa. ¿Qué comparten las palabras que aparecen sobre cada país? ¿Cómo compararías éstas palabras para determinar sus similitudes y diferencias?



Completa la siguiente frase:

Las palabras que tienen similitudes derivadas de un mismo origen pero distinta evolución fonética se denominan

.....  
 Este término es análogo a del “genes  
 .....

¿Qué tres características comparten las palabras y los genes?

**Las mutaciones a nivel molecular**

1/ ¿Qué 3 tipos de cambios observas en los siguientes grupos de palabras?

- HECHO / FECHO
- FACTU / FACTUM
- FACTO / FAIT

2/ ¿A cuál/cuáles de los 3 tipos de cambios anteriores se corresponden los siguientes casos?

- ATTCGTATCATCC- - -> ATTCGTATAACATCC
- TCCTATTCCTAAG- - -> TCCTATCCTAAG
- GGATTCTTACCTA- - -> GATTCTTACCATA
- TTCCATTACCATA- - -> TTCCATTAGCAGA
- TTCTTACCTAATG- - -> TCTTAACCTAATC

3/ Genera, a partir de la secuencia de nucleótidos de la siguiente figura, 3 secuencias de en las que se observe cada uno de los tipos de mutaciones estudiados.



4/ Imagina que para poder entender una frase y poder comunicarnos las palabras siempre tuvieran que estar formadas por tres letras. ¿Qué ocurriría si introduces alguno de los 3 tipos de cambios en una de las siguientes frases?

- Haz mal uno- - ->
- The fat cat sat- - ->

5/ Utilizando el código genético, determina si las siguientes mutaciones afectan a la traducción a proteínas del ARN mensajero.

- GGUUAUUGGAAUA - - -> GGUUUAUUGGAAUA
- CCAACAGAUCAUUG - - -> CAACAGAUCAUUGA

**¿Cómo se construyen los árboles filogenéticos?**

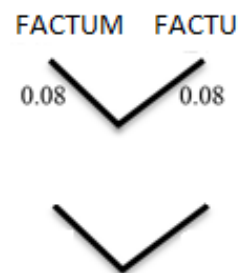
1/ Sigue los siguientes pasos para construir el árbol filogenético de las palabras HECHO, FEITO y FECHO.

- a) Construye la matriz de distancias entre las palabras. Esta distancia se calcula como la fracción de diferencias puntuales entre el número de caracteres totales.  
 Por ejemplo, entre las 6 letras de la palabra FACTUM y las de FACTU hay 1 diferencia (la delección de la m), es decir,  $1/6=0,17$ .

	1	2	3
(1) FEITO-			
(2) FECHO-			
(3) HECHO-			

- b) Determina cuáles son los vecinos más próximos (parejas de palabras que tienen la distancia más pequeña entre ellas).

- c) Para comenzar a construir el árbol, se representan las ramas de cada palabra con un tamaño proporcional a la mitad de la distancia que las separa y se unen en un punto (la mitad de la distancia) que define el ancestro común de ambas. Siguiendo el ejemplo anterior, como la distancia entre FACTUM y FACTU es 0,17 ambas se unen entre dos ramas de 0,08.  
 Repite este proceso para la pareja seleccionada en el apartado b.



- d) Construye otra matriz considerando a esta nueva pareja como una sola palabra. Para ello calcula las distancias entre la pareja y el resto de las palabras.


- e) Utilizando estas distancias, une las palabras mediante ramas siguiendo el procedimiento anterior y dibuja el árbol filogenético.

*2/Siguiendo el procedimiento anterior, denominado algoritmo de..... construye el árbol filogenético de las palabras FAIT, FACT Y FATTO.*

## **ACTIVIDAD**

Diseña una sesión de Ciencias Naturales de 6º de Educación Primaria con la que introducir:

- La información genética se almacena en la secuencia del ADN
- Las especies más cercanas tienen un ADN más parecido
- Conceptos básicos de evolución (herencia/ variación/ selección)

Esta sesión debe estar basada en la analogía con la evolución del lenguaje y constar de una parte expositiva y de actividades para los alumnos.



**Anexo 6. Modelo del cuestionario cuantitativo autoinforme de emociones académicas**

**Cuestionario empleado en el año académico 1 antes de la implementación de la práctica activa diseñada para la enseñanza de Biología Celular**

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

**Sexo: V / H                      Modalidad de Bachillerato o FP realizada:**

Señala las emociones que has experimentado en Educación Secundaria con la enseñanza de la Biología basada en un enfoque expositivo y en un enfoque práctico y el grado con que las recuerdas, así como las emociones que esperas sentir con una práctica de extracción de ADN que vas a realizar en el seminario (de 1 -nada- a 5 -mucho o intensamente-).

	Clases expositivas de Educación Secundaria					Clases prácticas de Educación Secundaria					Expectativa ante la práctica de extracción de ADN				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
<b>Alegría</b>															
<b>Frustración</b>															
<b>Satisfacción</b>															
<b>Nerviosismo</b>															
<b>Diversión</b>															
<b>Incertidumbre</b>															
<b>Entusiasmo</b>															
<b>Preocupación</b>															
<b>Confianza</b>															
<b>Aburrimiento</b>															

**Cuestionario empleado en el año académico 1 tras la implementación de la práctica activa diseñada para la enseñanza de Biología Celular**

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

**Sexo: V / H                      Modalidad de Bachillerato o FP realizada:**

Señala las emociones que has experimentado durante la práctica de extracción de ADN realizada en el seminario (de 1 -nada- a 5 -mucho o intensamente-)

	Emociones sentidas con la práctica de extracción de ADN				
	1	2	3	4	5
<b>Alegría</b>					
<b>Frustración</b>					
<b>Satisfacción</b>					
<b>Nerviosismo</b>					
<b>Diversión</b>					
<b>Incertidumbre</b>					
<b>Entusiasmo</b>					
<b>Preocupación</b>					
<b>Confianza</b>					
<b>Aburrimiento</b>					

**Modelos de cuestionarios empelados en los años académicos 2, 3, 4 y 5 antes de la implementación de las prácticas activas diseñadas en la Tesis Doctoral**

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

**Sexo: V / H                      Modalidad de Bachillerato o FP realizada:**

**Escribe:** inicial del nombre de tu madre, inicial del nombre de tu padre, dos últimas cifras y letra de tu DNI (ej. MM54s):

Señala las emociones que esperas sentir con ..... que vas a realizar en el seminario (de 1 -nada- a 5 -mucho o intensamente-).

	Expectativa ante .....				
	1	2	3	4	5
<b>Alegría</b>					
<b>Frustración</b>					
<b>Satisfacción</b>					
<b>Nerviosismo</b>					
<b>Diversión</b>					
<b>Incertidumbre</b>					
<b>Entusiasmo</b>					
<b>Preocupación</b>					
<b>Confianza</b>					
<b>Aburrimiento</b>					

La línea de puntos varía en función de las prácticas implementadas, pudiendo ser:

- Una práctica de extracción de ADN
- Una práctica sobre microorganismos
- Una práctica de evolución molecular

**Modelos de cuestionarios empelados en los años académicos 2, 3, 4 y 5 tras la implementación de las prácticas activas diseñadas en la Tesis Doctoral**

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

**Sexo: V / H                      Modalidad de Bachillerato o FP realizada:**

**Escribe:** inicial del nombre de tu madre, inicial del nombre de tu padre, dos últimas cifras y letra de tu DNI (ej. MM54s):

Señala las emociones que has experimentado con ..... que vas a realizar en el seminario (de 1 -nada- a 5 -mucho o intensamente-).

	Emociones sentidas con .....				
	1	2	3	4	5
<b>Alegría</b>					
<b>Frustración</b>					
<b>Satisfacción</b>					
<b>Nerviosismo</b>					
<b>Diversión</b>					
<b>Incertidumbre</b>					
<b>Entusiasmo</b>					
<b>Preocupación</b>					
<b>Confianza</b>					
<b>Aburrimiento</b>					

La línea de puntos varía en función de las prácticas implementadas, pudiendo ser:

- La práctica de extracción de ADN
- La práctica sobre microorganismos
- La práctica de evolución molecular

**Anexo 7. Test Math-Biology Values Instrument original**

<b>The Math-Biology Values Instrument (MBVI)</b>	
<p>The following questions will ask you about your attitudes and values towards using math to understand biology. To help you answer these questions, think about the times in which you used math in your biology courses. If you have never used math in your biology courses, imagine how you would feel if your biology courses expected you to do math in order to understand the biology concepts presented.</p> <p>For the purpose of this survey, <b>math includes arithmetic, algebra, calculus, and statistics.</b></p>	
<b>Scale</b>	<b>Item</b>
<b>Interest</b>	<p>Using math to understand biology intrigues/would intrigue me.</p> <p>It is/would be fun to use math to understand biology.</p> <p>Using math to understand biology appeals/would appeal to me.</p> <p>Using math to understand biology is/would be interesting to me.</p>
<b>Utility Value</b>	<p>Math is valuable for me for my life science career.</p> <p>It is important for me to be able to do math for my career in the life sciences.</p> <p>An understanding of math is essential for me for my life science career.</p> <p>Math will be useful to me in my life science career.</p>
<b>Cost</b>	<p>I have/would have to work harder for a biology course that incorporates math than for one that does not.</p> <p>I worry/would worry about getting worse grades in a biology course that incorporates math than one that does not.</p> <p>Taking a biology course that incorporates math intimidates/would intimidate me.</p>
<p>All items have the following response options:            1 = strongly disagree; 2 = disagree; 3 = somewhat disagree; 4 = neither agree nor disagree; 5 = somewhat agree; 6 = agree; 7 = strongly agree.</p> <p>Instructors/researchers can use one, two, or all three of the scales that make up the MBVI.</p> <p>Mean scores for each scale will range from 1 (low) to 7 (high); a mean score of 4 indicates a student is neutral with respect to interest in, perceptions of usefulness of, or cost of doing mathematics in biology, while scores higher than 4 demonstrate increasing interest, perceptions of usefulness of mathematics, or higher cost. Scores lower than 4 demonstrate decreasing interest, perceptions of usefulness of mathematics, or lower cost. Thus, we strive for high interest and utility value scores for students, but low cost scores.</p> <p>Citation:            Andrews, S.E., Runyon, C., Aikens, M.L. (2017). The Math-Biology Values Instrument: Development of a tool to measure undergraduate life science majors' task-values toward using math in the context of biology. <i>CBE – Life Science Education</i> 16:ar45.</p>	



**Anexo 8. Cuestionario empleado para determinar el recuerdo de emociones académicas y de conocimientos básicos de Biología en Educación Primaria**

*Mi colegio es.....*

*Soy chico/chica*

**Responde a las siguientes preguntas sobre cómo te sientes en clase de Ciencias Naturales.**

**Señala de 1 (significa NADA) a 5 (significa MUY)**

- **Mientras escucho al profesor explicar Biología en clase me siento:**

	1 NADA	2	3	4	5 MUY
Alegre					
Aburrido					
Satisfecho					
Nervioso					
Asombrado					
Preocupado					

- **Cuando hago actividades prácticas de Biología como prácticas de laboratorio, trabajos en el campo... me siento:**

	1 NADA	2	3	4	5 MUY
Alegre					
Aburrido					
Satisfecho					
Nervioso					
Asombrado					
Preocupado					

**Lo que aprendo de Biología en clase de Ciencias Naturales es importante para mi vida fuera del colegio:**

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

**Para terminar, contesta a las siguientes preguntas (SOLO UNA RESPUESTA ES CORRECTA):**

**1/Algunas personas tienen el pelo liso y otras lo tienen rizado. ¿Qué determina que una persona nazca con el pelo liso o rizado?**

- El tipo de pelo que tengan sus padres
- El tipo de pelo que tengan sus hermanos
- El color de su pelo
- El color de su piel

**2/ ¿De dónde obtienen energía las plantas para fabricar su alimento?**

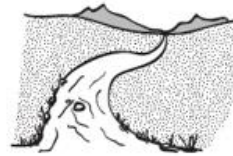
- Del aire
- De la tierra
- Del agua
- De la luz del Sol

**3/ Quique se hizo un corte en el dedo. Su cuerpo necesitaba energía para ayudarle a sanar la herida. ¿De dónde obtuvo la energía para sanar la herida?**

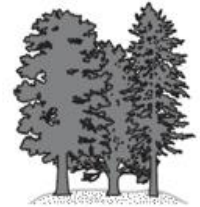
- a) De la venda que se puso en la herida
- b) De la pomada antiséptica que se puso en la herida
- c) De la comida que comió
- d) Del agua que bebió

**4/ Mira los cuatro dibujos. ¿Cuáles de estos dibujos representan cosas NO VIVAS?**

- a) Árboles y fuego
- b) Fuego y río
- c) Río y semillas
- d) Semillas y árboles



río



árboles



semillas



fuego

**5/ ¿Qué tienen en común pájaros, murciélagos y mariposas?**

- a) Plumas
- b) Pelo
- c) Esqueleto interno
- d) Alas

**6/ ¿Cuál es la mejor fuente de vitaminas y minerales?**

- a) El pan, el arroz y la pasta
- b) Las frutas y las verduras
- c) La leche y los productos lácteos
- d) La carne, el pescado y la carne de ave

**7/ Los osos polares y las morsas son muy distintos, pero ambos pueden sobrevivir en el frío extremo. Un oso polar tiene un grueso pelaje que le ayuda a mantenerse caliente. La morsa no tiene pelaje.**



oso polar



morsa

**¿Qué tienen las morsas para poder mantenerse calientes?**

- a) Bigotes
- b) Colmillos
- c) Capas de grasa
- d) Aletas



8/ ¿Cuál de estos animales tiene el esqueleto por fuera de su cuerpo?

(A)



gato

(B)



hormiga

(C)



pez

(D)



serpiente



**Anexo 9. Cuestionario empleado para determinar las emociones académicas, el valor y el conocimiento de Biología en la práctica de Microbiología de Educación Primaria**

**Pretest**

*Mi colegio es.....*

*Soy chico/chica*

*NÚMERO:.....*

**Vamos a realizar una actividad práctica relacionada con los microorganismos. ¿Cómo te sientes ante la perspectiva de realizar esta actividad? Señala de 1 (significa NADA) a 5 (significa MUY)**

	1 NADA	2	3	4	5 MUY
Alegre					
Aburrido					
Satisfecho					
Nervioso					
Asombrado					
Preocupado					

**Contesta a las siguientes preguntas (SOLO UNA OPCIÓN ES CORRECTA)**

- 1. ¿Qué afirmación es correcta sobre los microorganismos?**
  - a) Todos los microorganismos son malos y nos provocan enfermedades
  - b) Todos los microorganismos son buenos, ya que producen alimentos que nos comemos
  - c) Solo algunos microorganismos provocan enfermedades
  - d) Ningún microorganismo es bueno para los humanos
  
- 2. ¿Es posible ver a los microorganismos a simple vista?**
  - a) No, se necesita siempre un microscopio para poderlos ver
  - b) No, es imposible
  - c) Sí, pero tienen que juntarse millones
  - d) Ninguna de las opciones anteriores es correcta
  
- 3. ¿En cuál de los siguientes lugares no hay microorganismos?**
  - a) En una mesa limpia
  - b) En el aire de la clase o del patio
  - c) En un río o una charca
  - d) En todos los anteriores hay microorganismos
  
- 4. Señala la opción CORRECTA:**
  - a) Los virus, al igual que las bacterias, son seres vivos
  - b) Las bacterias son los seres vivos más sencillos que existen
  - c) Las levaduras son los seres vivos más sencillos que existen
  - d) Los virus son los seres vivos más sencillos que existen

**5. ¿Qué ocurre cuando nos lavamos las manos con jabón?**

- a) Matamos a todos los microorganismos
- b) Eliminamos solo a algunos microorganismos
- c) Solo nos quitamos el polvo
- d) Eliminamos todos los microbios y toda la suciedad

**6. ¿Por qué nos curamos las heridas con alcohol? Porque el alcohol:**

- a) Evita que nos salga sangre
- b) Mata a todos los microorganismos
- c) Refresca la zona de la herida
- d) Solo mata a algunos microorganismos

**7. Cuando nos comemos un yogur, estamos tomando:**

- a) Leche congelada
- b) Un alimento que tiene microorganismos muertos
- c) Un alimento que tiene microorganismos vivos
- d) Un alimento que no tiene ninguna relación con los microorganismos, igual que cuando comemos pan

**8. Los microorganismos:**

- a) Se utilizan para producir alimentos como el queso, la cerveza o el pan
- b) Algunos pueden provocar enfermedades como la gripe o la neumonía
- c) Algunos se utilizan para producir antibióticos
- d) Todas las respuestas son correctas

**9. Los virus:**

- a) Son seres vivos, porque están formados por células
- b) Son seres vivos que nos provocan enfermedades
- c) Son seres vivos que se alimentan, se reproducen y se relacionan
- d) No son seres vivos

**10. ¿Son las bacterias y las levaduras seres vivos?**

- a) No, ya que no están formados por células
- b) No, ya que se alimentan pero no se reproducen
- c) Sí, ya que están formados por células y se alimentan, reproducen y relacionan.
- d) No, ya que no se relacionan

## Postest

*Mi colegio es.....*

*Soy chico/chica*

*NÚMERO:.....*

**¿Cómo te has sentido al realizar la actividad práctica sobre los microorganismos? Señala de 1 (significa NADA) a 5 (significa MUY)**

	1 NADA	2	3	4	5 MUY
Alegre					
Aburrido					
Satisfecho					
Nervioso					
Asombrado					
Preocupado					

**¿Cómo valoras, de 0 a 10, lo que has aprendido de los microorganismos para tu vida diaria?**

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

**Contesta a las siguientes preguntas (SOLO UNA OPCIÓN ES CORRECTA)**

- 1. ¿Qué afirmación es correcta sobre los microorganismos?**
  - a) Todos los microorganismos son malos y nos provocan enfermedades
  - b) Todos los microorganismos son buenos, ya que producen alimentos que nos comemos
  - c) Solo algunos microorganismos provocan enfermedades
  - d) Ningún microorganismo es bueno para los humanos
  
- 2. ¿Es posible ver a los microorganismos a simple vista?**
  - a) No, se necesita siempre un microscopio para poderlos ver
  - b) No, es imposible
  - c) Sí, pero tienen que juntarse millones
  - d) Ninguna de las opciones anteriores es correcta
  
- 3. ¿En cuál de los siguientes lugares no hay microorganismos?**
  - a) En una mesa limpia
  - b) En el aire de la clase o del patio
  - c) En un río o una charca
  - d) En todos los anteriores hay microorganismos
  
- 4. Señala la opción CORRECTA:**
  - a) Los virus, al igual que las bacterias, son seres vivos
  - b) Las bacterias son los seres vivos más sencillos que existen
  - c) Las levaduras son los seres vivos más sencillos que existen
  - d) Los virus son los seres vivos más sencillos que existen

**5. ¿Qué ocurre cuando nos lavamos las manos con jabón?**

- a) Matamos a todos los microorganismos
- b) Eliminamos solo a algunos microorganismos
- c) Solo nos quitamos el polvo
- d) Eliminamos todos los microbios y toda la suciedad

**6. ¿Por qué nos curamos las heridas con alcohol? Porque el alcohol:**

- a) Evita que nos salga sangre
- b) Mata a todos los microorganismos
- c) Refresca la zona de la herida
- d) Solo mata a algunos microorganismos

**7. Cuando nos comemos un yogur, estamos tomando:**

- a) Leche congelada
- b) Un alimento que tiene microorganismos muertos
- c) Un alimento que tiene microorganismos vivos
- d) Un alimento que no tiene ninguna relación con los microorganismos, igual que cuando comemos pan

**8. Los microorganismos:**

- a) Se utilizan para producir alimentos como el queso, la cerveza o el pan
- b) Algunos pueden provocar enfermedades como la gripe o la neumonía
- c) Algunos se utilizan para producir antibióticos
- d) Todas las respuestas son correctas

**9. Los virus:**

- a) Son seres vivos, porque están formados por células
- b) Son seres vivos que nos provocan enfermedades
- c) Son seres vivos que se alimentan, se reproducen y se relacionan
- d) No son seres vivos

**10. ¿Son las bacterias y las levaduras seres vivos?**

- a) No, ya que no están formados por células
- b) No, ya que se alimentan pero no se reproducen
- c) Sí, ya que están formados por células y se alimentan, reproducen y relacionan.
- d) No, ya que no se relacionan

## **Anexo 10. Producción científica relacionada con la Tesis Doctoral**

En este apartado se recogen las publicaciones (artículos y capítulos de libro) y trabajos presentados a congresos (comunicaciones/pósters) relacionadas con la Tesis Doctoral.

### **Artículos en revistas científicas indexadas**

Marcos-Merino, J. M., Esteban, R., & Ochoa de Alda, J. A. G. (2016). Efecto de una práctica docente diseñada partiendo de las emociones de maestros en formación bajo el enfoque Ciencia, Tecnología y Sociedad. *Indagatio didactica*, 8(1), 143-157.

Marcos-Merino, J. M., & Esteban, R. (2017). Ideas alternativas sobre Biología de los maestros en formación: implicaciones de su presencia. *Campo Abierto: Revista de Educación*, 36(2), 169-176.

Marcos-Merino, J. M., Esteban, R., & Ochoa de Alda, J. A. G. (2019). Formando a futuros maestros para abordar los microorganismos mediante actividades prácticas. Papel de las emociones y valoraciones de los estudiantes. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 16(1), 1602.

Marcos-Merino, J. M. (2019). Análisis de las relaciones emociones-aprendizaje de maestros en formación inicial con una práctica activa de Biología. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 16(1), 1603.

Marcos-Merino, J. M., Esteban, R., & Ochoa de Alda, J. A. G. (2019). Extracción de ADN con material cotidiano: desarrollo de una estrategia interdisciplinar a partir de sus fundamentos científicos. *Educación Química*, 30(1), 59-69.

Esteban, R., Marcos-Merino, J. M., & Ochoa de Alda, J. A. G. (2019). Extracción de ADN con material cotidiano: diseño, implementación y validación de una intervención activa interdisciplinar. *Educación Química*, 30(1), 43-58.

Ochoa de Alda, J. A. G., Marcos-Merino, J. M., Méndez-Gómez, F. J., Mellado, V., & Esteban, R. (2019). Emociones académicas y aprendizaje de biología, una asociación duradera. *Enseñanza de las Ciencias*, 37(2), 43-61.

### **Capítulos de libro con ISBN**

Marcos-Merino, J. M., Esteban, R., & Ochoa de Alda, J. A. G. (2017). Física, química y biología en la extracción de DNA con material cotidiano. En P. Membiela, N. Casado, M. I. Cebreiros & M. Vidal (Eds.), *La enseñanza de las ciencias en el actual contexto educativo* (pp. 539-543). Ourense, España: Educación Editora.

Marcos-Merino, J. M. (2018). Detección de ideas previas alternativas de Biología Celular en maestros en formación y su relación con las emociones. En S. López, M. Urraco & D. Gallardo (Eds.), *Catálogo de Investigación Joven en Extremadura. Volumen II*, (pp. 241-246). Cáceres, España: Universidad de Extremadura, Servicio de Publicaciones.

Marcos-Merino, J. M., Esteban, R., & Ochoa de Alda, J. A. G. (2019). Análisis de las analogías propuestas por una muestra de maestros en formación para la enseñanza de conceptos de Ciencias Naturales. En P. Membiela, M. I. Cebreiros & M. Vidal (Eds.), *Panorama actual de la enseñanza de las ciencias* (pp. 383-387). Ourense, España: Educación Editora.

### **Comunicaciones en congresos internacionales**

Congreso: *I Innovative and Creative Education and Teaching International Conference (ICETIC)*

Autor: Marcos-Merino, J. M., Esteban, R., & Ochoa de Alda, J. A. G.

Título: Using factorial analysis to study changes in students' emotions with the implementation of an innovative teaching practice

Lugar de celebración: Badajoz, España                      Año: 2017

Congreso: 14th International Conference on Hands-on Science-Growing with Science

Autor: Marcos-Merino, J. M., Ochoa de Alda, J. A. G., & Esteban, R.

Título: Training Future Teachers to Introduce Microorganisms into a Primary Classroom through Hands-On Experiments

Lugar de celebración: Braga, Portugal                      Año: 2017

Congreso: European Science Education Research Association (ESERA) Conference 2017

Autor: Marcos-Merino, J. M., Esteban, R., & Ochoa de Alda, J. A. G.

Título: Gender bias in the association between long-lasting learning and past academic emotions

Lugar de celebración: Dublín, Irlanda                      Año: 2017

Congreso: X Congreso Internacional sobre Investigación de Didáctica de las Ciencias

Autor: Esteban, R., Marcos-Merino, J. M., & Ochoa de Alda, J. A. G.

Título: Introducción de la evolución molecular a través de una analogía lingüística

Lugar de celebración: Sevilla, España                      Año: 2017

Congreso: X Congreso Internacional sobre Investigación de Didáctica de las Ciencias

Autor: Marcos-Merino, J. M., Esteban, R., & Ochoa de Alda, J. A. G.

Título: Comprendiendo los relojes moleculares a través de la evolución de "El Quijote"

Lugar de celebración: Sevilla, España                      Año: 2017

Congreso: XVII Encontro Nacional de Educação em Ciências (XVII ENEC)/I Seminário Internacional de Educação em Ciências (I SIEC)

Autor: Marcos-Merino, J. M., Esteban, R., & Ochoa de Alda, J. A. G.

Título: Análisis de ideas previas alternativas sobre Biología en un grupo de maestros en formación de Educación Primaria

Lugar de celebración: Viana do Castelo, Portugal                      Año: 2017



Congreso: XVII Encontro Nacional de Educação em Ciências (XVII ENEC)/I Seminário Internacional de Educação em Ciências (I SIEC)

Autor: Marcos-Merino, J. M., Ochoa de Alda, J. A. G., & Esteban, R.

Título: Análisis de la efectividad de una práctica de Microbiología realizada con maestros en formación inicial

Lugar de celebración: Viana do Castelo, Portugal      Año: 2017

Congreso: II Innovative and Creative Education and Teaching International Conference (ICETIC)

Autor: Marcos-Merino, J. M., Ochoa de Alda, J. A. G., & Esteban, R.

Título: Cell Biology learning with an active practice based on guided research. Role of students' positive emotions

Lugar de celebración: Badajoz, España      Año: 2018

Congreso: 12th Conference of European Researches in Didactics of Biology (ERIDOB)

Autor: Marcos-Merino, J. M., Esteban, R., & Ochoa de Alda, J. A. G.

Título: Microbiology learning through homemade microorganisms' culture: role of students' emotions and values

Lugar de celebración: Zaragoza, España      Año: 2018

Congreso: II Congreso Luso-Extremadureño de Ciencia y Tecnología

Autor: Marcos-Merino, J. M., Esteban, R., & Ochoa de Alda, J. A. G.

Título: Enseñanza de los microorganismos mediante una práctica activa de laboratorio y su efecto en las emociones de los alumnos

Lugar de celebración: Badajoz, España      Año: 2018

Congreso: II Seminario Internacional de Investigación en Juventud

Autor: Marcos-Merino, J. M.

Título: Aprendizaje para la participación ciudadana: experiencias didácticas para abordar las interrelaciones CTS y su efecto en la motivación del alumnado

Lugar de celebración: Badajoz, España      Año: 2018

Congreso: Encontro Inovação no Ensino da Matemática e das Ciências 2019

Autor: Marcos-Merino, J. M., Esteban, R., & Ochoa de Alda, J. A. G.

Título: Enseñanza de conceptos de Biología evolutiva a futuros maestros mediante un enfoque interdisciplinar basado en analogías lingüísticas

Lugar de celebración: Santarém, Portugal      Año: 2019

Congreso: Encontro Inovação no Ensino da Matemática e das Ciências 2019

Autor: Marcos-Merino, J. M., Ochoa de Alda, J. A. G., & Esteban, R.

Título: Efecto de una práctica activa interdisciplinar basada en la extracción de ADN en las emociones experimentadas por una muestra de maestros en formación inicial

Lugar de celebración: Santarém, Portugal      Año: 2019

Congreso: VIII New Perspectives in Science Education  
Autor: Marcos-Merino, J. M., Esteban, R., & Ochoa de Alda, J. A. G.  
Título: Interactions between Learning and Emotions in Prospective Primary Teachers towards an Active Practice of Biology  
Lugar de celebración: Florencia, Italia                      Año: 2019

Congreso: VIII New Perspectives in Science Education  
Autor: Esteban, R., Marcos-Merino, J. M., & Ochoa de Alda, J. A. G.  
Título: Training Pre-Service Teachers to Connect Biology Teaching to Daily Life: Role of Positive Emotions  
Lugar de celebración: Florencia, Italia                      Año: 2019

Congreso: 7th International Congress of Educational Sciences and Development  
Autor: Marcos-Merino, J. M., Esteban, R., & Ochoa de Alda, J. A. G.  
Título: Cambios en las emociones de los futuros maestros tras la implementación de una práctica activa de Biología: evidencias de sesgos de género  
Lugar de celebración: Granada, España                      Año: 2019

Congreso: 7th International Congress of Educational Sciences and Development  
Autor: Marcos-Merino, J. M., Esteban, R., & Ochoa de Alda, J. A. G.  
Título: ¿Tienen las emociones un valor predictivo en el aprendizaje? Análisis de las relaciones entre la expectativa de emociones ante una práctica activa de Microbiología y los resultados de aprendizaje  
Lugar de celebración: Granada, España                      Año: 2019

Congreso: European Science Education Research Association (ESERA) Conference 2019  
Autor: Marcos-Merino, J. M., Esteban, R., & Ochoa de Alda, J. A. G.  
Título: Assessing emotions and task values towards the integrative use of Mathematics in Biology  
Lugar de celebración: Bolonia, Italia                      Año: 2019

Congreso: European Science Education Research Association (ESERA) Conference 2019  
Autor: Esteban, R., Marcos-Merino, J. M., & Ochoa de Alda, J. A. G.  
Título: Academic emotions towards a practice of Microbiology anticipate learning outcomes in pre-service teachers  
Lugar de celebración: Bolonia, Italia                      Año: 2019

Congreso: XVIII Encontro Nacional de Educação em Ciências (XVIII ENEC)/II Seminário Internacional de Educação em Ciências (II SIEC)  
Autor: Marcos-Merino, J. M., Esteban, R., & Ochoa de Alda, J. A. G.  
Título: Neurodidáctica: evidencias de la asociación emociones-aprendizaje de Biología durante la enseñanza activa de las ciencias  
Lugar de celebración: Oporto, Portugal                      Año: 2019

Congreso: International Centre for STEM Education Conference, Educating the Educators III  
Autor: Marcos-Merino, J. M., Esteban, R., & Ochoa de Alda, J. A. G.  
Título: Training prospective Primary teachers in Biology teaching through inquiry based: role of positive emotions anticipating learning  
Lugar de celebración: Friburgo, Alemania                      Año: 2019

Congreso: International Centre for STEM Education Conference, Educating the Educators III  
Autor: Marcos-Merino, J. M., Ochoa de Alda, J. A. G., & Esteban, R.  
Título: Memory of Biology Secondary knowledge can condition current negative emotions of prospective Primary teachers towards Biology Education  
Lugar de celebración: Friburgo, Alemania                      Año: 2019

### **Comunicaciones en congresos nacionales**

Congreso: II Congreso Multidisciplinar de Jóvenes Investigadores de Extremadura  
Autor: Marcos-Merino, J. M.  
Título: Enseñanza-aprendizaje de la Biología Celular mediante Investigación Dirigida en el grado de Educación Primaria. Papel de las emociones  
Lugar de celebración: Badajoz, España                      Año: 2016

Congreso: X Seminario Formativo de Investigación en Didácticas Específicas  
Autor: Marcos-Merino, J. M.  
Título: Emociones en la enseñanza de la Biología Celular mediante Investigación Dirigida  
Lugar de celebración: Huelva, España                      Año: 2016

Congreso: I Workshop Estudiar Ciencias: “Creando vocaciones científicas”  
Autor: Marcos-Merino, J. M., Esteban, R., & Ochoa de Alda, J. A. G.  
Título: Influencia de las emociones en el aprendizaje de Genética mediante una práctica de enfoque investigativo  
Lugar de celebración: Badajoz, España                      Año: 2016

Congreso: 27 Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales  
Autor: Ochoa de Alda, J. A. G., Marcos-Merino, J. M., Méndez-Gómez, F. J., & Esteban, R.  
Título: Las emociones en el aprendizaje de Biología: evidencias de una asociación duradera  
Lugar de celebración: Badajoz, España                      Año: 2016

Congreso: Seminario de Investigación del Programa de Doctorado R017 “Investigación en la enseñanza y el aprendizaje de las Ciencias Experimentales, Sociales, Matemáticas y la Actividad Física y Deportiva”  
Autor: Marcos-Merino, J. M.  
Título: Emociones y aprendizaje en las actividades prácticas de Biología en Educación Primaria y en el grado de maestro en Educación Primaria  
Lugar de celebración: Badajoz, España                      Año: 2016

Congreso: III Congreso Multidisciplinar de Jóvenes Investigadores de Extremadura  
Autor: Marcos-Merino, J. M.  
Título: El análisis factorial como herramienta para el estudio de la emociones experimentadas por los alumnos hacia distintos contextos académicos  
Lugar de celebración: Badajoz, España                      Año: 2017

Congreso: Seminario de Investigación del Programa de Doctorado R017 “Investigación en la enseñanza y el aprendizaje de las Ciencias Experimentales, Sociales, Matemáticas y la Actividad Física y Deportiva”  
Autor: Marcos-Merino, J. M.  
Título: Papel de las emociones en las actividades prácticas de aprendizaje activo de Biología  
Lugar de celebración: Badajoz, España                      Año: 2018

Congreso: 28 Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales  
Autor: Esteban, R., Marcos-Merino, J. M., & Ochoa de Alda, J. A. G.  
Título: Relación entre las emociones y el valor atribuidos por los maestros en formación a la tarea de aplicar Matemáticas en la enseñanza de Biología  
Lugar de celebración: La Coruña, España                      Año: 2018

Congreso: Seminario de Investigación del Programa de Doctorado R017 “Investigación en la enseñanza y el aprendizaje de las Ciencias Experimentales, Sociales, Matemáticas y la Actividad Física y Deportiva”  
Autor: Marcos-Merino, J. M.  
Título: Emociones y aprendizaje activo de Biología en la formación inicial de maestros  
Lugar de celebración: Badajoz, España                      Año: 2019

Congreso: IV Workshop Estudiar Ciencias: “Creando vocaciones científicas”  
Autor: Marcos-Merino, J. M., Esteban, R., & Ochoa de Alda, J. A. G.  
Título: Los microorganismos de nuestro colegio: abordando la Microbiología mediante actividades prácticas en Educación Primaria  
Lugar de celebración: Badajoz, España                      Año: 2019

#### **Pósters presentados en congresos internacionales**

Congreso: I Innovative and Creative Education and Teaching International Conference (ICETIC)  
Autor: Marcos-Merino, J. M., Ochoa de Alda, J. A. G., & Esteban, R.  
Título: Innovative teaching of molecular phylogeny: approaching lateral gene transfer using a linguistic analogy  
Lugar de celebración: Badajoz, España                      Año: 2017

Congreso: 14th International Conference on Hands-on Science-Growing with Science  
Autor: Marcos-Merino, J. M., Esteban, R., & Ochoa de Alda, J. A. G.  
Título: Explaining Molecular Genetics in Secondary School through a Linguistic Analogy: a Practical Activity to Work Mutations and Changes in Open Reading Frame  
Lugar de celebración: Braga, Portugal                      Año: 2017

Congreso: Seminario Internacional Escuelas promotoras de salud y objetivos de desarrollo sostenible  
Autor: Marcos-Merino, J. M.  
Título: Enseñanza de Microbiología a través de su relación con la salud humana: un enfoque práctico implementado en la formación inicial de maestros  
Lugar de celebración: Cáceres, España                      Año: 2017

Congreso: 12th Conference of European Researches in Didactics of Biology (ERIDOB)  
Autor: Marcos-Merino, J. M., Esteban, R., & Ochoa de Alda, J. A. G.  
Título: Training pre-service teachers to approach interdisciplinary: learning Physics and Chemistry at Biology lessons  
Lugar de celebración: Zaragoza, España                      Año: 2018

Congreso: III Congreso Luso-Extremadurensis de Ciencia y Tecnología  
Autor: Marcos-Merino, J. M., Esteban, R., & Ochoa de Alda, J. A. G.  
Título: La competencia en Biología (en el sentido de TIMSS) de los alumnos de Educación Primaria al finalizar la etapa  
Lugar de celebración: Évora, Portugal                      Año: 2019

### **Pósters presentados en congresos nacionales**

Congreso: II Workshop Estudiar Ciencias: “Creando vocaciones científicas”  
Autor: Marcos-Merino, J. M., Esteban, R., & Ochoa de Alda, J. A. G.  
Título: Construyendo un árbol filogenético de palabras: un enfoque interdisciplinar para la enseñanza de la evolución  
Lugar de celebración: Badajoz, España                      Año: 2017

Congreso: IV Workshop Estudiar Ciencias: “Creando vocaciones científicas”  
Autor: Marcos-Merino, J. M., Ochoa de Alda, J. A. G., & Esteban, R.  
Título: Las emociones de los alumnos de Educación Primaria hacia las clases de ciencias: influencia de la metodología empleada  
Lugar de celebración: Badajoz, España                      Año: 2019