



## **UNIVERSIDAD DE MURCIA**

ESCUELA INTERNACIONAL DE DOCTORADO

Conocimientos, actitudes e intereses de  
estudiantes de Educación Secundaria Obligatoria y  
Bachillerato hacia la biotecnología

**Cristina Ruiz González**

**2020**



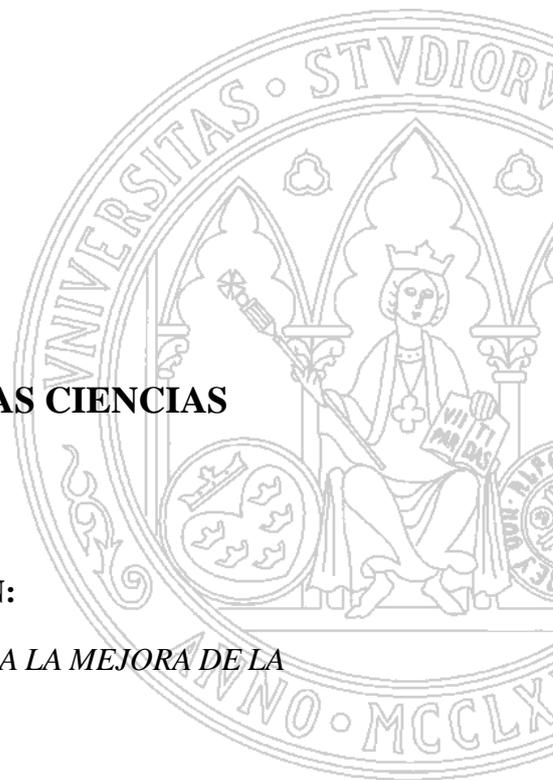
**UNIVERSIDAD DE MURCIA**

**FACULTAD DE EDUCACIÓN**

**DEPARTAMENTO DE DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS  
EXPERIMENTALES**

**PROGRAMA DE DOCTORADO EN EDUCACIÓN:**

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: *INVESTIGACIÓN PARA LA MEJORA DE LA  
EDUCACIÓN EN LAS DIDÁCTICAS ESPECÍFICAS***



## **TESIS DOCTORAL**

# ***CONOCIMIENTOS, ACTITUDES E INTERESES DE ESTUDIANTES DE EDUCACIÓN SECUNDARIA OBLIGATORIA Y BACHILLERATO HACIA LA BIOTECNOLOGÍA***

Realizada por: *D<sup>a</sup>. Cristina Ruiz González*

Dirigida por: *Dra. Luisa López Banet y Dr. Enrique Ayuso Fernández*

Tutor: *Dr. Enrique Banet Hernández*

*Murcia, 2020*



*“La ciencia más útil, es aquella cuyo fruto  
es el más comunicable”.*

*Leonardo Da Vinci*



## AGRADECIMIENTOS

*En primer lugar, quiero mostrar mi agradecimiento a los y las estudiantes que han participado en el estudio realizado, ya que, sin ellos, esta investigación no podría haberse llevado a cabo, pero es que, además, tampoco tendría sentido. También, me gustaría agradecer a sus profesores la buena disposición que presentaron a la hora de prestar su valioso tiempo, así como reconocer su gran labor.*

*Las sugerencias y comentarios, siempre con excelente criterio, de mis directores de tesis Luisa López Banet y Enrique Ayuso Fernández han resultado indispensables para que este trabajo, sea hoy lo que es. Además, los consejos y sugerencias de mi tutor, Enrique Banet Hernández, han sido de gran ayuda durante todo el desarrollo de esta investigación, y su sabiduría y experiencia la han guiado en todo momento. A los tres, por vuestra profesionalidad, pero sobre todo por vuestra calidez humana, gracias.*

*Me gustaría agradecer la financiación concedida por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades de España a través del proyecto "Desarrollo de la competencia profesional en el ámbito científico en la formación de profesores" (PGC2018-097988-A-I00), que incluye subvención europea con fondos FEDER, correspondiente a la convocatoria 2018 de Proyectos I+D de Generación de Conocimiento 2018.*

*De manera especial, quiero dar las gracias a mis padres por todo su apoyo, porque ellos me han ayudado a ser la persona que hoy soy, pero también a comprender qué es lo que quiero y aprender a buscarlo. Pepe e Isabel, os quiero.*

*A mi hermana Yolanda, por la alegría que siempre desprende, sin la que yo no sería la misma y sin la que la realización de esta tesis doctoral me habría costado un poco más. Pero sobre todo, por ser mi compañera en la vida.*

*A Paco le agradezco su infinita bondad y comprensión, así como su apoyo incondicional, porque los momentos que he pasado redactando esta tesis no se los he dedicado a él.*

*Por último, agradecer también a mis familiares, a mis amigas y amigos y a mis compañeras y compañeros de trabajo todo su apoyo.*

*Aquí va uno de mis mayores sueños, esta tesis doctoral, que tanto esfuerzo ha supuesto, pero que no es nada comparado con la alegría y satisfacción de haber concluido un período de enorme aprendizaje, no sólo académico sino también personal.*

*Gracias.*



## ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN.....	1
II.MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. La biotecnología: definición y aplicaciones, regulación actual, relación con controversias sociocientíficas y con el currículo .....	7
2.1.1. Sobre qué se va a investigar y fundamentación teórica.....	7
2.1.2. Definición de biotecnología.....	8
2.1.3. Clasificación de los ámbitos de aplicación de la biotecnología .....	17
2.1.4. Situación actual de la regulación en aspectos relacionados con biotecnología.....	23
2.1.5. Competencia matemática y competencias básicas en ciencia y tecnología. Genética y biotecnología en el currículo .....	24
2.1.6. Genética, biotecnología y controversias sociocientíficas .....	32
2.2. Estudio de la genética en educación secundaria: enseñanza-aprendizaje de los contenidos .....	33
2.2.1. Importancia de la enseñanza-aprendizaje de genética en enseñanza secundaria. Genética, constructivismo e ideas de los estudiantes .....	33
2.2.2. Ideas sobre genética de estudiantes de enseñanza secundaria .....	35
2.3. Estudio de la biotecnología en enseñanza secundaria .....	37
2.3.1. Importancia del estudio de biotecnología en enseñanza secundaria. Biotecnología como relación de ciencia y tecnología .....	37
2.3.2. Qué se sabe del conocimiento de los estudiantes en biotecnología... ..	39
2.3.3. Qué se sabe sobre la actitud de los estudiantes hacia la biotecnología... ..	43
2.3.4. Qué se sabe sobre el interés de los estudiantes hacia la biotecnología... ..	47

2.3.5. Relaciones entre conocimientos, actitud e interés hacia la biotecnología...	48
2.4. Argumentación de los estudiantes en clase de ciencias y cómo trabajarla desde el enfoque de la biotecnología.....	49
2.4.1. Un modelo para analizar las justificaciones de los estudiantes sobre controversias sociocientíficas en biotecnología .....	49
2.4.2. Entrevistas semiestructuradas para conocer cómo razonan los estudiantes.....	51
III. PROBLEMAS DE INVESTIGACIÓN.....	53
3.1. Relacionados con los conocimientos básicos en genética de los estudiantes que acaban Educación Secundaria Obligatoria.....	55
3.2. Relacionados con el estudio de conocimientos de estudiantes que inician el Bachillerato sobre nociones básicas de genética y su influencia en las aplicaciones de la biotecnología.....	56
3.3. Relacionados con el conocimiento, actitud e interés hacia la biotecnología en estudiantes que finalizan el Bachillerato y las relaciones entre estos tres constructos.....	57
3.4. Relacionados con el estudio de las justificaciones de los estudiantes de 2º de Bachillerato sobre controversias sociocientíficas en biotecnología .....	58
IV. METODOLOGÍA.....	59
4.1. Para el estudio de los conocimientos en genética de los estudiantes que acaban Educación Secundaria Obligatoria .....	61
4.2. Para el estudio de los conocimientos de estudiantes que inician el Bachillerato acerca de nociones básicas en genética y su influencia en las aplicaciones de la biotecnología.....	66
4.3. Para el estudio del conocimiento, actitud e interés hacia biotecnología en estudiantes que finalizan el Bachillerato y las relaciones entre estos tres constructos.....	68

4.4. Para el estudio de las justificaciones de los estudiantes de 2° de Bachillerato sobre controversias sociocientíficas en biotecnología .....	73
--	----

## V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... 79

5.1. Sobre los conocimientos en genética de los estudiantes que terminan Educación Secundaria Obligatoria .....	81
---	----

5.1.1. Herencia de los caracteres.....	82
--	----

5.1.2. Información hereditaria en diferentes seres vivos.....	84
---	----

5.1.3. Localización de la información hereditaria.....	86
--	----

5.1.4. Información hereditaria en diferentes tipos celulares .....	87
--	----

5.1.5. Procesos de división celular.....	89
--	----

5.1.6. Mutaciones y sus efectos.....	91
--------------------------------------	----

5.1.7. Causas de variabilidad .....	95
-------------------------------------	----

5.2. Sobre los conocimientos de estudiantes que inician el Bachillerato acerca de nociones básicas en genética y su influencia en las aplicaciones de la biotecnología....	96
--	----

5.2.1. Localización de la información hereditaria en seres vivos .....	96
--	----

5.2.2. Mecanismos de reproducción.....	97
--	----

5.2.3. Noción de gen, alelo y ADN.....	98
--	----

5.2.4. Identificación de aplicaciones de la biotecnología .....	99
---	----

5.2.5. Grado de conocimiento de algunas aplicaciones de la biotecnología... ..	100
--	-----

5.2.6. Valoración de afirmaciones sobre conocimientos básicos de la biotecnología... ..	101
---	-----

5.3. Sobre el conocimiento, actitud e interés hacia biotecnología en estudiantes que finalizan el Bachillerato y las relaciones entre estos tres constructos.....	102
5.3.1. Grado de conocimiento sobre algunas aplicaciones en biotecnología....	102
5.3.2. Grado de acuerdo con algunas sentencias sobre biotecnología que requieren conocimiento básico en genética.....	103
5.3.3. Actitud hacia diferentes aplicaciones de la biotecnología .....	104
5.3.4. Interés hacia diferentes aplicaciones de la biotecnología .....	107
5.3.5. Correlación entre conocimiento, actitud e interés hacia biotecnología....	108
5.4. Sobre el estudio de las justificaciones de los estudiantes de 2° de Bachillerato sobre controversias sociocientíficas en biotecnología .....	109
5.4.1. Alimentos transgénicos .....	111
5.4.2. Biorremediación.....	116
5.4.3. Biofarmacología.....	120
5.4.4. Biotecnología industrial .....	125
<b>VI. CONCLUSIONES E IMPLICACIONES EDUCATIVAS.....</b>	<b>131</b>
6.1. Relacionadas con los conocimientos básicos en genética de estudiantes que acaban Educación Secundaria Obligatoria .....	133
6.2. Relacionadas con los conocimientos de estudiantes que inician el Bachillerato acerca de nociones básicas en genética y su influencia en las aplicaciones de la biotecnología.....	136
6.3. Relacionadas con el conocimiento, actitud e interés hacia la biotecnología en estudiantes que finalizan el Bachillerato y las relaciones entre estos tres constructos..	137

6.4. Relacionadas con el estudio de las justificaciones de los estudiantes de 2° de Bachillerato sobre controversias sociocientíficas en biotecnología .....	141
6.5. Conclusiones, reflexiones y limitaciones de la investigación finales.....	144
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	147
ANEXO I. CONTENIDOS, CRITERIOS DE EVALUACIÓN Y ESTÁNDARES DE APRENDIZAJE EVALUABLES RELACIONADOS CON BIOTECNOLOGÍA EN 4° DE ESO, 1° Y 2° DE BACHILLERATO .....	165
ANEXO II. CUESTIONARIO SOBRE CONOCIMIENTO BÁSICO EN GENÉTICA .....	172
Herencia de los caracteres .....	172
Información hereditaria en diferentes seres vivos .....	173
Localización de la información hereditaria .....	173
Información hereditaria en diferentes tipos celulares.....	173
Procesos de división celular.....	174
Mutaciones y sus efectos .....	175
Causas de variabilidad .....	177
ANEXO III. MODELOS DE PENSAMIENTO SOBRE HERENCIA BIOLÓGICA .....	178
ANEXO IV. CUESTIONARIO SOBRE NOCIONES BÁSICAS DE GENÉTICA Y SU INFLUENCIA EN LAS APLICACIONES DE LA BIOTECNOLOGÍA .....	179
Localización de la información hereditaria en los seres vivos y mecanismos de reproducción .....	179
Noción de gen, alelo y ADN.....	179
Identificación de aplicaciones de biotecnología.....	179
Grado de conocimiento de algunas aplicaciones de la biotecnología .....	179

Valoración de afirmaciones sobre conocimientos básicos de la biotecnología...	180
ANEXO V. DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS ENTRE CENTROS DE 1º DE BACHILLERATO .....	181
ANEXO VI. CUESTIONARIO SOBRE CONOCIMIENTO, ACTITUD E INTERÉS SOBRE BIOTECNOLOGÍA .....	184
Grado de conocimiento sobre algunas aplicaciones en biotecnología .....	184
Grado de acuerdo con algunas sentencias sobre biotecnología que requieren conocimiento básico en genética .....	184
Actitud hacia diferentes aplicaciones de la biotecnología .....	185
Interés hacia diferentes aplicaciones de la biotecnología .....	186
ANEXO VII. GRÁFICOS DE DISPERSIÓN CORRELACIÓN CONOCIMIENTO-ACTITUD-INTERÉS .....	187
ANEXO VIII. ENTREVISTAS SEMIESTRUCTURADAS SOBRE BIOTECNOLOGÍA ....	188
Entrevista sobre conocimientos y actitudes hacia el consumo y etiquetado de alimentos transgénicos en Bachillerato .....	188
Entrevista sobre conocimientos y actitudes hacia la biorremediación en Bachillerato.....	190
Entrevista sobre conocimientos y actitudes hacia la obtención de fármacos y hormonas mediante procesos de Ingeniería genética en Bachillerato .....	192
Entrevista sobre conocimientos y actitudes hacia la biotecnología industrial en Bachillerato .....	194
ANEXO IX. CODIFICACIÓN DE LAS ENTREVISTAS SEMIESTRUCTURADAS CON ATLAS.TI VERSIÓN 8.....	196
Codificación entrevista sobre conocimientos y actitudes hacia el consumo y etiquetado de alimentos transgénicos en Bachillerato.....	196

Codificación entrevista sobre conocimientos y actitudes hacia la biorremediación en Bachillerato.....	197
Codificación entrevista sobre conocimientos y actitudes hacia la obtención de fármacos y hormonas mediante procesos de Ingeniería genética en Bachillerato.....	198
Codificación entrevista sobre conocimientos y actitudes hacia la biotecnología industrial en Bachillerato .....	199
LISTADO DE FIGURAS .....	200
LISTADO DE TABLAS.....	200



## RESUMEN

La biotecnología es un área de la ciencia con multitud de aplicaciones en diferentes ámbitos (médico, nutricional, medioambiental, industrial...) que generan bienes y servicios que el ser humano utiliza, pero que, en ocasiones, están relacionados con controversias sociocientíficas. Los y las estudiantes\* de educación secundaria deben adquirir durante su período de educación formal, conocimientos que les permitan comprender la ciencia que les rodea, es decir, una alfabetización científica y tecnológica. Pero no solo deberían adquirir conocimientos, sino también habilidades tales como la argumentación, que les ayuden a poder expresar y debatir adecuadamente su actitud o decisión ante determinadas situaciones relacionadas con la ciencia.

## OBJETIVOS

Los principales objetivos de este trabajo son cuatro: conocer qué conocimientos tienen los estudiantes que se encuentran finalizando la ESO acerca de la genética; cuáles son los conocimientos de los estudiantes de 1º de Bachillerato sobre genética y las aplicaciones de la biotecnología y de qué manera están relacionados; y cuáles son los conocimientos, las actitudes e intereses de los estudiantes de 2º de Bachillerato sobre la biotecnología, así como la determinación de la correlación entre ambos. Finalmente, el cuarto objetivo se centra en estudiar cómo argumentan los estudiantes sus puntos de vista sobre la biotecnología y de qué manera emplean los conocimientos y actitudes anteriormente determinados.

## METODOLOGÍA

Para los tres primeros objetivos de la investigación, se han empleado tres cuestionarios diferentes, elaborados para los diferentes fines de la investigación, y que fueron administrados a una muestra de estudiantes de 4º de ESO, 1º de Bachillerato y 2º de Bachillerato. El análisis de los cuestionarios se realizó empleando estrategias tanto cualitativas como cuantitativas, pero predominando estas últimas, con análisis estadísticos a partir del programa SPSS.

\*Se menciona indistintamente, a lo largo del presente trabajo, el género femenino y masculino.

Para el último objetivo de la investigación, se diseñaron cuatro entrevistas semiestructuradas sobre diferentes ámbitos de la biotecnología y fueron administradas a 21 estudiantes de 2º de Bachillerato. El análisis de los resultados de esta última parte, se llevó a cabo de manera cualitativa, empleando el programa Atlas.Ti.

#### RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Los estudiantes de 4º de ESO tienen ideas acerca de algunas nociones relacionadas con la Herencia Biológica, a pesar de no haberlos estudiado antes. Estos puntos de vista podrían ser contruidos por influencias extraescolares (medios de comunicación, nociones intuitivas) y algunos conocimientos desarrollados en el ámbito educativo (la célula, por ejemplo). Aunque algunas de estas ideas coinciden con las correctas, muchas se alejan del pensamiento científico y son similares a los descritos por otros autores, tanto en España, como en otros contextos educativos. La mayoría de ideas identificadas antes de abordar, por primera vez, el estudio de genética, se mantienen después de la enseñanza de estos contenidos.

En 1º de Bachillerato, hay conocimientos básicos sobre genética para poder comprender a nivel elemental las aplicaciones de la biotecnología, que son mejorables. Además, en este ámbito, los estudiantes muestran escasos conocimientos (en cuanto al número de aplicaciones que son capaces de identificar y también, a la naturaleza de las mismas, incluso de aquellas socialmente más divulgadas). Por otra parte, los institutos de enseñanza secundaria con mejores conocimientos de genética y de las aplicaciones de la biotecnología, no siempre coinciden.

Los estudiantes de 2º de Bachillerato conocen algunas aplicaciones biotecnológicas, pero aún presentan errores importantes que muestran que hay conceptos que no se transfieren del aprendizaje en genética que han realizado previamente, a la biotecnología, lo cual va a dificultar que profundicen en las aplicaciones biotecnológicas más allá de citar los típicos ejemplos que suelen presentarse en los libros de texto. Por lo tanto, el grado de conocimiento sobre conceptos básicos en biotecnología y sus diferentes aplicaciones se podría mejorar (teniendo en cuenta el nivel educativo de los estudiantes). Con respecto a las actitudes, destacamos que estas dependerán no solo de la aplicación y el propósito de la misma, sino también del tipo de organismo involucrado. Los estudiantes de nuestra muestra no están demasiado informados sobre biotecnología a través de los medios de comunicación, pero creen que

les será útil en el futuro. Por último, aunque parece que sí hay correlación, y que, en general, un mayor conocimiento suele estar relacionado con mayor aceptación, hay otros factores como el afectivo, que pueden determinar una aceptación baja. Es enormemente complejo determinar las relaciones entre conocimiento actitud e interés porque se trata de constructos multidimensionales, determinados por factores cognitivos, afectivos y conductuales.

En cuanto a la argumentación en biotecnología, es muy escaso el número de veces en las que los estudiantes aportan argumentos a favor y contra mostrando la contraposición y el contraste de ideas para finalmente posicionarse de cierta manera. Por el contrario, parece que una decisión del estudiante, suele estar asociada a una única justificación (pro o contra), de tipo cognoscitivo o actitudinal, o ambos (en ocasiones utilizan uno, pero llevan implícito el otro). Parece que las entrevistas, realizadas de un modo flexible a partir de un guion previo que se va adaptando a las respuestas de los estudiantes (semiestructuradas), permiten establecer una buena aproximación a los conocimientos de los estudiantes sobre las diferentes aplicaciones de la biotecnología por las que se pregunta y a qué valoran a la hora de adoptar una determinada actitud como posibles consumidores.

Resultan muy novedosos los resultados y conclusiones obtenidos sobre los conocimientos, las actitudes y las argumentaciones en los temas relacionados con biorremediación y biotecnología industrial y, en esos aspectos, este trabajo resulta pionero, ya que anteriormente, ninguna investigación se había enfocado en estas aplicaciones de la biotecnología, centrándose la mayoría en ámbitos como el médico o el alimentario.

#### PALABRAS CLAVE

Genética, biotecnología, conocimiento, actitud, interés.



## ABSTRACT

Biotechnology is an area of science with many applications in different ambits (medical, nutritional, environmental, industrial, ...). During their formal education period, Secondary School students must acquire knowledge that will allow them to understand science around them, that is, a scientific and technological literacy. But not only we should acquire knowledge, but also story skills such as argumentation, that help them to identify and discuss their attitude or decision in certain situations related to science.

## OBJECTIVES

The main objectives of this work are four: to know what knowledge students have who are finishing the ESO have about genetics; what are the knowledge of the students of 1st Bachelor of Genetics and the applications of Biotechnology and how they are related; and what are the knowledge, attitude and interest of the students of 2nd Bachelor of Biotechnology, as well as the determination of the correlation between them. Finally, the fourth objective is to study how students argue their views on Biotechnology and how they use the knowledge and attitudes previously determined.

## METHODOLOGY

For the first three objectives of the research, three different questionnaires have been used, developed for the different purposes of the research, and which were administered to a sample of students from 4th grade students of Secondary Education, 1st of Baccalaureate and 2nd of Baccalaureate. The analysis of the questionnaires was carried out using both qualitative and quantitative strategies, but the latter predominant, with statistical analysis based on the SPSS program.

For the last objective of the research, four semi-structured interviews were designed on different areas of Biotechnology and were administered to 21 students of 2nd Baccalaureate. The analysis of the results in this last part was carried out qualitatively, using the Atlas.Ti program.

## RESULTS AND CONCLUSIONS

4th grade students of Secondary Education have ideas about some notions related to Biological Inheritance, despite not having studied them before. These points of view could be constructed by extracurricular influences (media, intuitive notions) and some knowledge developed in the educational field (the cell, for example). Although some of these ideas coincide with the correct ones, many depart from scientific thinking and are similar to those described by other authors, both in Spain and in other educational contexts. The majority of ideas identified before addressing, for the first time, the study of genetics, are maintained after the teaching of these contents.

In 1st of Baccalaureate, there is basic knowledge about Genetics to be able to understand at elementary level the applications of Biotechnology, which are improvable. In addition, in this area, students show little knowledge (in terms of the number of applications they are able to identify and also, the nature of them, even those most socially disclosed). On the other hand, high schools with better knowledge of Genetics and Biotechnology applications do not always coincide.

The students of 2nd of Baccalaureate know some biotechnological applications, but they still have errors of important concepts which shows that there are concepts that do not transfer from the learning in Genetics that they have previously done, to Biotechnology, which will make it difficult to deepen the applications Biotechnology beyond citing the typical examples that are usually presented in textbooks. Therefore, the degree of knowledge about basic concepts in Biotechnology and its different applications could be improved (taking into account the educational level of the students). Regarding the attitude, we emphasize that this will depend not only on their application and purpose, but also on the type of organism involved. The students in our sample are not too informed about Biotechnology through the media but believe that Biotechnology will be useful in the future. Finally, although it seems that there is a correlation, and that, in general, greater knowledge is usually related to greater acceptance, there are other factors such as affective, which can determine low acceptance. It is enormously complex to determine the relationships between knowledge, attitude and interest because these are multidimensional constructs, determined by cognitive, affective and behavioural factors.

As for the argumentation in Biotechnology, the number of times in which students contribute arguments for and against showing the contrast and contrast of ideas to finally position themselves in a certain way is very small. On the contrary, it seems that a student's decision is usually associated with a single justification (pro or contra), cognitive or attitudinal, or both (sometimes they use one but implicitly carry the other). It seems that the interviews, conducted in a flexible way from a previous script that adapts to the responses of the students (semi-structured), allow us to establish a good approximation to the students' knowledge about the different applications of Biotechnology by who wonders what they value when adopting a certain attitude as potential consumers.

The results and conclusions on knowledge, attitude and arguments on issues related to bioremediation and industrial biotechnology are very novel and, in these aspects, this work is pioneering, since previously, no research had focused on these applications of biotechnology, focusing mostly on areas such as medical or food.

#### KEYWORDS

Genetics, Biotechnology, knowledge, attitude, interest.



# I. INTRODUCCIÓN



## I. INTRODUCCIÓN

El principal objetivo de esta investigación es analizar en qué medida es conocida, con qué actitud valorada y qué interés suscita entre los estudiantes de los niveles académicos más altos en la enseñanza secundaria en España, la biotecnología. Para ello, primero se expone el porqué de la elección de la biotecnología, qué la hace un área de interés científico y cuya didáctica podría tener repercusiones favorables en el alumnado, siendo algunos de los principales motivos, entre otros, la diversidad de saberes científicos que aúna, así como su utilidad para tratar las controversias sociocientíficas en el aula como medio para el desarrollo de la alfabetización científica.

La presente tesis doctoral muestra un trabajo gradual que parte de la necesidad de analizar cuál es la situación de enseñanza y aprendizaje de la biotecnología en España, ampliando la muestra y variando los métodos de recogida de información y análisis de la misma con el objetivo de presentar tanto conocimientos como opiniones de los estudiantes de secundaria sobre biotecnología y sus aplicaciones.

La evolución del trabajo ha partido del análisis de los conocimientos relacionados con genética y herencia biológica en estudiantes de último curso de Educación Secundaria Obligatoria (4º ESO) en España, con objeto de completar la información (extensa ya sobre este ámbito) para nuestro contexto educativo. El análisis e interpretación de estos resultados llevó al planteamiento de la siguiente fase de la investigación, saber qué conocen y cómo valoran los estudiantes de 1º Bachillerato diferentes aspectos relacionados con genética y algunas de sus aplicaciones sociales (biotecnología). Posteriormente, y en vista de los resultados obtenidos, planteamos realizar un tratamiento más exhaustivo del ámbito biotecnológico, elaborando un cuestionario específico para el estudio del conocimiento, actitud e interés sobre la misma, diferenciando sus distintos ámbitos de aplicación (salud, nutrición, medio ambiente e industria) y dirigido a 2º de Bachillerato, nivel académico previo a la universidad. Pero además, y tras la revisión de estos resultados, no queríamos que este trabajo terminara exponiendo cuáles eran el conocimiento, actitud e interés de nuestros estudiantes al terminar la educación secundaria (2º de Bachillerato) sin indagar cuáles de estos conocimientos y valores tenían en cuenta para posicionarse a favor o en contra de una aplicación concreta de la biotecnología (una por ámbito analizado) y, además, profundizar en el tipo de análisis argumentativo empleado, proponiendo así el estudio

de la biotecnología como una herramienta de valor para el trabajo de la argumentación sobre controversias sociocientíficas en el aula.

Uno de los principales papeles que tiene la enseñanza de las ciencias es el de permitir a los estudiantes desarrollar un conocimiento profundo de aquello que les rodea y dotarlos de un discurso relevante sobre la ciencia en la vida cotidiana. La biotecnología constituye un área de la ciencia que cada vez está adquiriendo mayor impacto en nuestra sociedad (Dawson, 2007). Esto implica que los ciudadanos sean capaces de entender sus nociones más elementales, con objeto de que dispongan de las herramientas intelectuales adecuadas que, en su caso, les permitan tomar decisiones informadas en lo referente a sus aplicaciones en la vida cotidiana (Fonseca, Costa, Lencastre y Tavares, 2012).

En el Proyecto OCDE/PISA (Gil, Fernández, Rubio y López, 2000) se define la formación científica como:

La capacidad de emplear el conocimiento científico para identificar preguntas y sacar conclusiones a partir de pruebas, con el fin de comprender y ayudar a tomar decisiones acerca del mundo natural y de los cambios que la actividad humana produce en él.

Norris y Philips (2003, citado por Federico y Jiménez-Aleixandre, 2006) hablan de la alfabetización científica como la capacidad de usar el conocimiento científico en la resolución de problemas que demandan la participación social, entender la naturaleza de la ciencia, incluyendo su relación con la cultura, conocer sus riesgos y beneficios, y desarrollar un pensamiento crítico hacia la ciencia y sus expertos. Albe (2006) recomienda preparar a los estudiantes con la cultura científica necesaria para la toma de decisiones, de manera que estén bien informados sobre cuestiones científicas.

Muestra de lo anterior es que en el currículo de la mayoría de los países avanzados, se ha tratado de incluir componentes que orienten la enseñanza de las ciencias a aspectos sociales y personales (Furió, Vilches, Guisasola y Romo, 2001). Sin embargo, como señalan Boerwinkel, Knippels y Waarlo (2011), la mayoría de estos aspectos no están convenientemente desarrollados en la educación científica de los estudiantes. Así, a modo de ejemplo, hay aún hoy en día una gran cantidad de conocimientos nuevos relacionados con la genética que son difíciles de adaptar de manera que puedan ser enseñados en clases de ciencias (Gericke y Wahlberg, 2013).

## **II. MARCO TEÓRICO**



## **II. MARCO TEÓRICO**

En este capítulo, se exponen de una manera ordenada algunos de los aspectos sobre los que se profundiza en la investigación, con objeto de ofrecer una visión general y sobre la situación actual de la biotecnología en la sociedad y sobretodo, en la enseñanza.

Primero, se define qué entendemos por biotecnología, las técnicas que implica, la regulación de la misma en nuestros días y su relación con algunas controversias sociocientíficas y el currículo (vigente durante la realización de la investigación).

A continuación, se establece una revisión bibliográfica sobre la enseñanza-aprendizaje de la genética, para después profundizar en los trabajos que hacen referencia a la enseñanza-aprendizaje de la biotecnología, distinguiendo entre tres constructos diferentes que son el conocimiento, la actitud y el interés.

Por último, se revisa cuál es el papel de la argumentación en el aula y cómo se puede relacionar la misma con las controversias sociocientíficas y también, con la biotecnología.

### **2.1. La biotecnología: definición y aplicaciones, regulación actual, relación con controversias sociocientíficas y con el currículo**

En este primer apartado del marco teórico, se define qué es la biotecnología y cuáles son las principales aplicaciones de la misma en diferentes ámbitos. Además, se ha incluido un apartado en el que se dan algunas pinceladas sobre las distintas leyes que afectan a la misma y las controversias sociocientíficas con las que se asocia. Por último, se incluye un apartado en el que se detalla en qué momentos y de qué manera aparece la biotecnología en el currículo de España.

#### **2.1.1. Sobre qué se va a investigar y fundamentación teórica**

La revisión bibliográfica para esta tesis doctoral comenzó con la consulta de estudios sobre conocimientos en genética, ya que esta se trata de una temática que se ha trabajado anteriormente, y de manera extensa, en el área de la Didáctica de las Ciencias Experimentales. Esta primera revisión ha permitido sentar las bases de la investigación y servir como punto de partida para la posterior revisión de los trabajos en biotecnología, pues nuestro trabajo parte de un análisis de los conocimientos básicos en genética para después abordar el conocimiento, y otros constructos como la actitud y el

interés, en el ámbito de la biotecnología. La revisión bibliográfica se ha ido ampliando y actualizando en las diferentes fases del desarrollo de la investigación con el objetivo de que los artículos que aquí se citan sean lo más novedosos posibles en el ámbito

En la revisión bibliográfica relativa a la biotecnología se han tenido en cuenta de forma prioritaria aquellas publicaciones incluidas en los sistemas de indexación internacionales directamente vinculados a la categorización de las revistas como el *Journal Citation Report-Clarivate Analytics (JCR)* y, además, aquellos en posiciones relevantes en *Scimago Journal Rank (SJR)*. Finalmente, el análisis se ha limitado, ya que es un tema de presencia en los currículos escolares relativamente recientes, hasta el período 2000-2020, pues se ha constatado que es en estas dos décadas en las que se ha producido un mayor incremento en los trabajos de esta área. Para la selección de los artículos, se realizó una búsqueda de las palabras clave presentes en los títulos, en los resúmenes y en las palabras clave de las revistas seleccionadas.

### **2.1.2. Definición de biotecnología**

La definición de biotecnología elegida para esta tesis doctoral es la realizada por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), que indican que es “la aplicación de la ciencia y la tecnología a los organismos vivos, así como a partes, productos o modelos de estos con el fin de alterar materiales vivos o inertes para la producción de conocimientos, bienes y servicios” (OCDE, 2005, p.9).

Además, debido al carácter general de esta definición, la OCDE recomienda complementarla con las técnicas biotecnológicas, entre las que destacan las basadas en el estudio del ADN y el ARN, las que se centran en las proteínas u otras moléculas, en cultivo e ingeniería de células y tejidos, técnicas de procesos biotecnológicos y técnicas que emplean vectores, bioinformática y nanobiotecnología. Los impactos de estas actividades y los usos y productos que generan son de naturaleza económica, social y medioambiental.

La biotecnología, por lo tanto, no es una ciencia en sí misma sino un enfoque multidisciplinar que involucra a la Biología, Bioquímica, Genética, Ingeniería, Medicina, Química y Virología, entre otras, y que representa una considerable diversidad de actividades industriales (Sánchez, 2007).

La importancia de la biotecnología en su vertiente moderna ha crecido exponencialmente y los avances que se prevén en las próximas décadas requieren que nuestro sistema educativo permita a la sociedad adquirir los conocimientos necesarios para comprender esta rama de la Biología. De la misma manera, es necesario que los científicos del futuro se inicien en la biotecnología y adquieran las habilidades para saber aplicarla en la búsqueda de soluciones a problemas como son: las enfermedades infecciosas y crónicas (Lyon et al., 2019), el deterioro del medio ambiente (Gutiérrez, 2019), la calidad de los alimentos y el incremento de la producción industrial (Soetaert y Vandamme, 2006), entre muchos otros. Se trata como puede verse, de una tecnología que posee la capacidad de afectar a prácticamente todos los sectores de la actividad humana.

En la Figura 1, se presenta un mapa conceptual que se ha elaborado para representar las principales técnicas empleadas en biotecnología, así como las ciencias biológicas, que han influido en su desarrollo.

La domesticación de animales y plantas, que comenzó en el Neolítico, fue responsable de uno de los mayores cambios sociales experimentados en la historia de la humanidad. Desde entonces, se utilizaba la selección y obtención de diferentes variedades productivas de plantas y animales de interés agrícola y ganadero, y también, en algunas ocasiones, se aprovechaban algunas propiedades de los seres vivos para la elaboración de productos procesados, como por ejemplo en la realización de fermentaciones para obtención de pan, yogur o bebidas alcohólicas (Seguí, 2013). Esta serie de actividades son las que se conocen hoy en día como biotecnología tradicional.

Algunas de las técnicas que se emplean en esta biotecnología tradicional están basadas, como sabemos bien hoy en día, en acciones como el aislamiento del organismo productor de la sustancia química de interés utilizando cribado o procedimientos de selección, y la mejora de los rendimientos de producción a través de la mutagénesis del organismo o la optimización de los medios y las condiciones de fermentación. Este tipo de técnicas están condicionadas por los procesos que ocurren en la naturaleza, la forma de trabajo de ensayo-error y el largo período de tiempo requerido (Brandenberg, Dhlamini, Sensi, Ghosh, y Sonnino, 2011).

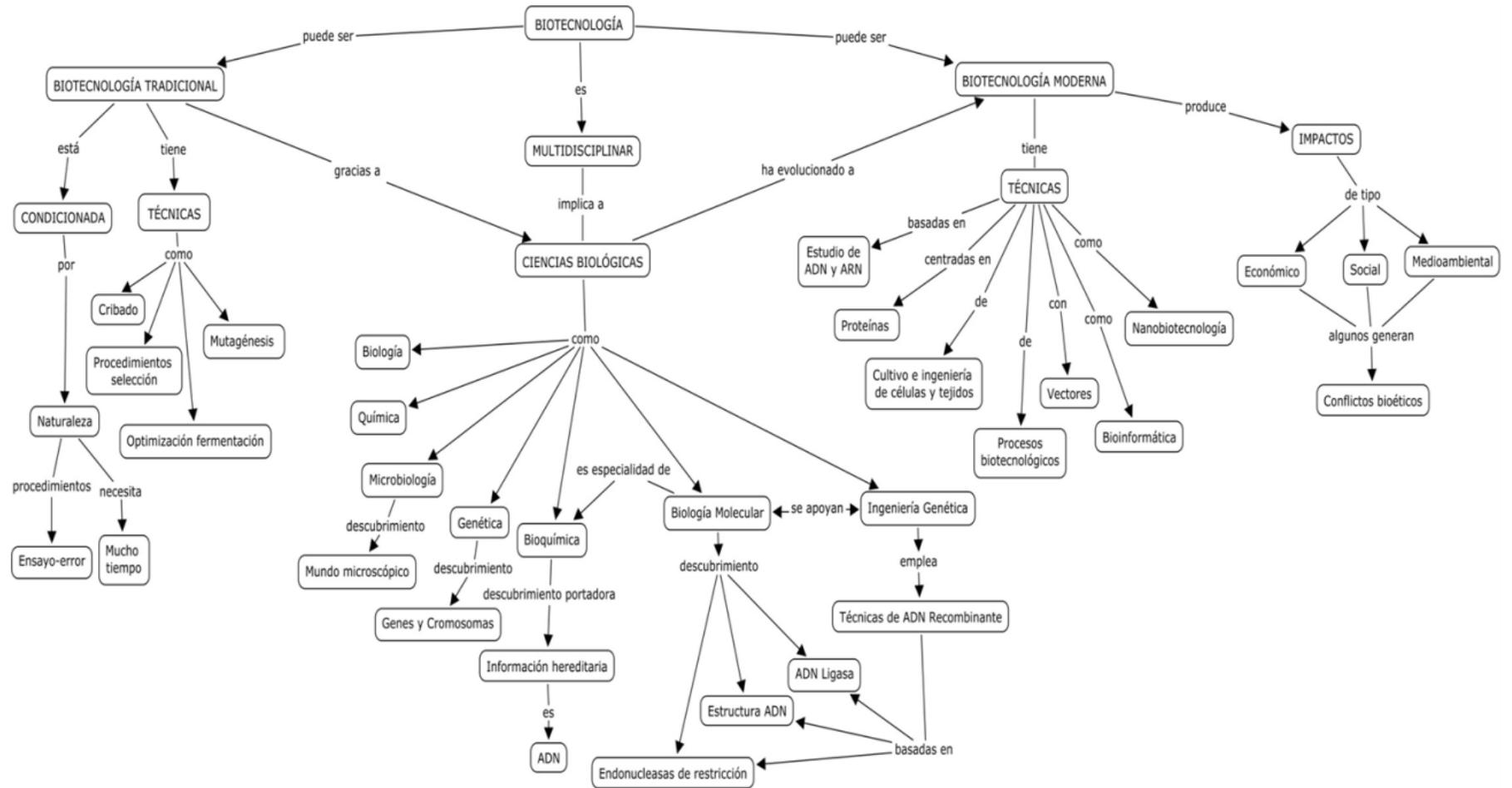


Figura 1. Desarrollo de la biotecnología. Fuente: Elaboración propia

Pero fue a partir de la mitad del siglo pasado, cuando la biotecnología comenzó a desarrollarse rápidamente gracias a los avances en relacionados con la biología molecular y la ingeniería genética, aunque estas disciplinas son relativamente nuevas y se comprenderá mejor su procedencia si se analiza el desarrollo de las diferentes ciencias biológicas. A continuación, se expone brevemente de qué manera se ha sucedido este desarrollo y cómo se ha llegado a la situación actual de la biotecnología, utilizando como referencia el libro de Carrión et al. (2003).

En el siglo XVII, empezó el desarrollo de la Microbiología gracias a Leeuwenhoek, que construyó el primer microscopio simple, permitiendo con ello descubrir el mundo microscópico. Las observaciones de Leeuwenhoek sirvieron de apoyo a la errónea teoría de la generación espontánea, que fue desestimada a mediados del siglo XIX gracias a trabajos realizados por Pasteur y Tyndal.

En 1865, nació la Genética cuando Mendel postuló las “leyes de la herencia”, siendo el primero en establecer que existen unidades hereditarias independientes y que la función de cada una de estas unidades se puede deducir de sus formas variantes o alelos. Sin embargo, no fue hasta 1909 cuando, gracias a Johanssen, se emplea por primera vez el término gen refiriéndose al factor hereditario que genera un carácter. En el año 1910, la Escuela Americana de Genética dirigida por Tomas Hunt Morgan confirmó la teoría cromosómica de la herencia que propone que los cromosomas son los portadores de genes y cada cromosoma puede llevar los genes de muchos caracteres.

Siguiendo el ritmo de avances tecnológicos, surgió una nueva ciencia cuyo estudio se centra en la química de los seres vivos, la Bioquímica. En un inicio, el estudio de la célula estaba dirigido a la anatomía y fisiología de la misma, pero se dieron importantes adelantos que posibilitaron que se llegara a conocer de qué están compuestos los orgánulos y qué ocurre en su interior. En 1869, el patólogo Miescher descubrió en espermatozoides de peces la sustancia responsable de los caracteres hereditarios, el ácido desoxirribonucleico (ADN). Sin embargo, fue en 1944 cuando los resultados del microbiólogo y bioquímico Avery constituyeron la primera prueba experimental de que el ADN era la molécula química portadora de la información hereditaria.

En 1953, Watson y Crick describieron la estructura de la molécula de ADN basándose en los datos de la composición del ADN y en fotografías tomadas por la

cristalógrafa Rosalind Franklin en 1952. Un año después, tres grupos de científicos encabezados por Ochoa, Khorana y Nirenberg descubrieron el lenguaje de los genes y cómo la información del ADN sirve para codificar los 20 aminoácidos de que se componen las proteínas. En 1962, Dussoix y Arber pusieron en evidencia la existencia de endonucleasas de restricción, enzimas que reconocen secuencias específicas de nucleótidos en la doble hélice de ADN y la cortan a ese nivel. Cinco años después, el grupo de Gellert descubrió la enzima ADN-ligasa que permite unir fragmentos de ADN. En los años 1975-1977, Sanger, Maxam y Gilbert desarrollaron los métodos de secuenciación rápida del ADN.

La Biología Molecular nace, por tanto, como especialidad de la Bioquímica que permite entender cómo la información que se encuentra en el ADN se transmite de unos seres a otros, se transcribe a ácido ribonucleico (ARN), se traduce a proteínas y cómo algunas de estas proteínas regulan a su vez el ADN.

En cuanto a la Ingeniería Genética, es una disciplina que se centra en el estudio del ADN, pero con fines prácticos, comprendiendo el conjunto de conocimientos y técnicas relacionados con la herencia de caracteres de los seres vivos, destinados a la obtención de tecnología para la investigación en biología y aplicados en la medicina, la industria, la agricultura y la ganadería, entre otros campos. Esta nueva Ingeniería es muy reciente y, a diferencia de otras (naval, industrial, de caminos, etc.), en que su origen se debe a una necesidad inmediata de la sociedad como la de tener navíos, puentes, telares... esta es consecuencia del avance de la genética y la Bioquímica. Además, la población no ve los logros directamente pues los genes no se pueden observar a simple vista y esto genera en ocasiones misterio, esperanza desmesurada o incluso miedo.

Estas dos últimas disciplinas se apoyan entre sí, de manera que la Biología Molecular se basa en el estudio de la estructura, función y composición de las moléculas biológicamente importantes, describiéndolas, y utilizando la Ingeniería Genética esta información, mientras que, por otra parte, la Biología Molecular en el desarrollo de su trabajo tiene problemas para resolver sus preguntas a cuya respuesta puede ayudar la Ingeniería Genética (Carrión et al., 2003).

A partir de la mitad del siglo XX, las técnicas que comenzaron a emplearse fueron lo que en conjunto se conoce como técnicas del ADN recombinante. Entre estas,

se incluyen el aislamiento del gen que codifica para una proteína de interés, la clonación (transferencia) de un gen a un huésped productor adecuado o la mejora de la expresión de genes o proteínas. Hace unas décadas se comenzó a desarrollar la Ingeniería de proteínas, que se basa en las técnicas del ADN recombinante (varios tipos de mutagénesis, caracterización de la estructura y función de la proteína producida, selección de nuevos lugares o regiones de genes para modificar como resultado de esta caracterización, etc.) pero que permite producir nuevas proteínas que se han modificado o mejorado en algunas de sus características (Brandenberg et al., 2011). Las técnicas básicas de corte de ADN con enzimas de restricción y unión con ADN ligasas se establecieron en los años 70 y permitieron el desarrollo de fragmentos de ADN foráneo en vectores bacterianos como plásmidos, lo cual sustentó la secuenciación de genomas enteros y nuestra presente comprensión del genoma humano. La llegada de la reacción en cadena de la polimerasa (PCR) y la nueva generación de técnicas de secuenciación han eludido, en gran medida, la necesidad de clonar rutinariamente ADN para los análisis de secuencias de variación. Sin embargo, la preparación de constructos de proteínas de expresión, por citar un ejemplo, no puede abordarse mediante PCR sola, sino que tener en cuenta los conceptos de clonación es fundamental (Dalgleish, Shanks, Monger, y Butler, 2012).

En la tabla 1 se observan los principales hitos científicos-biotecnológicos de los últimos 120 años.

Tabla 1

*Principales hitos científico-biotecnológicos de los últimos 100 años*

AÑO	HITO	DESCUBRIDOR
1902	Primer cultivo <i>in vitro</i> de células vegetales	G.Haberlandt
1907	Primer cultivo <i>in vitro</i> de células animales	R.G.Harrison
1917	Se descubren los bacteriófagos	F.d'Herelle
1919	Se acuña el término <i>biotecnología</i>	Kàroly Ereky
1927	Se descubre que los rayos X provocan mutaciones	H.J.Muller
1928	Se descubre la penicilina, el primer antibiótico	R.Fleming
1938	Se acuña el término <i>Biología Molecular</i>	W.Astbury
1941	Se usa por primera vez el término <i>Ingeniería genética</i>	A.Jost
1944	El ADN es el material genético	O.Avery
1952	Se establece la línea celular continua HeLa	George Gey
1952	Fotografía de la estructura del ADN por difracción de rayos X	Rosalind Franklin

1953	Se caracteriza la doble hélice del ADN	Watson y Crick
1955	Se desarrolla la primera vacuna de la polio	J. Salk
1958	Se produce ADN en un tubo de ensayo por primera vez	A. Kornberg
1959	El ARN mensajero copia la información del ADN	Jacob y Monod
1961	Primera letra del código genético	M.Nirenberg
1962	Se formula el medio MS para el cultivo <i>in vitro</i> de tejidos vegetales	T. Murashige y F.Skoog
	Se descubre la proteína verde fluorescente (Green fluorescent protein-GFP-)	O. Shimomura
1965	Descifrado total del código genético	Nirenberg, Ochoa y Khorana
	Primera planta regenerada de una única célula	V.Vasil y A.C. Hildebrandt
1962- 1967	Mecanismo de la síntesis de proteínas	Lipmann y varios laboratorios
1963- 1972	Descubrimiento de los enzimas de restricción	Arber y Smith, Nathans
1973	Plásmidos recombinantes	Berg, Cohen, H.Boyer
1975	Primeros anticuerpos monoclonales	Milstein, Kohler y Jeme
1976	Primera proteína humana recombinante:	somatostatina
1977	Métodos de secuenciación del ADN	Gilbert, Sanger
1978	Producción de insulina humana en bacterias	H. Boyer
	Nace el primer bebé probeta en Reino Unido	
1981	Se crean los primeros ratones transgénicos	Palmiter, Brinster, Gordon y Ruddle
1982	Se aprueba la primera proteína biológica o recombinante	Food and Drug Administration (FDA)
1983	Se crea la primera planta transgénica	J.Schell et al.
	Se aísla el virus que provoca el SIDA	L. Montagnier
1984	Desarrollo de la técnica de huellas de ADN	A.Jeffreys
1985	PCR-amplificación del ADN	K.Mullis, Cetus Corporation
1986	Primer secuenciador automático	Applied Biosystems
1987	Cromosomas artificiales de levadura (YAC)	Davis Burke et al.
1988	Técnica del knock-out	M.Capecchi
	Mutación de genes específicos	
1989	Se inicia el Proyecto Genoma Humano	NIH, DOE, HUGO
1990	Primer tratamiento con terapia génica	
1993	Primera secuencia de cascada de transducción de señales	Weinberg, Arbuchy, varios
1994	Se aprueba la comercialización del primer alimento transgénico: el tomate FlavrSavr	Calgene
1995	Secuenciación del genoma de <i>Haemophilus influenzae</i>	TIGR-empresa

1996	Secuenciación de genoma de levadura	Unión Europea-Consortio de laboratorios
1997	Secuenciación del genoma de <i>Escherichia coli</i>	Blattner et al.
	Clon de mamífero-oveja Dolly	Wilmut et al., Roslin Institute
1998	Secuenciación del genoma de <i>Caenorhabditis elegans</i>	Consortio de laboratorios
	Descubrimiento de células troncales humanas	Thomson et al.
2000	Secuenciación del genoma de <i>Drosophila melanogaster</i>	Consortio de laboratorios y empresas-Celera
	Se secuencian la primera planta: <i>Arabidopsis thaliana</i>	The Arabidopsis Genome Initiative
	Mapa general del genoma humano	Human Genome Project (consorcio internacional)-Celera Genomics
2001	Primer borrador de genoma humano	
2003	Se completa la secuenciación del genoma humano	
	Se aprueba el primer anticuerpo monoclonal antiangiogénico para terapia contra el cáncer	
2004	Se desarrolla un sistema de prueba de microarrays de ADN, que ayuda a seleccionar medicamentos (medicina personalizada)	FDA
2005	Se clona una vaca con células de riñón de un cadáver	Steve Stice et al.
2006	Se aprueba el uso de una vacuna recombinante contra el virus del papiloma humano	FDA
2007	Se descubre cómo usar células de piel humana para crear células madre embrionarias	
2008	Se crea la primera molécula de ADN hecha enteramente de partes artificiales	Químicos japoneses
	Se crea la primera bacteria con genes sintetizados artificialmente	The J. Craig Venter Institute
2010	Se inicia un ensayo clínico utilizando una línea de células madre neurales genéticamente modificadas para tratar a las víctimas de accidente cerebrovascular	ReNeuron
	Se inicia un ensayo clínico con células madre embrionarias humanas para tratar pacientes que padecen ELA	Neuralstem
	Se aprueba un medicamento personalizado para el cáncer de próstata que estimula las células inmunes de un paciente para reconocer y atacar las células cancerosas	FDA
	Se aprueba un tratamiento para la osteoporosis que es uno de	

	los primeros medicamentos basados en estudios genómicos
	Tráquea derivada de células madre trasplantadas a un receptor humano
	Los avances en la tecnología de impresión 3-D conducen a la "impresión de pieles"
2011	Se aprueba la primera terapia de sangre del cordón umbilical que se utilizará en los procedimientos de trasplante de células madre hematopoyéticas en pacientes con trastornos que afectan el sistema hematopoyético <span style="float: right;">FDA</span>

Fuente: Adaptada Seguí (2013) y Amgen (2020)

La herramienta de ingeniería genética del futuro, sin embargo, es CRISPR-Cas-9, ya que, mediante la inyección de una célula con un complejo Cas-9 específico, es posible introducir o desactivar un gen específico en un lugar determinado. Actuando como un par de tijeras de ADN, el CRISPR-Cas-9 es más preciso que otras herramientas de edición de genes y puede cortar las ubicaciones de ADN que previamente eran inaccesibles (Hammann, 2018).

Desde hace algunas décadas, varios investigadores de la Universidad de Alicante (Mojica y Almendros, 2017) han dedicado buena parte de su trabajo a desentrañar los mecanismos moleculares que conforman la respuesta de los procariotas frente a la infección vírica. A inicios de los años noventa lograron dar los primeros pasos en la descripción de este sistema de defensa fundamental de las bacterias y las arqueas contra los virus, que más tarde denominaron CRISPR-Cas. Los importantes avances a los que se han contribuido estos investigadores, junto a otros grupos en este tema, han dado lugar al desarrollo de una potente herramienta de edición genética cuyas aplicaciones no parecen tener límite. El camino recorrido hasta llegar a esta técnica ha supuesto años de investigación básica en microbiología, en los que se han ido sucediendo, uno tras otro, los hallazgos sobre el mecanismo de inmunidad microbiana.

Como recopila Sternberg (2018), en 2013 se vivió una eclosión de los cambios de ADN que podían conseguirse con la tecnología CRISPR. Además de corregir pequeñas erratas del genoma, CRISPR podía usarse para desactivar o borrar genes enteros, invertir o insertar genes y hacer cambios en múltiples genes de manera simultánea. La tecnología CRISPR, por lo tanto, se ha vuelto imprescindible para la investigación puntera y se puede afirmar que la Biología ya nunca volverá a ser la

misma, ni tampoco la sociedad. De hecho, armados con el poder de reescribir de manera sencilla y precisa el código genético, científicos y no científicos amenazan con subvertir el orden natural, remodelando el proceso evolutivo mismo al sustituir la mutación aleatoria (el proceso azaroso, sinuoso de la selección natural a lo largo de eones) por una mutación definida y personalizada por el usuario, introducida a voluntad usando la tecnología CRISPR. El resultado: una nueva manera de controlar la dirección en la que va la vida misma.

### **2.1.3. Clasificación de los ámbitos de aplicación de la biotecnología**

Como se ha visto hasta ahora, el término biotecnología en la actualidad es amplio y complejo, pero fue empleado por primera vez por Karl Ereky en el año 1919. Así, ya en el siglo XX este ingeniero agrónomo y experto en la industria alimentaria, anticipó las posibilidades que podría tener la investigación en el ámbito molecular (Fári y Kralovánszky, 2006).

Por todo esto, hoy en día, resulta necesario un sistema de clasificación de los usos de la biotecnología, que los agrupe en función de sus características comunes o de su utilidad final. De las muchas clasificaciones existentes, el código de colores es la más utilizada, aunque, como toda distribución, no es del todo precisa y hay colores que están ampliamente definidos mientras que otros aún están en sus inicios. Por otra parte, diferentes autores presentan diversas categorías que no coinciden exactamente. En este trabajo, se va a utilizar la clasificación de las aplicaciones de la biotecnología en roja, referida a la medicina y salud humana; verde, relacionada con la agricultura; blanca o industrial; gris, dedicada a los problemas de la protección medioambiental; amarilla, también llamada biotecnología nutricional; azul o biotecnología de las regiones acuáticas; marrón o de las regiones desérticas; dorada, que está relacionada con la bioinformática, la ciencia computacional y la tecnología de chips; negra, conectada con el bioterrorismo y armas biológicas; violeta, que trata de aspectos legales, éticos y filosóficos (Da Silva, 2004; Díaz, 2014; Kafarski, 2012) y, por último, la naranja, o educacional (Castro et al., 2017).

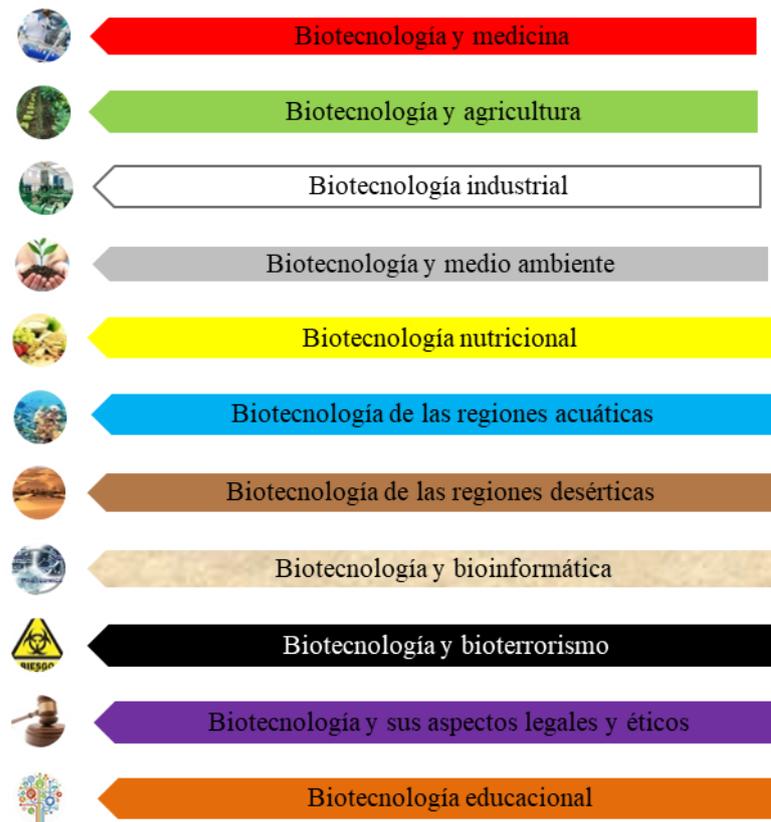


Figura 2. Los colores de la biotecnología. Fuente: Elaboración propia

La biotecnología roja agrupa los usos relacionados con el cuidado de la salud, la medicina y la farmacia. Destacan la obtención de vacunas, antibióticos, desarrollo de nuevos fármacos, técnicas moleculares de diagnóstico, terapias regenerativas y desarrollo de Ingeniería genética para curar enfermedades con manipulación genética. Algunos ejemplos serían la terapia génica para reparar o sustituir genes dañados cuya alteración provoca enfermedades, la producción de hormonas como la insulina, somatotropina o eritropoyetina, la obtención de anticuerpos monoclonales, la elaboración de vacunas recombinantes, como la de la hepatitis B humana, y el diagnóstico de enfermedades, que está avanzando mucho gracias a la genómica, proteómica y metabolómica, y también debido al desarrollo de chips de ADN o microarrays (usados para analizar la expresión diferencial de genes).

La biotecnología verde se centra en la agricultura como campo de explotación. Las aproximaciones y usos biotecnológicos incluyen la producción de biofertilizantes y biopesticidas, el cultivo in vitro, la clonación de vegetales y la creación de variedades de plantas de interés agropecuario. Esta última aplicación es la que mayor controversia suscita en la sociedad ya que se basa en la transgénesis o introducción en la planta de interés de genes procedentes de otra variedad u organismo y persigue tres objetivos

fundamentales: obtención de variedades resistentes a plagas y enfermedades (en la actualidad se utilizan y comercializan variedades de maíz resistentes a plagas como el taladro), variedades con mejoras nutricionales (un ejemplo sería el del arroz dorado, con genes para producción de  $\beta$ -caroteno, precursor de la vitamina A) o variedades que actúen como biofactorías productoras de sustancias de interés médico, biosanitario o industrial en cantidades fácilmente aislables y purificables.

La biotecnología blanca o industrial se basa en la aplicación de biocatálisis en procesos industriales y se usa mundialmente en las industrias química, farmacéutica, cosmética, del papel, textil, del curtido, alimentaria y energética. Se considera como la rama más amplia de la biotecnología y se encarga de: sustitución de los procesos industriales tradicionales por otros biocatalíticos con el fin de obtener productos valiosos, tales como productos farmacéuticos, cosméticos, productos de química fina y aditivos alimentarios; producción de polímeros biodegradables, así como de propiedades específicas de los denominados "polímeros inteligentes"; la producción de combustible a partir de recursos renovables o usando microorganismos fotosintéticos (incluyendo los genéticamente modificados); y la producción de enzimas y microorganismos de interés industrial. Se pone especial énfasis en la utilización de sustratos renovables y procesos respetuosos con el medio ambiente, lo que hace que la biotecnología blanca sea considerada como un componente de la "química verde". La construcción de biorrefinerías es una nueva tendencia de la biotecnología blanca y se deriva directamente del funcionamiento de las tradicionales refinerías de petróleo: la materia prima se fracciona a fin de obtener una serie de productos valiosos. La diversidad de la composición de la biomasa asegura tanto la producción de productos químicos primarios (tales como biocombustibles) como de valiosos productos químicos finos (como los productos farmacéuticos), acompañadas de la generación de calor y energía necesarios para el buen funcionamiento de la planta.

La biotecnología gris está constituida por las aplicaciones directas de la biotecnología al medio ambiente. Se puede subdividir en dos grandes ramas: mantenimiento de la biodiversidad (como análisis genético de poblaciones y especies de ecosistemas o técnicas de clonación para preservar especies) y eliminación de contaminantes o biorremediación (mediante el uso de microorganismos y especies

vegetales para el aislamiento y la eliminación de sustancias como metales pesados e hidrocarburos).

La biotecnología amarilla es tal vez la rama más antigua de la biotecnología porque considera la producción de alimentos y piensos. Hace cerca de 10.000 años, nuestros antepasados producían vino, cerveza, queso y pan utilizando la fermentación. Sin embargo, el principal objetivo de la biotecnología amarilla hoy en día es la mejora de ciertos alimentos para obtener otros más nutritivos. Se logra con el procesamiento enzimático y microbiano de alimentos, la eliminación de alérgenos y componentes que causan su intolerancia o su fortificación con componentes promotores de la salud. Los llamados alimentos funcionales son de especial interés en la biotecnología amarilla, los cuales también se conocen como nutracéuticos.

La biotecnología azul, es la basada en la explotación de recursos de océanos y mares para la generación de productos y aplicaciones de interés industrial. Actualmente muchos productos y aplicaciones se encuentran en fase de búsqueda o investigación, aunque potencialmente hay muchos sectores que se podrían beneficiar. Las materias primas que se pueden obtener del mar como los hidrocoloides y gelificantes se están utilizando ya en alimentación, sanidad y cosmética. La medicina y la investigación son otros grandes beneficiarios del desarrollo de la biotecnología azul pues algunas moléculas marcadoras de origen marino son ya de uso cotidiano en investigación. También se aíslan de organismos marinos moléculas con actividades enzimáticas útiles para diagnóstico e investigación. Algunos biomateriales y agentes con actividad farmacológica o regenerativa se obtienen o están siendo investigados para su uso en estos sectores.

La biotecnología marrón considera la gestión de las tierras áridas y desiertos en los que se encuentran algunos de los países más pobres del mundo, con gran cantidad de población, recursos escasos, una base tecnológica débil, educación de nivel primario e infraestructuras inadecuadas. En este contexto, se propone que el uso de la tecnología de los organismos modificados genéticamente podría tener un impacto beneficioso a través del uso de semillas mejoradas y plantas de alta calidad libres de enfermedades para crecer en zonas de escasas precipitaciones.

La biotecnología dorada está relacionada con la bioinformática, que facilita el trabajo del gran volumen de datos mediante nuevos programas y algoritmos.

La biotecnología negra se encarga de la lucha contra los peligros del bioterrorismo y la guerra biológica mediante la investigación de microorganismos peligrosos.

La biotecnología violeta se encarga de los dilemas morales y éticos que han surgido debido al desarrollo de la biotecnología, asunto que es una esfera de actividad de especialistas en ética y filosofía. Por tanto, constituye la parte de la biotecnología que se ocupa de la regulación y resolución de estos problemas y la formación de una plataforma para el debate.

Tras revisar la clasificación por colores de la biotecnología (Da Silva, 2004; Díaz, 2014; Kafarski, 2012), se presenta un mapa conceptual (Figura 3) en el que quedan reflejadas sus principales ámbitos de aplicación y del que parte el planteamiento de la investigación.

Además de que esta clasificación en colores descrita es enormemente útil, en este trabajo se pretende destacar la importancia de otro color para la biotecnología, la biotecnología naranja o educativa, que está relacionada con la difusión de las noticias y contenidos sobre esta área a la sociedad. La mayoría de artículos o páginas principales no mencionan o reconocen la importancia de un enfoque educativo de la biotecnología (Castro et al., 2017) pero es de gran valor poner en conocimiento de la sociedad los logros y avances que en otras áreas se consiguen, por ello, es en este color, donde podría encuadrarse esta tesis doctoral.



#### **2.1.4. Situación actual de la regulación en aspectos relacionados con biotecnología**

Antes de continuar con el análisis de los estudios publicados en relación con la genética, la biotecnología y los estudiantes, es conveniente contextualizar el marco legal y social de algunos aspectos relacionados con la biotecnología, ya que en este estudio han participado estudiantes españoles y, en consecuencia, vinculados a las regulaciones de los países europeos en las que ahora nos centraremos.

A medida que progresan los avances tecnológicos con respecto a las aplicaciones biotecnológicas, se introducen nuevas regulaciones, no solo en España, sino también a nivel internacional. Con respecto a las pruebas genéticas, la Declaración Universal sobre el Genoma Humano y los Derechos Humanos es el primer instrumento legal de alcance universal en el campo de la Biología, adoptado por unanimidad por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura en 1997, cuyo texto busca equilibrar el respeto por la dignidad y los derechos humanos con la libertad de la investigación científica (Unesco, 1997).

Un documento más contemporáneo especifica aspectos relacionados con la manipulación de muestras y material biológico, así como de sus datos asociados, sus usos y procedimientos de consentimiento en investigación genética humana, entre otros, en Europa (European Commission, 2009). En España, existe la Ley 14/2007, de 3 de julio, de Investigación Biomédica (BOE, 2007) para regular, con pleno respeto a la dignidad e identidad humana y los derechos inherentes a la persona, la investigación biomédica. En particular, esta ley regula la realización de análisis genéticos y el tratamiento de datos genéticos personales.

Refiriéndose al caso de los riesgos de fitomejoramiento, Hansson (2016) señala las diferencias que existen en la forma de trabajar en los Estados Unidos y en Europa y menciona la necesidad de nuevas políticas. En la Unión Europea, el comercio de alimentos genéticamente modificados se rige por el protocolo de Cartagena (Secretaría del Convenio sobre Diversidad Biológica, 2000), que se basa en el principio de precaución y permite a los países prohibir las importaciones de organismos modificados genéticamente (OMG) si se descubre que no hay suficiente evidencia científica con respecto a la seguridad de un producto. La mayoría de los países lo han ratificado, pero no Estados Unidos o Canadá, que se encuentran entre los principales productores de

cultivos transgénicos (Hudson, 2017). Por lo tanto, para garantizar un alto nivel de protección de las personas, los animales, el medio ambiente y los intereses de los consumidores en relación con los alimentos y piensos modificados genéticamente, existe una normativa europea a la que todos los países de la Unión Europea se han ido adaptando para establecer en estos productos, una evaluación de la seguridad a través de un procedimiento comunitario antes de comercializarse en la Comunidad. Además, existen requisitos de etiquetado adicionales para productos que consisten en o contienen OMG con respecto a la indicación obligatoria que debe estar presente en el etiquetado. En esta línea, el etiquetado debe informar objetivamente que el alimento o pienso contiene o está compuesto de OMG o ha sido producido a partir de OMG cuando la cantidad del producto de un alimento transgénico es superior al .9% de los ingredientes de los alimentos, por lo tanto, los operadores deberán asegurarse de que las palabras 'este producto contiene organismos genéticamente modificados' aparecen en una etiqueta (European Parliament and the Union European Council, 2003).

Los cultivos genéticamente modificados y su aplicación sobre el medio ambiente, han ayudado mucho a las industrias agrícolas y alimentarias, generándose productos con mayor valor nutricional (Ye et al., 2000), con tolerancia a herbicidas (Carpenter y Gianessi, 1999) o a los insectos (Vaeck et al., 1987), reduciendo el uso de insecticidas y aumentando el rendimiento de los cultivos, incluso disminuyendo el consumo de energía, lo cual reduce emisiones de carbono (Hudson, 2017). Además, las rutas de síntesis de biocombustibles han supuesto un avance para el mantenimiento de la biodiversidad (Evans y Geller, 2012). En el proceso de toma de decisiones sobre el uso de OMG en los alimentos o para el cultivo, Aleksejeva (2013) informa que los expertos a menudo expresan su opinión personal en lugar de una opinión oficial. Los resultados muestran que la actitud hacia el cultivo de OMG es negativa en el 53.3% de los casos y que las instituciones son muy cautelosas. Además, casi la mitad de los expertos (46.7%) piensa que no es posible considerar el riesgo de los OMG en general, por lo que están seguros de que es un tema complejo y que cada OMG debe evaluarse caso por caso.

### **2.1.5. Competencia matemática y competencias básicas en ciencia y tecnología. Genética y biotecnología en el currículo**

En el marco del Proyecto DeSeCo (*Definition and Selection of Competencies*) (OCDE, 2005) se publicó el informe: “Las competencias clave para el bienestar

personal, social y económico” (Rychen y Salganik, 2003) en el que se proponían competencias que tuvieran en común los objetivos de contribuir a resultados valiosos para sociedades e individuos; ayudar a los individuos a enfrentar importantes demandas en una amplia variedad de contextos; y ser relevantes tanto para los especialistas como para todos los individuos. Dentro de estas competencias clave, se encuentra la competencia científica o alfabetización científica cuyo principal objetivo es dotar a los estudiantes de la capacidad de comprender el entorno e interactuar con él utilizando conocimientos y habilidades que adquieren sentido en la medida que son aplicados en un contexto natural y social.

El Parlamento Europeo presentó una “Recomendación” (Comisión de Comunidades Europeas, 2005) en la que se establecía el marco que debían regir las políticas educativas europeas. Este documento incluye un anexo en el que se establecen como competencias clave: comunicación en la lengua materna; comunicación en lenguas extranjeras; competencia matemática y competencias básicas en ciencia y tecnología; competencia digital; aprender a aprender; competencias interpersonales, interculturales y sociales, y competencia cívica; espíritu de empresa; y expresión cultural.

Además, se explica que las competencias clave son aquéllas que todas las personas precisan para su realización y desarrollo personales, así como para la ciudadanía activa, la inclusión social y el empleo. Por tanto, debe ser un objetivo al término de la educación y la formación iniciales, el desarrollo por parte de los jóvenes de estas competencias en la medida necesaria para prepararlos para la vida adulta, que deberán seguir desarrollándolas, manteniéndolas y poniéndolas al día en el contexto del aprendizaje permanente.

En España, con la LOE (Ley Orgánica 2/2006, de Educación) (Gobierno de España, 2006), es la primera vez que se introduce la idea de las competencias básicas en el currículo español. Actualmente, en la LOMCE (Ley Orgánica 8/2013, de 9 de diciembre, para la mejora de la calidad educativa) (Gobierno de España, 2013), las competencias vienen definidas como “capacidades para aplicar de forma integrada los contenidos propios de cada enseñanza y etapa educativa, con el fin de lograr la realización adecuada de actividades y la resolución eficaz de problemas complejos”, estas competencias se concretan en ocho: comunicación lingüística, competencia

matemática y competencias básicas en ciencia y tecnología, competencia digital, aprender a aprender, competencias sociales y cívicas, sentido de iniciativa y espíritu emprendedor y, por último, conciencia y expresiones culturales.

En la actualidad, la genética se ha convertido en una de las ramas de la Biología con mayor desarrollo y repercusión social, esto convierte en esencial un adecuado conocimiento de las nociones básicas de este campo. Turney (1995, citado por Abril, Mayoral y Muela, 2004) sugiere tres motivos principales para desarrollar la comprensión de la genética: un motivo utilitario (aplicación de conocimientos científicos para su uso), un motivo democrático (aplicación de los conocimientos para debatir en sociedad) y un motivo cultural (logro cultural de la sociedad moderna).

Por tratarse, la biotecnología, de una disciplina con gran número de aplicaciones en la sociedad, que relaciona aspectos científicos y tecnológicos y cuyo desarrollo repercute en los ciudadanos, es un área que puede contribuir en gran medida a la adquisición de la competencia básica en ciencia y tecnología por parte de los estudiantes, pero también al resto de competencias clave debido al carácter transversal de muchas de sus aplicaciones. Así, como indican Pedrinaci, Caamaño, Cañal de León y de Pro Bueno (2012) las implicaciones sociales del conocimiento científico y tecnológico forman parte de éste y, por lo tanto, de su enseñanza.

Además de las competencias básicas, el currículo menciona otros referentes, como los contenidos, criterios de evaluación y estándares de aprendizaje, que aparecen definidos de la siguiente manera según el Real Decreto 1105/2014, en el que se establece el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y Bachillerato (Ministerio de Educación, 2015).

Para contenidos (p.172):

Conjunto de conocimientos, habilidades, destrezas y actitudes que contribuyen al logro de los objetivos de cada enseñanza y etapa educativa y a la adquisición de competencias. Los contenidos se ordenan en asignaturas, que se clasifican en materias y ámbitos, en función de las etapas educativas o los programas en que participe el alumnado.

Los criterios de evaluación son (p.172):

El referente específico para evaluar el aprendizaje del alumnado. Describen aquello que se quiere valorar y que el alumnado debe lograr, tanto en conocimientos como en competencias; responden a lo que se pretende conseguir en cada asignatura.

Por último, los estándares de aprendizaje hacen referencia a (p.172):

Especificaciones de los criterios de evaluación que permiten definir los resultados de aprendizaje, y que concretan lo que el estudiante debe saber, comprender y saber hacer en cada asignatura; deben ser observables, medibles y evaluables y permitir graduar el rendimiento o logro alcanzado. Su diseño debe contribuir y facilitar el diseño de pruebas estandarizadas y comparables.

Conocida la terminología empleada, se pasa a concretar cuáles son los contenidos, criterios de evaluación y estándares de aprendizaje que tienen relación con la genética y la biotecnología en España (estos se recogen de manera detallada en diferentes tablas en el Anexo I).

Disciplinas como la genética configuran un punto central en el currículo en el último curso de Educación Secundaria Obligatoria (ESO) en España, en la asignatura Biología y Geología, pero se debe tener en cuenta que es en este último curso, 4º de ESO, cuando se hace referencia a la misma por primera vez y, quizás, para muchos alumnos que no continuarán cursando ciencias, lo que aprendan en éste será la única formación que tengan sobre herencia biológica en los seres vivos.

Además, íntimamente relacionada con la genética, aparece la biotecnología, ya que la gran cantidad de conocimientos nuevos relacionados con las aplicaciones en biotecnología, que además están acompañados por aspectos éticos (Harms, 2002) y de valores (Furió et al., 2001), han supuesto la socialización de toda una serie de términos científicos que no eran de uso común (Aznar, 2000) y que no resultan fáciles de incluir en las clases de ciencias (Gericke y Wahlberg, 2013). No obstante, existe un cierto consenso en que la educación escolar debe abordar los conocimientos básicos y los efectos de la biotecnología, con la finalidad de mejorar la capacidad de los estudiantes para tomar decisiones razonadas con respecto a este campo tecnológico (Harms, 2002); responsabilidad que debe extenderse a todos, incluidos los propios consumidores (Solbes y Vilches, 2004).

Sin embargo, la biotecnología como tal solamente se estudia en los niveles académicos más altos dentro de la enseñanza secundaria, de modo que serán los estudiantes que lleguen a estos niveles, y que además escojan las asignaturas que tratan

estos contenidos, los que podrán tener un conocimiento formal adecuado sobre esta área de la ciencia. Rivas y González (2016) apuntan una situación similar a la presencia en el currículo de contenidos relacionados con la evolución, señalando así, que los conceptos de evolución no han estado muy presentes ni en el currículo educativo español ni tampoco en los textos de estudio de los que han dispuesto los profesores durante su formación, Barberá y Zanón (1999, citado por Rivas y González, 2016). En los párrafos siguientes, se detallan en qué ocasiones aparece la biotecnología en el currículo, se comienza analizando el currículo actual (por ser en el que en más ocasiones se encuentra) para ir retrocediendo en el tiempo y en las normativas anteriores.

Así, la biotecnología está incluida actualmente en el sistema educativo español de forma introductoria en 4º de la ESO (15-16 años) y con bastante mayor profundidad en el Bachillerato de Ciencias, sobretodo en el segundo curso (17-18 años); hasta el punto que diversos aspectos de la misma forman parte de 3 de los 5 bloques temáticos que conforman la asignatura de Biología (RD 1105/2014 del Ministerio de Educación, 2015).

Según el Real Decreto 1105/2014, de 26 de diciembre, por el que se establece el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato, durante el primer ciclo de ESO, el eje vertebrador de la materia Biología y Geología gira en torno a los seres vivos y su interacción con la Tierra, incidiendo especialmente en la importancia que la conservación del medio ambiente tiene para todos los seres vivos. También durante este ciclo, la materia tiene como núcleo central la salud y su promoción. Finalmente, en el cuarto curso de la ESO, se inicia al alumnado en las grandes teorías que han permitido el desarrollo más actual de esta ciencia: la tectónica de placas, la teoría celular y la teoría de la evolución, para finalizar con el estudio de los ecosistemas. En el Bachillerato, la materia de Biología y Geología profundiza en los conocimientos adquiridos en la ESO, analizando con mayor detalle la organización de los seres vivos, su biodiversidad, su distribución y los factores que en ella influyen, así como el comportamiento de la Tierra como un planeta en continua actividad. La Biología de último curso de Bachillerato se plantea con el estudio de los niveles de organización de los seres vivos: composición química, organización celular y estudio de los tejidos animales y vegetales.

Durante la Educación Secundaria Obligatoria, los alumnos y alumnas deben cursar la materia Biología y Geología como materia general del bloque de asignaturas troncales en los cursos primero y tercero, pero, como se ha dicho, en estos cursos no se abordan contenidos específicos relacionados con la genética o la biotecnología (sin embargo, sí que se estudia la célula como unidad anatómica, funcional y genética de vida, así como el papel de los microorganismos en el planeta y su relación con el ser humano o los diferentes reinos de seres vivos, aspectos todos clave para la adecuada comprensión de genética y biotecnología que se hará en cursos posteriores). Tampoco se especifica sobre estas áreas en la asignatura Biología y Geología de 1º de Bachillerato (materia de opción del bloque de asignaturas troncales en la modalidad de Ciencias), aunque sí que aparecen alusiones a la biotecnología en la asignatura Cultura Científica de 1º de Bachillerato, siendo esta una asignatura optativa; por ello, a continuación se describen los contenidos relacionados con la genética y la biotecnología en los cursos 4º de ESO y 1º y 2º de Bachillerato según la legislación vigente en la actualidad en España.

En de 4º de ESO la asignatura Biología y Geología es una materia de opción del bloque de asignaturas troncales cuando el estudiante elige la opción de enseñanzas académicas (RD 1105/2014). Los contenidos relacionados con genética y biotecnología son: los ácidos nucleicos, ADN y genética molecular, proceso de replicación del ADN, concepto de gen, expresión de la información genética, código genético, mutaciones, la herencia y transmisión de caracteres, introducción y desarrollo de las leyes de Mendel, base cromosómica de las leyes de Mendel, aplicaciones de las leyes de Mendel, ingeniería genética: técnicas y aplicaciones, biotecnología, bioética.

En la asignatura Cultura Científica (RD 1105/2014) que se imparte de manera optativa tanto en 4º de ESO como 1º de Bachillerato, la materia establece la base de conocimiento científico sobre temas generales, como el universo, los avances tecnológicos, la salud, la calidad de vida y los nuevos materiales. Para 1º de Bachillerato se dejan cuestiones más complejas que para 4º de ESO, como son la formación de la Tierra y el origen de la vida, la genética, los avances biomédicos y, por último, un bloque dedicado a lo relacionado con las Tecnologías de la Información y la Comunicación. Así, en el bloque 4 de este curso académico se encuentran algunos criterios de evaluación relacionados con genética y biotecnología como son: obtener,

seleccionar y valorar informaciones sobre el ADN, el código genético, la ingeniería genética y sus aplicaciones médicas; conocer los proyectos que se desarrollan actualmente como consecuencia de descifrar el genoma humano, tales como HapMap y Encode o evaluar las aplicaciones de la Ingeniería genética en la obtención de fármacos, transgénicos y terapias génicas.

En 2º curso de Bachillerato, el RD 1105/2014 recoge que los retos de las ciencias en general y de la Biología en particular son continuos, y precisamente ellos son el motor que mantiene a la investigación biológica desarrollando nuevas técnicas de investigación en el campo de la biotecnología o de la ingeniería genética, así como nuevas ramas del conocimiento como la genómica, la proteómica, o la biotecnología, de manera que producen continuas transformaciones en la sociedad, abriendo además nuevos horizontes fruto de la colaboración con otras disciplinas, algo que permite el desarrollo tecnológico actual. Los contenidos se distribuyen en cinco grandes bloques en los cuales se pretende profundizar a partir de los conocimientos previos ya adquiridos en el curso y etapas anteriores, tomando como eje vertebrador la célula, su composición química, estructura y ultraestructura, y funciones. El primer bloque se centra en el estudio de la base molecular y fisicoquímica de la vida, con especial atención al estudio de los bioelementos, y los enlaces químicos que posibilitan la formación de las biomoléculas inorgánicas y orgánicas. El segundo bloque fija su atención en la célula como un sistema complejo integrado, analizando la influencia del progreso técnico en el estudio de la estructura, ultraestructura y fisiología celular. El tercero se centra en el estudio de la genética molecular y los nuevos desarrollos de ésta en el campo de la ingeniería genética, con las repercusiones éticas y sociales derivadas de dicha manipulación genética, y se relaciona el estudio de la genética con el hecho evolutivo. En el cuarto se aborda el estudio de los microorganismos, la biotecnología, así como las aplicaciones de esta y de la microbiología en campos variados como la industria alimentaria, farmacéutica o la biorremediación. El quinto, se centra en la inmunología y sus aplicaciones, profundizando en el estudio del sistema inmune humano, sus disfunciones y deficiencias, finalizando con la evolución en el último bloque.

Sin embargo, aunque hasta ahora se ha detallado lo que en el currículo actual se recoge sobre genética y biotecnología, se ha de tener en cuenta que los cursos 2013/2014 y 2015/2016 en los que se han pasado parte de los cuestionarios continuaba

vigente el currículo de la Ley Orgánica 2/2006, de 3 de mayo, de Educación y fue en el curso 2015/2016 en el que se produjo un cambio legislativo en educación. Así en 2015/2016, los estudiantes de 1º de Bachillerato que cursaban la asignatura Biología y Geología tenían el currículo articulado por la Ley Orgánica 8/2013, de 9 de diciembre, para la Mejora de la Calidad Educativa. Por ello, debido a que, durante la realización de esta investigación, se produjo en España un cambio de currículo académico que afectó a los estudiantes que participaron en el estudio, para ser exhaustivos con los contenidos que los estudiantes habían cursado, de manera que el lector conozca cuál es el contexto académico del que se partía, en la parte de metodología, se ha detallado qué habían estudiado cada uno de los grupos de estudiantes en el momento en que participaron en el estudio. Pero antes de continuar se hace aquí una breve referencia al currículo que se encontraba vigente en los cursos académicos 2013/2014 y 2015/2016.

Según el Real Decreto 1631/2006, de 29 de diciembre, por el que se establecen las enseñanzas mínimas correspondientes a la Educación Secundaria Obligatoria (Ministerio de Educación, 2006) vemos que había contenidos relacionados con la genética y la biotecnología en los niveles de 4º de ESO. Estos contenidos se encontraban en el Bloque 3. La evolución de la vida y son: Estudio del ADN: composición, estructura y propiedades. Valoración de su descubrimiento en la evolución posterior de las ciencias biológicas. La herencia y la transmisión de los caracteres: El mendelismo. Resolución de problemas sencillos relacionados con las leyes de Mendel. Genética humana. La herencia del sexo. La herencia ligada al sexo. Estudio de algunas enfermedades hereditarias. Aproximación al concepto de gen. El código genético. Las mutaciones. Ingeniería y manipulación genética: aplicaciones, repercusiones y desafíos más importantes. Los alimentos transgénicos. La clonación. El genoma humano. Implicaciones ecológicas, sociales y éticas de los avances en biotecnología y genética reproductiva.

En Bachillerato, los contenidos se recogían en el Real Decreto 1467/2007 (Ministerio de Educación, 2007). Así, en 1º de Bachillerato, en la asignatura Ciencias para el Mundo Contemporáneo, se trataban diversos aspectos relacionados con la biotecnología como son: La revolución genética. El genoma humano. Las tecnologías del ADN recombinante y la Ingeniería genética. Aplicaciones. La reproducción asistida. La clonación y sus aplicaciones. Las células madre. La Bioética. En 2º de Bachillerato,

los alumnos estudiarían en el Bloque 3. La herencia. Los contenidos: genética molecular: Aportaciones de Mendel al estudio de la herencia. La herencia del sexo. Herencia ligada al sexo. Genética humana. La teoría cromosómica de la herencia. La genética molecular o química de la herencia. Identificación del ADN como portador de la información genética. Concepto de gen. Las características e importancia del código genético y las pruebas experimentales en que se apoya. Transcripción y traducción genéticas en procariotas y eucariotas. La genómica y la proteómica. Organismos modificados genéticamente. Alteraciones en la información genética; las mutaciones. Los agentes mutagénicos. Mutaciones y cáncer. Implicaciones de las mutaciones en la evolución y aparición de nuevas especies. y en el Bloque 5. La inmunología y sus aplicaciones: Anticuerpos monoclonales e Ingeniería genética.

Finalmente, consideramos conveniente revisar las referencias a la genética y biotecnología que figuraron en el currículo de la Ley Orgánica General del Sistema Educativo (LOGSE), de 3 de octubre de 1990 (Gobierno de España, 1990). Así, según el Real Decreto 1390/1995, de 4 de agosto, por el que se modifica y amplía el Real Decreto 1345/1991, de 6 de septiembre, por el que se establece el currículo de la Educación Secundaria Obligatoria (Ministerio de Educación, 1995), en 4º de ESO y para la asignatura Biología y Geología, apenas aparecen los términos genética y cromosomas y en esos casos, vinculados a los cambios evolutivos. Ninguna referencia ni al ADN, ni a la biotecnología y sus aplicaciones. De esta manera, se hace necesario poner en evidencia la manera en la que ha evolucionado la inclusión de la genética y la biotecnología en los currículos escolares; lo que nos lleva a reflexionar sobre el hecho de que son estas áreas de la Biología, de gran actualidad y su presencia en el currículo va haciéndose más notable conforme evoluciona la ciencia y la necesidad de la misma por parte de la sociedad.

#### **2.1.6. Genética, biotecnología y controversias sociocientíficas**

En los últimos años, la revolución genética ha supuesto un gran beneficio para el avance de nuestro bienestar por su potencial para intentar resolver algunos de los problemas de la actualidad. La manipulación del ADN de un organismo, uno de sus principales campos de aplicación (desde la medicina a la agricultura), y los procedimientos que utiliza (como ingeniería genética o cultivo de microorganismos) forman parte de lo que conocemos como biotecnología moderna (Harms, 2002). A pesar

de sus múltiples aplicaciones, la biotecnología suscita controversias sociales sobre las posibles afecciones a la salud humana, el medio ambiente o, incluso, la economía, planteando amenazas a las variedades de cultivos naturales o provocando debates éticos (AbuQamar, Alshannag, Sartawi, e Iratni, 2015).

Los temas controvertidos que vinculan a la ciencia y la sociedad (investigación con células madre, ingeniería genética, clonación y problemas ambientales) se han denominado problemas o controversias sociocientíficas (Sadler, Amirshokoohi, Kazempour, Allspaw, y AllspawKathleen, 2006) y, entre los mismos, las aplicaciones de la biotecnología ocupan un lugar destacado (Fritz et al., 2003).

La biotecnología es un área en constante crecimiento que genera un conocimiento de gran valor y que, al estar inmersa en dichas controversias, motiva que los estudiantes, no solo deban conocer sus principios biológicos, sino también sean conscientes de los valores que están relacionados con ella, así como los posibles beneficios y riesgos de carácter político, social, legal y ético que derivan de su desarrollo (Hammann, 2018).

## **2.2. Estudio de la genética en educación secundaria: enseñanza-aprendizaje de los contenidos**

Una vez situadas la genética y la biotecnología en el currículo y observando la continuidad entre ellas en la enseñanza secundaria y la importancia que se les otorga, es importante incluir en esta revisión bibliográfica algunas de las principales ideas que mantienen los alumnos de secundaria sobre la Herencia Biológica, que han sido clasificadas en diversos ámbitos para facilitar su análisis. Estas ideas, alejadas en algunos casos de lo considerado correcto desde el punto de vista científico, supondrán una dificultad para los estudiantes a la hora de comprender la biotecnología y participar en los debates sobre temas sociocientíficos.

### **2.2.1. Importancia de la enseñanza-aprendizaje de genética en enseñanza secundaria. Genética, constructivismo e ideas de los estudiantes**

Pese a la enorme importancia de la genética, los alumnos la encuentran como una de las áreas más complicadas de la Biología; al igual que los profesores, que admiten obstáculos en la enseñanza de algunos de sus aspectos. Contribuyen a esta dificultad el lenguaje (pues es un área repleta de términos complejos), el contenido

matemático (la resolución de problemas), la actitud de los alumnos hacia la misma (que en ocasiones puede ser de desmotivación al no comprenderla), los términos que llevan a confusión por parecerse (como meiosis y mitosis), y el tiempo del que se dispone en un ajustado programa para dar esta parte (Bahar, Johnstone, y Hansell, 1999).

Estos mismos autores aplican la idea de que la dificultad es debida a los diferentes niveles de pensamiento que ya planteaba Johnstone (1991). Estos niveles son: las características observables de los seres vivos, que se localizan en el nivel tangible o macro; el uso de los genes o alelos para explicar estas características observables, lleva a los estudiantes al nivel molecular o sub-micro, que ya no es accesible directamente a través de los sentidos. Además, estos se representan y manipulan a través de símbolos o fórmulas matemáticas, las cuales forman parte de un nivel simbólico o representacional.

Para lograr que los alumnos consigan establecer la relación entre todos los niveles, y de esta manera adquieran un conocimiento completo y útil para la explicación de los fenómenos relacionados con la Herencia Biológica, desde el constructivismo se señalan varias características que son necesarias tener en cuenta en cada actuación docente.

Según (Driver, 1986), éstas son:

- Lo que hay en el cerebro del que va a aprender tiene importancia.
- Encontrar sentido supone establecer relaciones. Los conocimientos que permanecen un largo tiempo en la memoria se estructuran e interrelacionan de múltiples formas.
- Quien aprende construye activamente significados, interpreta nuevas experiencias a partir de lo que ya sabe y este conocimiento inicial se termina por modificar.

Por tanto, las ideas de los alumnos que van a iniciar sus estudios en cualquier ámbito, serán de gran importancia a la hora de abordar la propuesta. En este sentido, Osborne y Wittrock (1983) indican varios aspectos sobre las características e importancia de las ideas intuitivas. En primer lugar, no suelen ser coincidentes con los conceptos, leyes o teorías que han de aprender los alumnos, lo cual provoca que interfieran en el aprendizaje de las ciencias y, por otra parte, constituyen un esquema conceptual coherente y de amplio poder explicativo que las hace resistentes al cambio.

En cuanto a esta resistencia al cambio, Campanario (2002) señala que es uno de los factores que más dificulta el aprendizaje en ciencias. De hecho, el autor describe un

paralelismo entre la resistencia a las nuevas ideas que manifiestan los estudiantes y las que se han producido y se producen, ante las ideas cambiantes en la ciencia.

Un aspecto interesante a tener en cuenta y que sería útil recordar antes de concluir este subapartado, es comprender que la visión del profesorado en formación sobre las ideas de los alumnos se ha mostrado en ocasiones lejana de la visión alternativa del constructivismo didáctico, idea sobre la que hay que recapacitar, como indican Martín, Rivero y Azcárate (2014) en relación con la formación de formadores. Para superar estos aspectos, según señalan las autoras, se ha de tener en cuenta que los únicos referentes prácticos directos que poseen los futuros docentes son aquellos que han vivido como alumnos, por ello, necesitarán experimentar sus nuevas ideas y reflexionar sobre dicha experimentación para poder ir consolidando los cambios.

### **2.2.2. Ideas sobre genética de estudiantes de enseñanza secundaria**

En este apartado, se recogen algunas de las ideas, que la revisión bibliográfica ha mostrado acerca de las ideas que los estudiantes de enseñanza secundaria, en diferentes contextos educativos.

*Sobre la herencia de los caracteres.* Se ha constatado la confusión en el significado del término “información genética” (Lewis y Wood-Robinson, 2000). También, el desconocimiento de cómo los genes llegan a determinar las características de los individuos (Lewis y Wood-Robinson, 2000). Algunos estudiantes atribuyen el mayor parecido a un progenitor que a otro explicando que los descendientes poseen más cantidad de información hereditaria de este progenitor (Kargbo, Hobbs, y Erickson, 1980).

*Información hereditaria en los seres vivos.* Caballero (2008) ha encontrado que hay estudiantes que solo atribuyen mecanismos de transmisión hereditaria semejantes para organismos cercanos taxonómicamente a la especie humana. Además, hay seres vivos a los que se atribuyen genes y no cromosomas, y viceversa, lo que indica que no está clara la relación entre los mismos (Lewis, Leach, y Wood-Robinson, 2000a). Banet y Ayuso (2000) han encontrado que, en ocasiones, no se reconoce que las plantas tienen células. Además, tampoco los alumnos relacionan la reproducción sexual con las plantas. Esto quizás se deba a que confunden la reproducción sexual con los procesos de fertilización (Banet y Ayuso, 2000; Caballero, 2008; Lewis y Wood-Robinson, 2000).

*Localización de la información hereditaria.* Existe confusión en el papel de cromosomas, genes y ADN (Wood-Robinson, Lewis, y Leach, 2000). No se establece una relación correcta entre organismo, célula, núcleo, cromosoma, gen y ADN (Lewis, Leach y Wood-Robinson, 2000b). Algunos estudiantes piensan que los cromosomas sexuales solamente están en los gametos (Banet y Ayuso, 2000).

*Información hereditaria en diferentes tipos celulares.* La mayor parte del alumnado no entiende cómo se forma el individuo completo a partir del cigoto por mitosis (Banet y Ayuso, 2000). Los estudiantes creen que la información hereditaria de distintos tipos celulares es diferente porque cada tipo celular lleva información genética especializada para realizar su función (Banet y Ayuso, 1995; Lewis y Wood-Robinson, 2000). Además, para la mayoría de los estudiantes la información genética reside en los gametos (Banet y Ayuso, 1995).

Más aún, la deficiencia del conocimiento no solo afecta a la información genética presente en las células, sino también al conocimiento sobre éstas con un carácter más general. Así, Fernández y Jiménez-Tejada (2018) subrayan que la enseñanza de las células sigue siendo un proceso deficiente y con errores metodológicos en contextos educativos contemporáneos. Las autoras evidencian la necesidad de modificar el enfoque tradicional de enseñar la célula (basada en la estructura celular), hacia una perspectiva nueva y más integradora centrado en la funcionalidad celular. Esto es debido a que los problemas relacionados con la comprensión de los estudiantes de tamaños y escalas siguen presentándose en los contextos educativos actuales.

*Procesos de división celular.* Algunos estudiantes piensan que los gametos tienen el mismo número de cromosomas (no la mitad) y el cigoto el doble (Lewis y Wood-Robinson, 2000). Existe la creencia de que el espermatozoide lleva mucha información hereditaria porque dará lugar al nuevo individuo (Wood-Robinson et al., 2000). Lewis y Wood-Robinson (2000) han encontrado confusión entre los términos mitosis y meiosis. Además, hay jóvenes que piensan que en la mitosis las células hijas llevan el mismo número de cromosomas porque es el mismo tipo celular (Lewis, Leach, y Wood-Robinson, 2000c).

*Mutaciones y sus efectos.* Algunos estudiantes piensan que los cambios somáticos producidos en un individuo se transmiten a la descendencia, aunque no haya mutación en los gametos (Banet y Ayuso, 1995; Kargbo et al., 1980). Los alumnos

relacionan mutación con cambio físico o transformación anatómica (Abril et al., 2004; Ayuso y Banet, 2002). Relacionan también mutación y radiactividad, pero no mutación y cambio en ADN (Abril et al., 2004). Además, existe la idea de que las mutaciones dotan de superpoderes (Abril et al., 2004).

*Causas de variabilidad.* Los jóvenes no entienden que el reparto de los cromosomas en la meiosis es al azar (Wood-Robinson et al., 2000). Tampoco saben que el principal propósito de la reproducción sexual es incrementar la variabilidad genética (Lewis y Wood-Robinson, 2000). Las mutaciones son entendidas como cambios graduales en los seres vivos que les hacen adaptarse a los cambios del medio que los ponen en peligro, ocurriendo por igual en todos los organismos amenazados (Ayuso y Banet, 2002).

### **2.3. Estudio de la biotecnología en enseñanza secundaria**

Ahora que ya se ha establecido un marco teórico sobre la enseñanza-aprendizaje de la genética, y comprendidas la relación entre las mismas se pasa a profundizar en lo propio sobre la biotecnología.

#### **2.3.1. Importancia del estudio de biotecnología en enseñanza secundaria.**

##### **Biotecnología como relación de ciencia y tecnología**

Una vez definido el término biotecnología, las técnicas que emplea y las posibilidades para su utilización en diversos ámbitos, así como la importancia del aprendizaje de la genética y sus aplicaciones derivadas, se puede establecer que la biotecnología resulta una herramienta interesante para aproximar la enseñanza a la manera de trabajar los científicos. Esto es importante teniendo en cuenta que en educación secundaria no es común enfrentar al alumnado a reflexiones relacionadas con la naturaleza y evolución de la ciencia, primando en la mayor parte de las ocasiones los contenidos relacionados con el carácter propedéutico de las disciplinas, proporcionando una imagen de la ciencia lejana a la realidad (Vílchez y Carrillo, 2010).

En la revisión que realiza France (2007) acerca de la localización de la biotecnología en el currículo, uno de los aspectos que estudia es qué papel tienen en el mismo la ciencia y la tecnología. En los años 90, la tecnología fue incluida en el currículo de muchos países con el objetivo de unir la ciencia académica con la tecnología práctica, de manera que los estudiantes pudieran contribuir a los debates con

opiniones informadas. Sin embargo, articular las relaciones entre ciencia y tecnología en el currículo no resulta fácil y éstas pueden enfocarse desde diferentes puntos de vista, como indica Gardner (1994, citado por France, 2007): tecnología como ciencia aplicada, ciencia y tecnología como comunidades independientes, tecnología como impulsora del conocimiento científico o ciencia y tecnología como comunidades iguales que interaccionan.

*Tecnología como ciencia aplicada.* La idea de que la ciencia genera solo tecnología queda obsoleta, ya que la manera de trabajar en la actualidad está regida por complejas contribuciones entre comunidades científicas y tecnológicas. A pesar de esto, la visión de la tecnología como ciencia aplicada aún se puede encontrar en los currículos escolares.

*Ciencia y tecnología como comunidades independientes.* Hay evidencias históricas de que, en el pasado, ciencia y tecnología trabajaban de manera independiente, no obstante, esto no representa la situación actual y este enfoque puede dificultar la visión de la biotecnología moderna a los estudiantes. Marco (2003) indica cómo en el panorama español, las ciencias de la naturaleza y la tecnología constituyen dos bloques curriculares aparte, en los que la ciencia tiene el objetivo de que los estudiantes adquieran cultura científica y la tecnología posee una concepción constructivista y manipulativa.

*Tecnología como impulsora del conocimiento científico.* Este punto de vista considera que la instrumentación es lo que permite el avance del conocimiento científico, por ejemplo, el descubrimiento del mundo microscópico se produjo gracias a la construcción del microscopio en el siglo XVII. Un ejemplo más actual sería como los microarrays pueden medir los niveles de expresión de miles de genes. Esta relación tan cercana está presente en el trabajo de bioingenieros y bioinformáticos, que determinan cómo se pueden presentar los materiales de manera que sean accesibles para investigadores, pues en la biología de sistemas, la genómica y la proteómica convergen con la biología y la ingeniería. Esta íntima relación entre ciencia y tecnología no se aprecia en la mayoría de los currículos, por lo que la enseñanza de la historia de la ciencia y la tecnología podría ser muestra de esta unión, así como la biotecnología moderna.

*Ciencia y tecnología como comunidades iguales y que interactúan.* Esta perspectiva en la que científicos tienen que tener conocimientos en tecnología y los técnicos trabajar como científicos es probablemente la representación más cercana al trabajo en biotecnología moderna. Un ejemplo sería las tecnologías de bioprocesos que extraen química fina de desechos de carne y pescado y los procesos que permiten que el material retenga su actividad biológica en forma de enzimas. Como apunta Marco (2003), desde la elucidación de la estructura del ADN han sido muy numerosos los descubrimientos que se han realizado y que han llevado al nacimiento de nuevas ciencias como la genómica, proteómica o la bioinformática. Este desarrollo de las ciencias experimentales en la segunda mitad del siglo pasado ha sido posible gracias a la revolución científico-tecnológica, que se ha basado en el apoyo en técnicas físicas para la elucidación estructural de moléculas químicas y químico-biológicas. Algunas técnicas que suelen emplearse en la investigación son el microanálisis, la difracción de rayos X, la espectrometría infrarroja y ultravioleta, la resonancia magnética, espectrometría de masas, las microscopías, la electroforesis y las técnicas computacionales.

Por lo tanto, hoy sería muy difícil establecer el límite entre ciencia y tecnología ya que la mayoría de los descubrimientos recientes se dan en un espacio común entre ambas, y el estudio de la biotecnología podría contribuir en el aula a esta visión de trabajo conjunto e interdisciplinar en la investigación actual. La biotecnología podría encuadrarse en las anteriores diferentes perspectivas, por lo que depende del currículo y el profesorado el enfoque que se ofrezca de la misma.

### **2.3.2. Qué se sabe del conocimiento de los estudiantes en biotecnología**

En esta tesis doctoral se han analizado trabajos que establecen que algunos estudiantes pueden finalizar la educación secundaria con conocimientos poco adecuados que dificultarán la comprensión de aspectos relacionados con biotecnología que se presentan en la vida cotidiana (por ejemplo en Maes, Gheysen, y Valcke (2015)).

El conocimiento de los estudiantes sobre biotecnología es generalmente definido como conocimiento racional y de contenido probatorio sobre conceptos y procedimientos clave en esta área (Fonseca et al., 2012), y ha sido descrito consistentemente como insuficiente y erróneo por diferentes autores, tal y como muestra la bibliografía revisada en: estudiantes de secundaria de 12 a 17 años (Dawson, 2007),

en estudiantes universitarios de 18 a 25 años de edad (Prokop, Lesková, Kubiátko, y Diran, 2007), en estudiantes de secundaria y universitarios de 14 a 27 años (Usak, Erdogan, Prokop, y Ozel, 2009), en estudiantes de secundaria durante el Bachillerato entre 15 y 18 años (Ruiz y Banet, 2016; Ruiz, Banet, y López-Banet, 2017a) y en estudiantes de secundaria de 17 a 18 años (Chen, Chu, Lin, y Chiang, 2016). También Hammann (2018) expone que aunque en estudios más recientes se muestra una cierta mejora de los conocimientos de los estudiantes, las investigaciones muestran con claridad una falta de conocimiento significativo.

En muchos estudios se han encontrado errores básicos como falta de conocimiento de puntos clave de la genética como el propio conocimiento del ADN y su transmisión. Así, además de la revisión realizada en el apartado anterior, se destacan aquí algunos errores más concretos en los conocimientos sobre genética que pueden motivar a la incorrecta comprensión de la biotecnología. “Los tomates comunes no contienen genes, mientras que los tomates modificados genéticamente sí contienen genes” es una frase que se presenta habitualmente en estudios sobre biotecnología (AbuQamar et al., 2015; de la Vega, Lorca y de las Heras, 2018; Gaskell et al., 2006). Otra idea errónea que suele presentarse es no localizar la información genética completa en cada una de las células del organismo, por ejemplo, muchos estudiantes (en este caso universitarios) desconocen que en el genoma de las células del riñón puede haber información sobre el color del pelo (Casanoves, González, Salvadó, Haro y Novo, 2015). Por otra parte, Vega, Gallegos y Flórez, (2017) reportan ideas previas sobre genética y biotecnología a menudo erróneas, por ejemplo, asociar la biotecnología a aplicaciones futuristas o utópicas.

En cuanto a las diferencias entre biotecnología tradicional y moderna, Alias, DeWitt y Siraj (2014) encontraron desconocimiento de la biotecnología tradicional, asociando los alumnos únicamente la biotecnología con la ingeniería genética. Koralova (2011) detectó que los estudiantes no engloban dentro de la biotecnología procesos como la producción de cerveza, queso u otros basado en el uso de microorganismos.

Teniendo en cuenta el importante papel que tienen las bacterias en numerosas investigaciones en biotecnología, también resultan de interés los estudios sobre los conocimientos de los estudiantes acerca de los microorganismos. Así, autores como Harms (2002) han indagado sobre el deficiente conocimiento de su papel en diferentes

partes del cuerpo humano, atribuyéndoles, por ejemplo, una función digestiva al absorber ‘agentes nocivos’ o procesando sustancias no deseadas en el hígado, purificando la sangre o aumentando la eficacia de la bilis. También se refiere en el trabajo de Simonneaux (2000) que los estudiantes destacan que las bacterias se alimentan de materia de desecho y que la flora intestinal se compone de ‘bacterias buenas’ que digieren la fibra. Harms (2002) dice que los estudiantes son capaces de citar alimentos que se preparan con el uso de bacterias como el yogur, pero también mencionan alimentos que no se preparan gracias a ellas como el vino o la cerveza, además, el primer proceso biotecnológico que los estudiantes conectan a las bacterias es la purificación del agua, por descomposición de los productos químicos (idea científicamente correcta). Finalmente, de nuevo Simonneaux (2000) señala que el uso industrial de las bacterias es prácticamente desconocido para los estudiantes ya que, con frecuencia, las bacterias son percibidas como agentes de descomposición y difícilmente pueden concebir su uso para fabricar alimentos.

Sin embargo, en cuanto al conocimiento sobre aplicaciones de biotecnología, encontramos que en el ámbito sanitario los estudiantes conocen el uso de organismos modificados genéticamente (Öztürk-Akar, 2016) y tienen conocimientos sobre la producción de medicamentos y vacunas por biotecnología (Fonseca et al., 2012). Un alto número de alumnos, especialmente en los artículos realizados en el Reino Unido, menciona la clonación de la oveja Dolly como ejemplo de biotecnología. Dentro de este grupo se encuentran respuestas variadas que incluyen el uso de células madre o técnicas de fecundación. Engloban también en este campo la producción de fármacos mediante microorganismos, siendo el ejemplo más citado el de la insulina (van Lieshout y Dawson, 2016). Kolarova, Hadjiali y Denev (2013) señalan que los estudiantes han oído hablar del Proyecto Genoma Humano, pero no saben qué significa. Respecto a la alimentación, estudios como el de Dawson (2007) muestran que los estudiantes describen bien los alimentos transgénicos, mientras que Maes, Bourgonjon, Gheysen y Valcke (2018) indican que, aunque los conocen, sus descripciones resultan pobres. Prokop et al. (2007) encuentran ideas en los estudiantes acerca de que los alimentos modificados genéticamente pueden contener sustancias químicas peligrosas o los OMG son más grandes que los normales. Existen alumnos y alumnas que incluso piensan que estos alimentos pueden destruir nuestros genes (Rashidah, Norlidah y Mohammad, 2013). Occelli, Vilar y Valeiras (2011) han encontrado que los estudiantes consideran

que el tomate, la soja, el maíz y otros productos procesados o envasados están relacionados con los alimentos transgénicos. Por último, en el ámbito de agricultura, ganadería y medio ambiente, los alumnos saben que la modificación genética en animales y plantas puede aumentar su productividad y resistencia a las enfermedades (Öztürk-Akar, 2016), pero son pocos los estudiantes que conocen la eliminación de aceites contaminantes utilizando bacterias genéticamente modificadas (Fonseca et al., 2012). En el caso de la ganadería existe la percepción de que las modificaciones genéticas resultan dolorosas para los animales (aspecto que puede estar relacionado con el rechazo a los alimentos modificados genéticamente). Además, un número ínfimo de estudiantes conoce la hormona somatotropina de crecimiento producida por los animales, así como su utilización para aumentar el tamaño de los mismos y distribuir la energía de la dieta, disminuyendo la acumulación de grasa y aumentando la proporción de magra (Kolarova, 2011). Existe también un gran desconocimiento de los usos medioambientales de la biotecnología, como la utilización de microorganismos modificados genéticamente para la eliminación más eficiente de residuos humanos o de productos contaminantes. Muchos alumnos y alumnas, por el contrario, sobreestiman los usos de la biotecnología en nuestra sociedad, confundiendo sus verdaderas aplicaciones con otras ficticias o que solo serán posibles en el futuro (Gardner y Troelstrup, 2015).

Una posible explicación podría ser que la mayoría de los estudiantes solo vincula la biotecnología con actividades que implican directamente a la ingeniería genética (clonación, producción de medicamentos y transgénicos), dejando de lado otras cuestiones. Una causa de este resultado podría ser que estos son los procesos biotecnológicos incluidos con mayor frecuencia en los medios de comunicación, así como también al hecho de que, en general, en las escuelas abordan de modo principal las aplicaciones biotecnológicas en el marco del desarrollo de la Ingeniería genética (Ocelli et al., 2011). Esto es, que los estudiantes solo consideran biotecnología aquellos procesos que hacen uso de técnicas modernas basadas entre otros en la genética (Kolarova, 2011).

Probablemente la explicación de este menor interés por los usos industriales de la biotecnología y la posibilidad de crear nuevos productos o mejorar los procesos de producción (detectado en trabajos como el de Bray y Ankeny, 2017) sea que los estudiantes tienen, como se ha mencionado anteriormente, una idea muy superficial

sobre los virus y bacterias utilizados en esta aplicación, al asociar a ambos preferentemente con condiciones patológicas, por lo que raramente se plantean el uso de los mismos en la elaboración de productos de interés humano (Gardner, Jones, Taylor, Forrester y Robertson, 2010).

### **2.3.3. Qué se sabe sobre la actitud de los estudiantes hacia la biotecnología**

La gran variedad de aplicaciones biotecnológicas puede explicar que los grados de aceptación sobre las mismas sean distintos. Así, están más afectadas por controversias las más relacionadas con el medio ambiente, pero menos las de la salud e industria, al resultar menos polémicas por proporcionar resultados perceptibles y positivos desde el punto de vista del paciente o del consumidor y debido a que a menudo salvan la salud humana o la vida (Kafarski, 2012). En cuanto a la biotecnología industrial, también hay evidencias de dificultades en la comprensión de los procesos enzimáticos para la producción de fármacos u otros productos de interés humano (Ocelli et al., 2011).

El estudio de las actitudes hacia los temas científicos es de bastante complejidad al ser éstas constructos multidimensionales determinadas por el conocimiento, las creencias o las ideas sobre el asunto en cuestión (componente cognoscitivo); la sensación entre aceptación y rechazo (componente afectivo) que nos producen y cómo nos mueven hacia la acción (componente de comportamiento) (Reid, 2006). Autores como Klop y Severiens (2007) y Fonseca et al. (2012) coinciden en lo adecuado de este planteamiento multidimensional para entender la actitud hacia la biotecnología. Sin embargo, en muchos estudiantes, el conocimiento parece ser superficial, especialmente en el dominio de la terminología y la capacidad para discriminar los usos actuales de las posibilidades hipotéticas y futuras (como se ha comprobado en el apartado anterior). Probablemente, como explican Lieshout y Dawson (2016), por esta razón, las justificaciones de los estudiantes sobre sus planteamientos éticos, así como sus respuestas escritas en cuestionarios, muestran escasas habilidades para justificar sus decisiones. Un paso importante para la educación teniendo en cuenta actitudes en biotecnología, es determinar qué influye en las percepciones de los estudiantes sobre la misma y cómo varía según el área en la que se aplique (Wingenbach, Rutherford y Dunsford, 2003).

En relación con el ámbito médico, la mayor parte de los estudios sugieren que los estudiantes se muestran a favor del uso de la ingeniería genética para la investigación (Chen et al., 2016), el uso de organismos modificados genéticamente en la medicina (Öztürk-Akar, 2016), la producción de nuevos medicamentos y el diagnóstico y/o tratamiento de enfermedades (Occelli et al., 2011), y terapia génica y aplicaciones clásicas (Fonseca et al., 2012). A esta predisposición tan favorable, Sáez, Gómez-Niño y Carretero (2008) la nombran como “máximo de la salud” ya que parece que ésta justifica cualquier tipo de intervención tecnológica que repercuta en el bienestar de las personas. Sin embargo, en otros casos se indica que el uso de técnicas como la terapia génica no tiene en general esa aceptación (Gardner y Troelstrup, 2015).

Centrándonos en nuestro país (Sáez et al., 2008), las actitudes más favorables se encuentran cuando se pregunta a los estudiantes sobre algunas de las aplicaciones clínicas de la biotecnología, mostrando casi unanimidad a la hora de defender la posibilidad de realizar análisis genéticos para obtener información sobre posibles enfermedades hereditarias de los recién nacidos. De igual manera, aunque en menor proporción, aprueban que estos análisis se hagan sobre los progenitores (en ocasiones esta respuesta puede ser debida a que el alumno no es consciente de que una persona puede ser portadora de alelos responsables de una enfermedad, aunque no la padezca). Respecto a cuestiones relacionadas con la legitimidad de los padres para realizar este tipo de prueba para seleccionar el sexo de su hijo, los alumnos se mostraban mayormente en contra, utilizando argumentos como que, si se pudiera, todo el mundo lo haría, que la naturaleza debe decidir, que es una elección egoísta o que supondría el fin de la diversidad. Un número muy minoritario de estudiantes se oponen a estas prácticas por motivos religiosos.

En el campo de la alimentación y, en particular, en cuanto a las actitudes hacia el consumo de alimentos modificados genéticamente, muchos estudiantes no se sienten seguros al comprar estos productos (Öztürk-Akar, 2016). Algunos consideran que pueden implicar riesgos para la salud al contener sustancias químicas capaces de dañar el cuerpo humano (Usak et al., 2009). La mayoría de los adolescentes entrevistados por Jurkiewicz, Zagórski, Bujak, Lachowski y Łuszczki (2014) encontraban más aspectos negativos que positivos respecto a los alimentos modificados genéticamente. En Estados Unidos (Sadler y Donnelly, 2006), país puntero en el uso de la biotecnología, existe un amplio apoyo al uso de la misma para beneficio humano, considerando además los

alumnos, por encima de lo visto en otros países, que los alimentos modificados genéticamente son seguros.

Según Chen et al. (2016), los estudiantes se muestran desfavorables a las aplicaciones de la biotecnología en los campos agrícola, pecuario y medioambiental, mostrando cierta preocupación por el impacto negativo en el medio ambiente. Sin embargo, presentan actitudes más positivas hacia la eliminación de enfermedades en las plantas, el tratamiento de aguas residuales (Öztürk-Akar, 2016) y a las aplicaciones como la mejora de las plantas o la producción ganadera (Occelli et al., 2011). Los escolares examinados por Jurkiewicz et al. (2014) abordaron de manera relativamente escéptica los logros de la biotecnología en el área de la modificación genética de plantas y animales. La aceptación por parte de los estudiantes de investigación en tecnología genética para la sostenibilidad ambiental es también muy alta, pero muestran cierta preocupación hacia la regulación de los riesgos en el medio ambiente asociado con la biotecnología (Gardner y Troelstrup, 2015). El interés por los usos industriales de la biotecnología y la posibilidad de crear nuevos productos o mejorar los procesos de producción es también muy reducido (Bray y Ankeny, 2017).

En cuanto al tipo de organismo, los estudiantes aceptan las prácticas de biotecnología que involucran modificaciones en las plantas, pero consideraron estas mismas prácticas como inaceptables para el uso en humanos (Aznar, 2000; Wingenbach et al., 2003). Tampoco están a favor de las aplicaciones que requieren la modificación de animales mediante la introducción de genes de seres humanos, pero están de acuerdo con su uso para producir medicamentos (Usak et al., 2009). Sin embargo, la utilización de microorganismos en procesos biotecnológicos suele ser aceptada sin problemas (Dawson y Schibeci, 2003).

Los trabajos al respecto de Kolarova (2011) coinciden con los planteamientos anteriores, señalando que la actitud frente a las aplicaciones biotecnológicas varía ampliamente dependiendo de su valor pragmático, seguridad y aceptabilidad moral. Así, advierte que, en cuanto a una de las aplicaciones más conocida, como es la ingeniería genética, la actitud hacia la misma depende en gran medida del tipo de organismos manipulados que contiene, en lugar del propósito para el que se utilizan. Así, los estudiantes perciben más positivamente la tecnología de ingeniería genética si se utilizan formas de vida menos organizadas.

También en otra investigación diferente sobre organismos transgénicos, Črne-Hladnik, Peklaj, Košmelj, Hladnik y Javornik (2009) obtuvieron conclusiones similares. Los estudiantes juzgaban la aceptabilidad de dos aplicaciones en los campos de la agricultura y la industria alimentaria. Así, la evaluación de la producción de maíz Bt fue mucho más aceptable que la cría de salmón genéticamente modificado desde los tres puntos de vista: utilidad, aceptabilidad moral y percepción de riesgo. Este hallazgo corresponde con las conclusiones de varios estudios previos en los que se descubrió que los humanos están mucho más conectados emocionalmente con los animales que con las plantas (Hoban y Kendall, 1992; Zechenedorf, 1994; Sjöberg, 2004). Aunque también pueden influir otros factores, por ejemplo, Casanoves et al. (2015) han visto como los estudiantes aceptan los OMG para salvar vidas humanas o prevenir enfermedades, pero no para nuestro placer o ganancia económica. Incluso siendo más precisos, la aplicación de la terapia genética en las líneas somáticas son más aceptables que las que afectan a las líneas germinales (Črne-Hladnik et al., 2009).

Del mismo modo, resulta interesante observar de qué manera va a influir en la actitud de los estudiantes el contexto socioeconómico en el que vivan y la diferente inversión en materia de biotecnología de los diferentes países (Ayuso, Fernández-Alías, Ruiz y López-Banet, 2019), así se puede establecer entre los países dos categorías: a) con industria biotecnológica; y b) industrializados no biotecnológicos. Entre los primeros, la revisión bibliográfica muestra, que los estudiantes que presentan un mejor conocimiento en biotecnología, también tienen una mayor predisposición hacia la misma. Por otra parte, entre los segundos, con una industria biotecnológica no establecida, las diferencias encontradas llevan a agregar dos subcategorías: de apoyo y de rechazo. En el subgrupo de apoyo a la investigación, los estudiantes mostraron una aceptación hacia las aplicaciones que tienen similitudes con los países que tienen industria biotecnológica. En cuanto a los que sí manifiestan este rechazo, los estudiantes mostraron igualmente su oposición hacia las aplicaciones biotecnológicas. Es de interés destacar que, en este grupo, las aplicaciones médicas mostraron (en contra de otros resultados, por ejemplo, Chen et al., 2016) menos aceptación que las ambientales. Por último, en este grupo de países un mejor nivel de conocimiento, sin embargo, se correlaciona con mayor aceptación de las aplicaciones.

En la tabla 2, se incluye un resumen de este apartado.

Tabla 2

*Cuadro resumen actitud hacia biotecnología en la bibliografía*

Ámbito	A favor	En contra	A favor y en contra
Médico	Producción de fármacos Diagnóstico enfermedades	Selección del sexo de de un bebé	Terapia génica
Alimentario			Alimentos transgénicos
Agrícola y pecuario	Eliminación enfermedades plantas Mejora ganadera	de de	
Medioambiental	Tratamiento de aguas residuales		Riesgos para el medio ambiente
Industrial	Poco presente en la bibliografía		

Fuente: elaboración propia

### 2.3.4. Qué se sabe sobre el interés de los estudiantes hacia la biotecnología

El interés y la importancia que se otorga a algo está relacionado con la motivación, tanto intrínseca como extrínseca, que mostramos hacia ese tema; siendo estos factores determinantes tanto para el aprendizaje como para el comportamiento (Ryan y Deci, 2000). De este modo, entender cómo estas dos dimensiones interactúan entre sí y con el conocimiento y las actitudes, proporciona una línea de base para el diseño de mejores estrategias educativas (Fonseca et al., 2012).

Harms (2002) reporta que el interés hacia la biotecnología está poco basado en el conocimiento, siendo más un tipo de curiosidad y una apertura general hacia una nueva tecnología. Así también, el interés por la ingeniería genética se desarrolla paralelamente al interés en otros temas sociales generales. Por otra parte, Prokop et al. (2007) indican que muchos estudiantes están interesados en saber más sobre los OMG. Fonseca et al. (2012) señalan que están menos interesados en biotecnología los alumnos que no estudian ciencias, seguidos de los que sí lo hacen pero no han escogido Biología, siendo los más interesados los estudiantes que cursan esta asignatura. Sin embargo, todos reconocen la importancia de la misma para la mejora de la calidad de vida. Kidman (2010) indica que los estudiantes sienten que la bioética, las pruebas prenatales y la clonación humana deben incluirse en sus lecciones de Biología, generando mayor interés las pruebas de paternidad para usos humanos en biotecnología, mientras que los

estudiantes manifestaron estar desinteresados en el estudio de ideas clave relacionadas con biotecnología agrícola. También manifestaron un interés particular en las ventajas y desventajas de la tecnología genética, así como en sus riesgos, en las posibilidades de aplicación en la atención médica, en el mantenimiento de la nutrición mundial y en cuestiones éticas, aunque muestran menos interés en la aplicación de la tecnología genética en la producción animal y vegetal (Harms, 2002).

Otros trabajos se han interesado por identificar las fuentes por las que los estudiantes se informan acerca de la biotecnología, concluyendo que su nivel de conocimientos y sus actitudes se ven influenciados, de manera casi exclusiva, por los medios de comunicación: un alto porcentaje de encuestados se refieren a las noticias, reportajes, documentales de televisión y prensa escrita, antes que la formación académica (Aznar, 2000). Sin embargo, (Occelli et al., 2011) destacan la escuela, internet, la televisión y, en menor proporción, la radio y las amistades. No obstante, Dawson (2007) señala que entre los estudiantes de cursos inferiores las principales fuentes sobre la biotecnología son la televisión y las noticias, pero en cursos superiores serían, principalmente, la ciencia escolar, televisión, periódicos y familiares. En estudiantes universitarios, AbuQamar et al. (2015) señalan que internet es la fuente más utilizada además de las conferencias y las publicaciones técnicas.

### **2.3.5. Relaciones entre conocimientos, actitud e interés hacia la biotecnología**

Existe un cierto consenso en las investigaciones sobre el origen de las actitudes y que éstas son predisposiciones a actuar de una determinada manera a partir de respuestas que podrían ser de carácter afectivo, cognitivo y conductual, siendo, estos tres elementos interrelacionados los que configuran la actitud, como hemos señalado anteriormente; por lo que, para poder iniciar un cambio en las mismas, es imprescindible considerar que hay que intervenir en estas tres dimensiones (Arnau y Montanés, 2010). Más aún, si tenemos en cuenta, como apuntan muchos estudios, por ejemplo en Vázquez y Manassero (2007), el papel director de los sentimientos y las emociones sobre las cogniciones (aprendizajes) y las conductas (toma de decisiones), de modo que si los primeros gobiernan aprendizajes y conductas, deben ser atendidas adecuadamente en el ámbito escolar.

No obstante, los trabajos para encontrar correlaciones entre el conocimiento sobre biotecnología y la actitud hacia sus aplicaciones manifiestan bastante

controversia. Sin duda, un factor a considerar al respecto, es que los resultados de las diversas investigaciones dependen de factores como la construcción de la muestra, los métodos de recolección de datos y la forma en que se determina la comprensión (Dawson, 2007).

De este modo, nos encontramos investigaciones como las de Prokop et al. (2007), que señalan una correlación positiva entre actitudes y el interés e importancia que los estudiantes otorgan a la biotecnología, mientras que otros autores afirman que no siempre un mejor conocimiento sobre la biotecnología se refleja necesariamente en una mayor aceptación de sus aplicaciones (Klop y Severiens, 2007; Öztürk-Akar, 2016). La complejidad de las relaciones entre estos elementos se muestra al detectar que sí puede existir esa relación positiva entre mayor conocimiento y actitud favorable hacia la biotecnología entre los estudiantes más partidarios o más contrarios a las investigaciones en este campo; pero no hay esa correlación entre los grupos de estudiantes que tienen posiciones intermedias sobre las aplicaciones biotecnológicas (Klop y Severiens, 2007). Probablemente, esta incierta relación conocimiento-actitud puede deberse a lo ya manifestado sobre la complejidad de las respuestas actitudinales, ya que, como también recuerdan, entre otros, Fonseca et al. (2012), se trata de constructos multidimensionales, determinados por factores cognitivos, afectivos y de comportamiento.

#### **2.4. Argumentación de los estudiantes en clase de ciencias y cómo trabajarla desde el enfoque de la biotecnología**

El trabajo de la argumentación en el aula se ha hecho, en los últimos años, indispensable en la clase de ciencias, es por ello por lo que se aborda, en esta investigación una propuesta para el análisis de argumentación basada en biotecnología.

##### **2.4.1. Un modelo para analizar las justificaciones de los estudiantes sobre controversias sociocientíficas en biotecnología**

Uno de los objetivos prioritarios de nuestro sistema educativo debe ser preparar al alumnado para la participación como ciudadanos bien formados en los debates sociales que requieren una formación científica. Las denominadas controversias sociocientíficas (CSC en adelante) se centran en cuestiones o dilemas con relevancia social y con vínculos conceptuales con la ciencia en ámbitos como la sostenibilidad

ambiental, la salud, la seguridad o el desarrollo tecnológico, entre otros, que se orientan a la toma de decisiones personales o sociales y que tienen una respuesta abierta y compleja (Sadler, 2004; Díaz y Jiménez-Liso, 2012; Domènech-Casal, 2019). Por ello, existe cierto consenso en la didáctica de las ciencias sobre que su uso debe trasladarse a las aulas para generar situaciones comunicativas que necesitan de análisis crítico, razonamiento y argumentación, competencias a promover en la formación de nuestros estudiantes (Domènech-Casal, 2017).

Numerosos trabajos han puesto de manifiesto la importancia de incluir la argumentación en las aulas de ciencias para discutir temas científicos, relacionar datos y ofrecer explicaciones; si bien, la capacidad de desarrollar argumentos entre los estudiantes no suele ser un elemento habitual en nuestro sistema escolar (Jiménez-Aleixandre, Bugallo y Duschl, 2000; Bravo y Jiménez, 2014). Aun así, propiciar la argumentación entre los estudiantes de ciencias puede jugar un papel destacado para favorecer la toma de decisiones sociocientíficas, el desarrollo de competencias comunicativas y el pensamiento crítico, así como para propiciar la alfabetización científica, el desarrollo de criterios epistémicos para la evaluación del conocimiento y el desarrollo del razonamiento entre nuestros estudiantes (Jiménez-Aleixandre y Erduran, 2007; Maguregi, Uskola y Burgoa, 2017).

Estamos convencidos de que, en esta toma de posición ante las CSC, las aplicaciones de la biotecnología ocupan un lugar destacado (Fritz et al., 2003). En los últimos 30 años, la biotecnología ha experimentado un rápido desarrollo tanto en cuestiones científicas y económicas como en las relacionadas con la salud (clonación, terapia génica, investigaciones con células embrionarias), los alimentos modificados genéticamente, o el medio ambiente (biorremediación o producción de biodiesel); pero también ha aumentado la conciencia pública sobre las dudas que rodean a varias de las aplicaciones biotecnológicas, por lo que consideramos necesario ahondar en el análisis, a través de las interacciones personales con los estudiantes, de sus argumentaciones.

Precisamente, la utilización creciente de CSC en el aula, nos lleva a preguntarnos cómo justifican los estudiantes sus afirmaciones cuando los discuten en clase. Este aspecto, resultará de utilidad para que el profesorado pueda evaluar la calidad de las justificaciones de sus estudiantes, valorando que la enseñanza de las ciencias no solo tiene que centrarse en los contenidos de la materia, sino también en una estrategia

de enseñanza, lo que incluye el discurso y el uso social de la ciencia como es la argumentación CSC (Christenson, 2015).

Muchas investigaciones sobre evaluación de argumentaciones utilizan como referencia el marco propuesto por Toulmin (2003), conocido como “Patrón de Argumentación” (TAP), para analizar la calidad de un argumento, en función de la presencia o ausencia de los componentes estructurales, como afirmaciones, datos, garantías, respaldos, calificadores y refutaciones. No obstante, valorar y evaluar la calidad de la argumentación en las CSC no es fácil para el profesorado (Simonneaux, 2008), por lo que varios investigadores han adaptado el TAP para facilitar su estudio. Algunas contribuciones han considerado que el modelo de análisis de los argumentos debe tener en cuenta tanto el contenido de la argumentación (es decir, la adecuación o exactitud de los componentes en el argumento desde una perspectiva científica), como la estructura de la misma (es decir, los componentes del argumento y el orden de los mismos) (Chang y Chiu, 2008). De hecho, algunas investigaciones vienen considerando un argumento de calidad cuando consigue alcanzar a la vez elevados niveles de coherencia y de complejidad estructural (Martínez, García-Ferrandis y García-Gómez, 2019). Un modo adecuado de promover la argumentación, es a través de la explicitación de los conocimientos de los estudiantes por medio de entrevistas, por ello, se profundiza en esta herramienta de investigación educativa en el siguiente apartado.

#### **2.4.2. Entrevistas semiestructuradas para conocer cómo razonan los estudiantes**

En las ciencias sociales, las entrevistas cualitativas se emplean cada vez más como un método de investigación por derecho propio. La interacción que se produce entre el entrevistador y el entrevistado va más allá del intercambio espontáneo de puntos de vista y se convierte en un cuidadoso cuestionamiento y un enfoque de escucha con el propósito de obtener un conocimiento completamente probado (Kvale, 2008).

De entre los tipos posibles, entrevistas individuales o grupales, y dentro de las primeras, cerradas o abiertas, las entrevistas semiestructuradas se caracterizan por carecer de opciones entre las que el entrevistado elige la respuesta; por el contrario, las preguntas se redactan para permitir respuestas propias e individuales. De este modo, se trata de entrevistas guiadas, en las que los temas se eligen antes; pero, el investigador

decide el orden y la expresión de las preguntas durante la entrevista siendo así más probable que las personas entrevistadas manifiesten sus puntos de vista (Mc Millan y Schumacher, 2005), es por ello que en este trabajo nos propusimos la toma de datos mediante la realización de entrevistas.

Gracias a la revisión bibliográfica comentada en este apartado, nos encontramos ya en disposición para enunciar cuáles van a ser los problemas de investigación que han guiado el desarrollo de esta tesis doctoral, así como las hipótesis que propuestas para abordarlos.

# **III. PROBLEMAS DE INVESTIGACIÓN**



### III. PROBLEMAS DE INVESTIGACIÓN

En este capítulo, se plantean los interrogantes formulados en esta tesis, suscitados tras la revisión bibliográfica y también, las hipótesis asociadas a ellos, y establecidas teniendo en cuenta lo leído en diferentes estudios, que han servido como referencia para orientar la metodología y análisis de resultados.

#### 3.1. Relacionados con los conocimientos básicos en genética de los estudiantes que acaban Educación Secundaria Obligatoria

Teniendo en cuenta los resultados de la primera parte de la revisión bibliográfica realizada, centramos la primera parte de nuestra investigación en estudiar cuál es el conocimiento básico sobre genética de los estudiantes que se encuentran en 4º de ESO. El objetivo principal será conocer cuáles son estos conocimientos, que van a proceder, antes de haber estudiado estos contenidos, de la transferencia que hagan los estudiantes de otros contenidos relacionados (como la división celular) a la genética y del conocimiento no formal, pero también, comprobar en qué medida las concepciones erróneas de las que parten son superadas tras la enseñanza, para de este modo, poder determinar cuán efectiva resulta la enseñanza de la genética e intentar extraer algunas implicaciones educativas para su mejora.

**Problema 1:** ¿Cuáles son los conocimientos acerca de genética de un grupo de estudiantes de 4º de ESO de la Región de Murcia antes de haber estudiado estos contenidos?

**Problema 2:** ¿En qué medida estos conocimientos son acordes con el conocimiento científico o coinciden con los descritos por otros autores en diferentes contextos educativos?

**Problema 3:** ¿En qué grado evolucionan estos conocimientos después de recibir una enseñanza tradicional?

Nuestras hipótesis, cuyo grado de veracidad pretendemos comprobar con esta investigación, han sido las siguientes:

**Hipótesis 1:** Los alumnos que se enfrentan por primera vez al aprendizaje de la genética llegan con conocimientos sobre la misma, por tanto, nuestra muestra de

estudiantes tendrá algunas ideas sobre nociones elementales relacionadas con la Herencia Biológica.

**Hipótesis 2:** Los principales conocimientos de los estudiantes de 4º ESO difieren de lo considerado correcto por el conocimiento científico. Además, estas ideas coinciden con las mostradas por otros autores en diferentes contextos educativos.

**Hipótesis 3:** Los conocimientos de los estudiantes no evolucionan, en la medida que cabría esperar, como consecuencia de una enseñanza en la que no se tienen en cuenta estos conocimientos previos.

### **3.2. Relacionados con el estudio de conocimientos de estudiantes que inician el Bachillerato sobre nociones básicas de genética y su influencia en las aplicaciones de la biotecnología**

En esta parte de la investigación, se pretende indagar en cuáles son los conocimientos de los estudiantes de 1º de Bachillerato, que ya han finalizado la ESO, sobre algunos aspectos relacionados con la genética que tendrán especial relevancia en el estudio de la biotecnología. Se determinó estudiar estos aspectos en el nivel académico de 1º de Bachillerato por tratarse de un nivel educativo no obligatorio, pero que se encuentra inmediatamente después de la finalización de la etapa de ESO, por lo que, los conocimientos sobre los aspectos comentados que posean estos estudiantes, estarán en sintonía con lo que otros estudiantes, que ya no elijan asignaturas relacionadas con ciencias en los niveles posteriores, o que no continúen estudiando, poseerán. Además, se establecerán en esta parte comparaciones entre diferentes centros educativos para ver en qué medida los conocimientos básicos en genética están, o no, relacionados con los conocimientos en biotecnología. El problema de investigación planteado es:

**Problema 1:** ¿Serían los conocimientos básicos estudiados durante la Educación Secundaria Obligatoria acerca de genética suficientes para la comprensión de la biotecnología? ¿Qué conocen acerca de la biotecnología en 1º de Bachillerato?

**Hipótesis 1:** Los conocimientos desarrollados durante la enseñanza secundaria sobre genética serían necesarios para la comprensión de la biotecnología, pero no se han adquirido de manera adecuada por lo que aún persistirán, en los estudiantes de 1º de

Bachillerato, algunas ideas previas erróneas que dificultarán la comprensión de la biotecnología.

### **3.3. Relacionados con el conocimiento, actitud e interés hacia la biotecnología en estudiantes que finalizan el Bachillerato y las relaciones entre estos tres constructos**

Se centra ahora el análisis en el curso previo a la enseñanza universitaria, ya que se espera poder obtener conclusiones que reflejen la realidad de futuros adultos de nuestra sociedad, al terminar de haber cursado estudios en enseñanza formal relacionados con la biotecnología. Además de estudiar los conocimientos, actitudes e intereses de los estudiantes de 2º de Bachillerato, se pretende averiguar cómo estos tres constructos interactúan entre sí a través de la correlación entre ellos. Se intentará dar una explicación a los resultados obtenidos para mostrar la aplicabilidad de nuestros hallazgos en el campo de la didáctica de la biotecnología. Los problemas de investigación serán:

**Problema 1:** ¿Cuáles son los conocimientos, actitudes e intereses de los estudiantes españoles que van a terminar su etapa de Educación Secundaria (2º de Bachillerato) en el instituto, sobre biotecnología?

**Problema 2:** ¿Existe alguna correlación entre estos tres constructos: conocimiento, actitud e interés relacionados con la biotecnología?

Las hipótesis de las que parte esta parte del trabajo, según lo esperado tras la revisión bibliográfica son:

**Hipótesis 1:** Los conocimientos, actitudes e intereses de los estudiantes españoles que van a terminar su etapa de Educación Secundaria (2º de Bachillerato) en el instituto sobre biotecnología serán, en cuanto a los conocimientos, adecuados, y en cuanto a la actitud e interés, dependientes de múltiples factores y, por tanto, impredecibles, pero dependientes del ámbito y del fin de la aplicación biotecnológica.

**Hipótesis 2:** Es posible que exista correlación entre conocimiento, actitud e interés, pero en caso de que exista, resultará difícil establecer su causalidad debido a que la actitud e interés dependen de múltiples factores y no solo de los de tipo cognoscitivo.

### **3.4. Relacionados con el estudio de las justificaciones de los estudiantes de 2º de Bachillerato sobre controversias sociocientíficas en biotecnología**

Tras haber indagado sobre los conocimientos en biotecnología de los estudiantes de 2º de Bachillerato, se comprueba que estos mejoran respecto a los de 1º de Bachillerato, pero no en la medida que cabría esperar (puntos 5.2 y 5.3, resultados), pero también, se ha llegado a estas conclusiones en uno de los trabajos publicados durante el desarrollo de esta investigación Ruiz y Banet (2016), con una muestra de estudiantes más reducida. Considerando esto, y con objeto de indagar en la manera en que los estudiantes justifican sus puntos de vista, se planteó una última parte de la investigación, en la que se realizaron entrevistas semiestructuradas a estudiantes de 2º de Bachillerato, por ser los que mejor parecían conocer la biotecnología, teniendo más sentido estudiar aspectos como la argumentación. Los problemas de investigación son:

**Problema 1:** ¿Cuáles son los conocimientos y actitudes o valoraciones en los que se basan los estudiantes de 2º de Bachillerato para justificar sus opiniones relacionadas con diferentes aplicaciones de ámbito sociocientífico en biotecnología?

**Problema 2:** ¿Son las entrevistas individuales semiestructuradas instrumentos de recogida de información adecuados para conocer de qué manera justifican los estudiantes los conocimientos y actitudes en los que se basan para posicionarse de una manera u otra acerca de diferentes cuestiones relacionadas con la biotecnología y sus aplicaciones?

Para intentar aclarar lo anterior, se parte de las siguientes hipótesis:

**Hipótesis 1:** Los estudiantes se van a basar para justificar sus puntos de vista sobre algunos temas relacionados con controversias sociocientíficas en biotecnología en conocimientos, que no siempre serán adecuados y pertinentes y en actitudes que en ocasiones no estarán fundamentadas.

**Hipótesis 2:** Las entrevistas individuales semiestructuradas son instrumentos de recogida de información adecuados para conocer de qué manera justifican los estudiantes los conocimientos y actitudes en los que se basan para posicionarse de una manera u otra acerca de diferentes cuestiones relacionadas con la biotecnología y sus aplicaciones.

## **IV. METODOLOGÍA**



#### **IV. METODOLOGÍA**

En este capítulo, se describen las estrategias que se han llevado a cabo para contrastar las distintas hipótesis del apartado anterior y obtener los resultados que a continuación se presentan en esta tesis doctoral. Se presenta la metodología, que es ex-post facto descriptiva, en algún caso correlacional, dividida en cuatro apartados, siguiendo la estructura del capítulo anterior y siendo esta, la misma que se empleará en el análisis de los resultados:

4.1. Para el estudio sobre conocimientos básicos en genética de los estudiantes que acaban Educación Secundaria Obligatoria.

4.2. Para el estudio sobre conocimientos de estudiantes que inician el Bachillerato sobre nociones básicas de genética y su influencia en las aplicaciones de la biotecnología.

4.3. Para el estudio del conocimiento, actitud e interés hacia biotecnología en estudiantes que finalizan el Bachillerato y la relación entre estos tres constructos.

4.4. Para el estudio de las justificaciones de los estudiantes de 2º de Bachillerato sobre controversias sociocientíficas en biotecnología.

Puesto que durante el desarrollo de la recogida de información en los distintos momentos de esta investigación tuvo lugar un cambio de legislación (influyendo esto en las asignaturas que eran optativas para los estudiantes y también, en los contenidos relacionados con biotecnología), se incluye un apartado en el que se indica la legislación vigente en el momento de la realización de la investigación, para así comprender mejor qué era lo que los estudiantes que participaron en el estudio habían estudiado sobre biotecnología en la enseñanza formal.

##### **4.1. Para el estudio de los conocimientos en genética de los estudiantes que acaban Educación Secundaria Obligatoria**

El origen de la investigación fue esclarecer cómo las dificultades de los estudiantes en el área de la genética, que aún presentan tras su enseñanza, pueden impedir la comprensión adecuada de los contenidos sobre biotecnología. En esta parte del trabajo se presentaban principalmente contenidos que entendemos estrictamente por genética (ADN, genes, cromosomas), pero también ha sido tenido en cuenta, lo que los

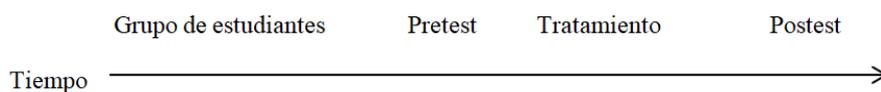
estudiantes conocen sobre microbiología (tipo de información genética o mutaciones en microorganismos) e, incluso, biología celular (material genético dentro de la célula, tipos celulares, mitosis, expresión génica...), ambos aspectos relevantes para la comprensión de algunos procesos biotecnológicos.

**Población objeto de estudio.** Esta primera parte del estudio se llevó a cabo en un centro público de la Región de Murcia y participaron 43 alumnos de dos grupos de 4º de ESO, formados por 29 y 14 estudiantes de 15 a 17 años de edad, con rendimiento académico heterogéneo, calificado así según sus profesores. La ausencia de un estudiante en el postest redujo a 42 el número final. Estos dos grupos son homogéneos, por lo que a efectos de este estudio se consideran como uno, sin diferencias entre ellos en cuanto a su formación, que han seguido una instrucción equivalente con la misma profesora y que han cursado como optativa la asignatura Biología y Geología.

**Legislación vigente en el momento del estudio.** El currículo LOE (RD 1631/2006), vigente cuando los estudiantes de la muestra cursaron la ESO, proponía, entre otros contenidos: la célula, unidad de vida, la teoría celular, mitosis y meiosis, estudio del ADN, el mundo microscópico, la herencia y la transmisión de los caracteres, el mendelismo o la genética humana. Cabe esperar que al finalizar la ESO, los estudiantes hubieran aprendido las nociones básicas en relación con estos contenidos.

Nunca antes estos alumnos habían tenido contacto académico previo con los contenidos sobre genética por los que se pregunta en el cuestionario en el momento del pretest, con excepción de los procesos de división celular y la célula. Por tanto, aunque sus puntos de vista pueden ser consecuencia de algunos conocimientos desarrollados en las aulas (el estudio de la célula, por ejemplo), muchos de ellos se podrían relacionar con el ámbito extraescolar (medios de comunicación, nociones intuitivas). En el momento del postest, habían estudiado todos los contenidos por los que en el cuestionario se preguntaba.

**Diseño de la investigación.** El diseño de esta investigación se podría considerar pre-experimental. En este caso, el instrumento de recogida de información utilizado en el pretest y en el postest es el mismo, aunque los resultados se obtienen en momentos diferentes. El esquema de este diseño (figura 4) sería:



*Figura 4.* Esquema del diseño de la investigación sobre conocimientos en genética. Fuente: Elaboración propia a partir de McMillan y Schumacher (2005)

En cuanto al tratamiento, no se tuvo control sobre él por ser la profesora encargada de la docencia de los alumnos la responsable del mismo. En el aula se desarrollaban los contenidos que, sobre Herencia Biológica, se proponían para 4º de ESO (Bloque 3. La evolución de la vida), basados en el estudio del ADN, la herencia y transmisión de caracteres, el concepto de gen, la ingeniería y manipulación genética y el genoma humano, y se utilizaba un enfoque educativo basado en las explicaciones, básicamente, centradas en las Leyes de Mendel y en la resolución de ejercicios, utilizando el libro de texto como recurso. Cuando se administró el postest, ya habían estudiado la Herencia Biológica y estaban cursando los contenidos sobre Evolución, de la siguiente unidad didáctica.

**Instrumento de recogida de información.** Para la recogida de información en esta primera fase de la investigación, se utilizó un cuestionario escrito en el que se intentaron recoger los aspectos más importantes del estudio de la genética en 4º de ESO para describir qué conocimientos presentaban los estudiantes antes y después de haber recibido la enseñanza de la misma. Su puesta a punto se realizó de acuerdo con el procedimiento que se detalla en este apartado.

Para la selección de contenidos, se elaboró un mapa de conceptos a partir del cual se concretarían las preguntas del cuestionario. Los distintos esquemas que lo desarrollan -caracteres observables, información hereditaria en distintos tipos celulares, mutaciones y aplicaciones en el área de la genética- (figura 5) tuvieron en cuenta, en gran medida, las principales referencias que la investigación educativa ha considerado de particular importancia en el estudio de la genética (ver antecedentes que hemos referido en el capítulo dedicado al establecimiento del marco teórico de nuestra investigación): herencia de caracteres observables (diferencia entre hermanos y personas sin parentesco); información hereditaria en los seres vivos (localización a nivel celular y en diferentes tipos celulares); procesos de división celular (mitosis y meiosis); mutaciones (causas y efectos); y causas de la variabilidad intraespecífica. Estos contenidos, con mayor o menor detenimiento, se incluyen en el currículo y en los libros de texto de estos niveles educativos.

En esta primera parte, se decidió no contemplar otros aspectos de enorme interés educativo, como sucede con los conocimientos de los estudiantes sobre las aplicaciones tecnológicas y repercusiones sociales de la genética, cuyos resultados se han desarrollado en las siguientes fases de esta tesis doctoral, que se centran ya en el estudio de la biotecnología.

A continuación, se realizó un ensayo, mediante entrevistas individuales (seis estudiantes con rendimiento académico diferente), de un cuestionario inicial, con el fin de adaptar su planteamiento (contenido y lenguaje) al nivel educativo de la muestra. A partir de esta información, se elaboró un cuestionario definitivo constituido por 13 ítems, con preguntas de distinta naturaleza, que se intentaron contextualizar y se acompañaron de imágenes aclaratorias (Ver Anexo II). Este cuestionario se administró a los estudiantes a finales del curso académico 2013/2014. La duración del mismo estaba comprendida entre 40 y 50 minutos.

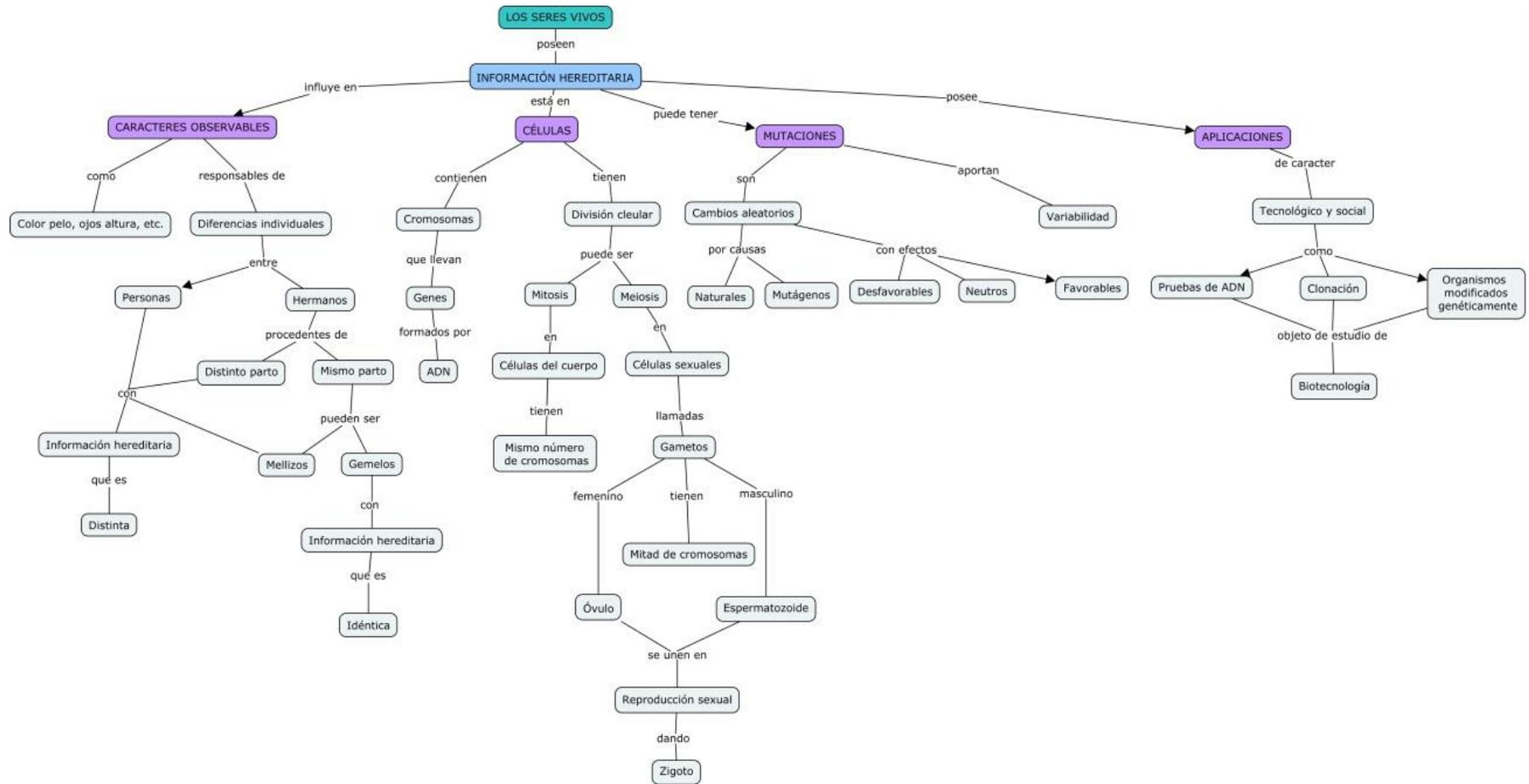


Figura 5. Mapa conceptual sobre conceptos de genética. Fuente: elaboración propia (utilizando la herramienta Cmaptools)

**Análisis de los resultados.** Debido a la naturaleza de las preguntas, hemos realizado un análisis cuantitativo de los resultados, utilizando representaciones numéricas (tablas y gráficas) para la expresión de los resultados como porcentajes y frecuencias mediante hojas de cálculo del programa Microsoft Office Excel.

No obstante, también se han identificado diferentes modelos de pensamiento (análisis cualitativo), contruidos a partir de las respuestas de los estudiantes a distintas preguntas del cuestionario (Ver Anexo III). Así, por ejemplo, para la categoría *Información hereditaria en diferentes tipos celulares*, se incluyen en el *Esquema I (La información hereditaria se encuentra solamente en células sexuales)* aquellos estudiantes que para la pregunta 5 señalan la tercera opción y en la pregunta 6 señalan que todos los tipos de información genética (color ojos, piel, grupo sanguíneo y cromosomas sexuales) se encuentran en el espermatozoide y en el óvulo.

**Limitaciones de esta parte de la investigación.** Aunque mediante el diseño pretest-postest se puede obtener una medida del cambio, las características de la muestra (por ejemplo, su reducido tamaño, distribuido solo en dos grupos incidentales, pertenecientes al mismo centro educativo) determinarían la existencia de otras hipótesis alternativas verosímiles para explicar los resultados que presentamos a continuación. Sin embargo, la importancia de esta parte radica en servir como precedente al resto del trabajo llevado a cabo en esta investigación, pues los hallazgos encontrados fueron los que orientaron el resto de apartados de esta tesis doctoral.

#### **4.2. Para el estudio de los conocimientos de estudiantes que inician el Bachillerato acerca de nociones básicas en genética y su influencia en las aplicaciones de la biotecnología**

**Población objeto de estudio.** En esta parte de la investigación, participaron 80 estudiantes de 1º de Bachillerato (1B) pertenecientes a 4 centros de educación secundaria (IES) con diferentes características contextuales, con el fin de reflejar las posibilidades educativas más frecuentes en España (tabla 3): entorno urbano (de ciudades pequeñas y medianas, en el centro y en la periferia de las mismas) y también medio rural.

Tabla 3

*Población objeto de estudio*

---

*IES 1 (n=31). Centro de ciudad mediana (capital de provincia)*

*IES 2 (n=13). Ubicación en entorno rural*

*IES 3 (n=21). Centro de pequeña ciudad*

*IES 4 (n=15). Periferia de ciudad mediana (capital de provincia)*

---

Fuente: elaboración propia

**Legislación vigente en el momento del estudio.** El currículo LOE (RD 1631/2006), vigente cuando los estudiantes de la muestra cursaron la ESO, proponía, entre otros contenidos: la célula, unidad de vida, la teoría celular, mitosis y meiosis, estudio del ADN, el mundo microscópico, la herencia y la transmisión de los caracteres, el mendelismo o genética humana. Cabe esperar que al finalizar la ESO, los estudiantes hubieran aprendido las nociones básicas en relación con estos contenidos. Además, estos estudiantes tuvieron un cambio de currículo por lo que en 1º de Bachillerato con currículo LOMCE, se introdujo la asignatura optativa Cultura Científica, con contenidos relacionados con biotecnología como el ADN, el código genético, la ingeniería genética y sus aplicaciones médicas, proyectos como HapMap y Encode, aplicaciones de la ingeniería genética en la obtención de fármacos, transgénicos y terapias génicas, repercusiones sociales de la reproducción asistida, la selección y conservación de embriones, la clonación, las células madre, problemas sociales y dilemas morales debidos a la aplicación de la genética: obtención de transgénicos, reproducción asistida y clonación (RD 1105/2014).

**Diseño del instrumento de recogida de información:** Se utilizó un cuestionario escrito, cuya puesta a punto se llevó a cabo mediante la estrategia que se describe a continuación. En primer lugar, se realizó una selección de los contenidos objeto de estudio con una amplia revisión bibliográfica sobre investigaciones realizadas en el ámbito de Didáctica de las Ciencias sobre genética, biología celular, microbiología y biotecnología; también se analizaron los contenidos que se desarrollan en la Educación Secundaria Obligatoria y el Bachillerato según el currículo (RD 1631/2006, RD 1467/2007 y RD 1105/2014). Tras esto, se elaboró un cuestionario inicial, que fue ensayado, mediante entrevistas individuales, con una muestra de 6 estudiantes de distinto rendimiento académico. Finalmente, las entrevistas aconsejaron realizar algunas modificaciones para obtener el cuestionario final, suprimir alguna pregunta demasiado

compleja, modificar el lenguaje y la estructura de otras, así como ajustar el tiempo de su realización a una duración razonable (entre 35 y 40 minutos). El cuestionario se administró en el curso 2015/2016, se puede consultar en el Anexo IV.

**Análisis de los resultados:** en esta ocasión se emplearon las estrategias cuantitativas y cualitativas que se describen.

*Estrategias cuantitativas:* estadística descriptiva y no paramétrica (U de Mann-Whitney a un nivel significación de  $\alpha < 0.05$ , para admitir diferencias entre grupos), empleando el paquete estadístico para ciencias sociales SPSS 20.0.

*Estrategias cualitativas:* establecimiento de diferentes categorías en función de ciertos patrones esperados para clasificar las respuestas de los estudiantes.

### **4.3. Para el estudio del conocimiento, actitud e interés hacia biotecnología en estudiantes que finalizan el Bachillerato y las relaciones entre estos tres constructos**

Para llevar a cabo esta tercera parte del estudio, se ha procedido del modo en el que se describe en los siguientes párrafos, tomando como referencia los distintos estudios que se han detallado en los antecedentes y, en particular, los métodos que se indican a continuación.

*Para conocimientos sobre biotecnología.* La bibliografía revisada muestra que la metodología para estudiar el conocimiento de biotecnología es extensa y variada. El conocimiento biotecnológico se ha analizado utilizando preguntas de opción múltiple, lista de opciones y preguntas verdadero/falso (Fonseca et al., 2012), definiciones y ejemplos (Dawson, 2007), utilizando cuestionarios con escala Likert (AbuQamar et al., 2015; Öztürk-Akar, 2016; Prokop et al., 2007), preguntas abiertas (Chen et al., 2016), oraciones verdaderas/falsas y conceptos científicos básicos (Casanoves et al., 2015), ítems de respuesta cerrada verdadero o falso (De la Vega Naranjo et al., 2018), encuesta semiestructurada (Ocelli et al., 2011), cuestionario con preguntas de opción múltiple (Sáez et al., 2008), cuestionarios con preguntas cerradas de verdadero/falso o que hacían uso de la escala de Likert (como Chen et al. (2016); Van Lieshout y Dawson (2016); Alias et al. (2014)), y otras abiertas, que permitían la explicitación de ideas por parte de los alumnos, como por ejemplo Maes et al. (2018). Además, en ocasiones estos cuestionarios se combinaban con entrevistas a alumnos pertenecientes a la población de

estudio, escogidos de manera aleatoria, como Kolarova (2011). Estas entrevistas permitieron, en los casos en los que se efectuaron, ahondar más en las ideas de los alumnos y corroborar los resultados de los cuestionarios. La mayoría de ellos han servido de inspiración en la elaboración de nuestro propio cuestionario que se describe a continuación.

*Para actitud sobre biotecnología.* La actitud hacia la biotecnología se ha estudiado utilizando estrategias que son diferentes, principalmente metodológicamente, como la escala de Likert y sus variaciones (AbuQamar et al., 2015; Casanoves et al., 2015; Chen et al., 2016; Fonseca et al., 2012; Öztürk-Akar, 2016; Prokop et al., 2007). Por otra parte, también se ha utilizado una lista de procesos biotecnológicos clasificados desde usos benignos hasta procedimientos más controvertidos (Dawson, 2007; Dawson y Schibeci, 2003), se cerraron las preguntas de respuesta para conocer la opinión de los estudiantes hacia diferentes procesos biotecnológicos (de la Vega et al., 2018), una encuesta semiestructurada centrada en la investigación de actitudes (Occelli et al., 2011), un instrumento con 51 ítems basado en una lista completa de elementos relacionados con las actitudes hacia la biotecnología (Gardner y Troelstrup, 2015), un cuestionario con preguntas respecto a los valores en juego (Sáez et al., 2008) o una encuesta de diagnóstico, utilizando un cuestionario estándar (Jurkiewicz et al., 2014).

*Para interés sobre biotecnología.* El interés en la biotecnología se ha estudiado utilizando diferentes estrategias metodológicas, principalmente la escala Likert (AbuQamar et al., 2015; Casanoves et al., 2015; Fonseca et al., 2012), entrevistando a pequeños grupos de estudiantes (Dawson, 2007; Occelli et al., 2011) o combinando elementos verdaderos y falsos y escala Likert (Klop y Severiens, 2007).

**Población objeto de estudio.** Los estudiantes que participaron en esta parte de la investigación referida a finales de la enseñanza secundaria fueron 184, con edades comprendidas entre los 16 y los 18 años, de 2B, de la modalidad científica, habiendo elegido la Biología como asignatura optativa. Este alumnado pertenecía a una muestra incidental de diferentes IES y con un nivel académico promedio elevado, en opinión de sus profesores. Se tomó una amplia población de varios centros educativos con entornos demográficos diversos, con el fin de reflejar las posibilidades educativas más frecuentes en España (tabla 4): entorno urbano (de ciudades pequeñas y medianas, en el centro y en la periferia de las mismas) y también medio rural.

Tabla 4

*Población objeto de estudio*

---

1 (n = 50). Centro de ciudad mediana (capital provincial)(2015/2016 y 2016/2017)

2 (n = 30). Ubicación en entorno rural (2015/2016 y 2016/2017)

3 (n = 19). Centro de pequeña ciudad (2016/2017)

4 (n = 13). Periferia de ciudad mediana (capital de provincia) (2016/2017)

5 (n = 48). Centro de ciudad mediana (capital provincial) (2016/2017)

6 (n = 24). Centro de ciudad mediana(2016/2017)

---

Fuente: elaboración propia

**Legislación vigente en el momento de estudio.** Los estudiantes de 2B a los que se administró el cuestionario durante 2015/2016, habían tenido currículo LOE por lo que habían cursado en 1B la materia común para el Bachillerato, Ciencias para el Mundo Contemporáneo, que contemplaba algunos aspectos sobre biotecnología: la revolución genética, el genoma humano, las tecnologías del ADN recombinante y la Ingeniería genética, aplicaciones, la reproducción asistida, la clonación y sus aplicaciones, las células madre, la Bioética (RD 1467/2007). En 2B, según el RD 1467/2007, en la asignatura Biología hay contenidos como las biomoléculas, la célula, genética mendeliana y molecular, genómica y proteómica, los organismos modificados genéticamente, utilización de los microorganismos en los procesos industriales y su importancia social y económica, anticuerpos monoclonales e ingeniería genética. Los que realizaron el cuestionario en 2016/2017 cursaron ambos cursos de Bachillerato con currículo LOMCE, teniendo en 1B la asignatura optativa Cultura Científica, con contenidos relacionados con biotecnología como el ADN, el código genético, la Ingeniería genética y sus aplicaciones médicas, proyectos como HapMap y Encode, aplicaciones de la Ingeniería genética en la obtención de fármacos, transgénicos y terapias génicas, repercusiones sociales de la reproducción asistida, la selección y conservación de embriones, la clonación, las células madre, problemas sociales y dilemas morales debidos a la aplicación de la genética: obtención de transgénicos, reproducción asistida y clonación... (RD 1105/2014) y en 2B, con la asignatura Biología, contenidos como las biomoléculas, la célula, genética mendeliana y molecular, la ingeniería genética y sus principales líneas actuales de investigación, los organismos modificados genéticamente, el Proyecto genoma: repercusiones sociales y valoraciones éticas de la manipulación genética y de las nuevas terapias génicas, la biotecnología y la utilización de los microorganismos en los procesos industriales:

productos elaborados por biotecnología, anticuerpos monoclonales e ingeniería genética.

**Diseño de instrumento para la recogida de información.** Para obtener información sobre nuestra muestra, se utilizó un cuestionario escrito, cuya validación se ha realizado como se describe a continuación.

Considerando las orientaciones curriculares, así como los antecedentes analizados, especialmente en aquellos donde se estudiaron los conocimientos, actitudes e intereses de los estudiantes hacia la biotecnología, se elaboró un mapa conceptual (Figura 3, en marco teórico) que incluye las referencias más destacadas para llevar a cabo la selección inicial de los contenidos en estudio. Sobre la base de este esquema, se diseñó un cuestionario inicial, que tuvo en cuenta la influencia de los artículos que se han discutido y que se centró y diferenció en términos de conocimiento, actitud e interés hacia la biotecnología en los ámbitos médico, alimentario, agrícola, industrial y medio ambiental.

Este cuestionario fue probado en un estudio piloto a través de entrevistas individuales con 12 estudiantes de diferentes centros y desempeño académico. Los resultados aconsejaron suprimir algunas preguntas que eran demasiado complejas (el cuestionario inicial incluía preguntas sobre las técnicas de laboratorio que finalmente se eliminaron porque no fueron respondidas por los estudiantes), modificar el lenguaje y la estructura de las demás y ajustar el tiempo para su realización en 30-35 minutos. El cuestionario, que se describe a continuación y que se ha incluido en el Anexo VI, se administró a los estudiantes durante los años académicos 2015/2016 y 2016/2017, como se especificaba en la tabla 4.

El cuestionario final consta de dos partes: en la primera, se presenta una tabla con diferentes aplicaciones donde el estudiante debe reconocer su grado de conocimiento al respecto, así como proporcionar alguna definición para clasificar su respuesta. En la segunda, hay una tabla con 5 declaraciones, algunas de ellas obtenidas de la bibliografía revisada y otras planteadas por los investigadores, de modo que los estudiantes debían indicar verdadero / falso / no sabe, para cada una de ellas.

Para el estudio de las actitudes hacia la biotecnología se presentaron 12 ítems relacionados con aplicaciones en diferentes áreas en las que los estudiantes tuvieron que

marcar, en una escala Likert, su grado de acuerdo, siendo 1 *totalmente en desacuerdo* y 5 *totalmente de acuerdo*. Los ítems se clasificaron según las diferentes áreas de aplicación de biotecnología que fueron mencionadas.

En cuanto al interés, en este estudio se ha medido con una escala Likert (de 1 a 5), en la que los estudiantes tenían que reconocer la frecuencia con la que tuvieron contacto con noticias relacionadas con la biotecnología y lo importante que era para ellos cada ámbito de aplicación de la biotecnología.

**Análisis de los resultados.** En análisis de esta parte del trabajo se ha llevado a cabo combinando estrategias cualitativas, en la medida en que se han tenido que establecer categorías para el análisis de las respuestas de los estudiantes, y estrategias cuantitativas, utilizando el paquete estadístico para ciencias sociales (Statistical Package for the Social Sciences) SPSS en su versión 20.0.

*Análisis del conocimiento en biotecnología.* En la primera parte, los estudiantes tenían el nombre de cada aplicación y, al lado, tenían que indicar si conocían o no la aplicación, mediante un código de acuerdo (1-nunca lo he oído-, 2 -lo he oído, pero no sé lo que significa- o 3-lo he oído y sé lo que significa). Tras esta parte, se proporcionaba un espacio al alumnado para que proporcionara una definición. Dependiendo de los códigos de los estudiantes y del tipo de definiciones aportadas, las respuestas se fueron clasificando en 5 códigos: 1 (*nunca lo he oído*, y no proporcionan ninguna definición ni escriben nada para ese término), 2 (*nunca lo he oído* pero proporcionan alguna definición -no correcta- o *lo he oído pero no sé lo que significa* el alumno no proporciona ninguna definición o proporciona una definición incorrecta), 3 (*lo he oído y sé lo que significa* definición incorrecta o no da definición), 4 (*lo he oído pero no sé lo que significa* -el estudiante proporciona la definición correcta-), 5 (*lo he oído y sé lo que significa* -el estudiante aporta una definición correcta-).

La segunda parte, relacionada con el grado de conocimiento en aplicaciones de biotecnología consistió en 5 declaraciones, en las cuales los estudiantes tenían que responder verdadero o falso, obteniéndose porcentajes de acierto en cada afirmación.

*Análisis de actitud e interés hacia la biotecnología.* Para el análisis de actitud e interés, se utilizaron los valores seleccionados por cada alumno en la escala Likert, siendo 1, 2, 3, 4 o 5. Realizándose una media de las respuestas de los estudiantes para

cada una de las aplicaciones planteadas, obteniéndose así el grado de acuerdo o desacuerdo en general.

*Análisis de correlaciones entre conocimiento, actitud e interés.* Para la medida cuantitativa de correlaciones bivariadas, se ha determinado el coeficiente de correlación de Pearson, que establece la relación lineal entre dos variables aleatorias cuantitativas. Este coeficiente se ha utilizado después de verificar que los datos se distribuyen de manera normal (prueba de Kolmogorov-Smirnov e histogramas gráficos). Además, para observar mejor la correlación entre las variables, los datos se han graficado utilizando diagramas de dispersión y calculando el coeficiente de regresión lineal de los valores.

**Limitaciones de esta parte de la investigación.** Sin lugar a dudas, un factor a considerar, a este respecto, es que los resultados de las diversas investigaciones dependen de factores como la construcción de la muestra, los métodos de recolección de datos y la forma en que se determina la comprensión (Dawson, 2007). Por ello, se ha intentado que la muestra sea representativa de una región del sureste de España, que refleja diferentes contextos socioculturales, así como tener en cuenta la metodología empleada en diversos trabajos para asemejar nuestro cuestionario a los revisados en la bibliografía (adaptado a la muestra de estudiantes con la que se contaba).

#### **4.4. Para el estudio de las justificaciones de los estudiantes de 2º de Bachillerato sobre controversias sociocientíficas en biotecnología**

En este último apartado, el de tipo más cualitativo, se recogen y analizan las justificaciones realizadas por nuestros estudiantes sobre diversos problemas sociocientíficos en biotecnología. Es, por tanto, un paso más en el análisis del conocimiento, actitud e interés de los estudiantes en biotecnología, con la finalidad comprender cuáles son los factores que consideran a la hora de mostrar determinadas posiciones respecto a la misma.

**Población objeto de estudio.** En el estudio han participado 21 estudiantes (entre 16 y 18 años) de 2B, de la modalidad científica, pertenecientes a una muestra incidental de diferentes institutos de educación secundaria obligatoria, con un nivel académico medio-alto, a juicio de sus profesores (tabla 5). Estos estudiantes representan una submuestra de los estudiantes objeto de estudio del apartado anterior, por lo tanto,

forman parte del alumnado que ya había realizado previamente el cuestionario que se describía en el punto 4.3. de la metodología.

Tabla 5

*Estudiantes que realizaron entrevistas semiestructuradas sobre biotecnología*

IES 1 Municipio de Albacete (entorno rural)	N=14 Estudiantes: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 y 14
IES 2 Municipio de Murcia (entorno urbano)	N=2 Estudiantes: 15 y 16
IES 3 Murcia capital	N=5 Estudiantes: 17, 18, 19, 20 y 21

Fuente: elaboración propia

**Diseño de los instrumentos de recogida de información y realización de las entrevistas.** Se llevaron a cabo diversas entrevistas semiestructuradas sobre las aplicaciones biotecnológicas que, con más frecuencia, son estudiadas en el currículo de Bachillerato y para facilitar el estudio, se subdividieron en cuatro ámbitos distintos: alimentación, medio ambiente, salud e industria. Estas fueron: alimentos transgénicos, biorremediación, producción de proteínas mediante ingeniería genética (biofarmacología) y biotecnología industrial (todas ellas preguntadas en el apartado anterior y por las que los estudiantes mostraron distinto grado de conocimiento).

Como resultado, se elaboró un guion semiestructurado que fue validado por profesores con experiencia en educación secundaria. Estas entrevistas se caracterizan por carecer de opciones entre las que las personas entrevistadas eligen la respuesta; por el contrario, las preguntas se redactan para permitir respuestas propias e individuales, por lo que se trata de entrevistas guiadas en las que los temas se eligen con anterioridad y el investigador decide el orden y la expresión de las preguntas se puede modificar durante la entrevista, siendo así más probable que el entrevistado manifieste sus propios puntos de vista (Mc Millan y Schumacher, 2005). A partir de las sugerencias recibidas por los expertos, se llevó a cabo una prueba piloto con estudiantes de 2B de otros centros, que dio lugar a las entrevistas definitivas (tabla 6). Para cada una de las cuatro entrevistas sobre las aplicaciones elegidas, se seleccionaron de forma aleatoria a un total de 10 estudiantes de nuestra muestra. Las entrevistas se realizaron en los centros

señalados y fueron grabadas, con una duración entre 10 y 15 minutos cada una. En el Anexo VIII se recogen las entrevistas empleadas.

Tabla 6

*Características de los guiones para las entrevistas sobre biotecnología*

Texto de ambientación	Imágenes	Algunas de las preguntas previstas
Alimentos transgénicos. Texto en el que se habla de unas naranjas que maduran en menos tiempo y que contienen más $\beta$ -caroteno	Dos fotos: a) un naranjo con flores y frutos; b) dos mitades de naranja, una más anaranjada que otra	P1 ¿Qué tipo ventajas tendrían estas naranjas? P2 ¿Crees que tienen algún inconveniente? P3 ¿Compraría estas naranjas si estuvieran en el mercado?
Biorremediación. Se describe cómo una bacteria desconocida hasta la fecha se alimenta de un tipo de plástico	Imágenes de bacterias y las fórmulas químicas de los compuestos antes y después de que las bacterias los metabolicen	P1 ¿Piensas que las bacterias son buenas o malas? P2 ¿Por qué es interesante que la bacteria degrade el plástico? ¿Qué tiene de especial este material? P3 ¿Crees que esto podría tener aplicación en un futuro no muy lejano? P4 ¿Tendría consecuencias negativas para el medio ambiente este proceso?
Biofarmacología. Explicación de cómo se produce actualmente la insulina en comparación con el pasado	Esquema con nombres: célula humana de la que se extrae el gen de la insulina, plásmido, bacteria, tarros con insulina	P1 ¿La insulina será exactamente igual a la de los humanos o estará modificada, ya que la produce una bacteria? P2 ¿Consideras peligroso que la molécula de insulina proceda de procesos de Ingeniería genética? P3 ¿Es mejor tomar insulina que produce una bacteria que insulina que procede de un cerdo, por ejemplo? P4 ¿Qué opinión tienes acerca de la necesidad de modificar los genes de una bacteria para producir una hormona deseada como la insulina? P5 ¿Podrías indicar algunas ventajas e inconvenientes de esta técnica?
biotecnología industrial. Presentación de ejemplos como el yogurt, biocombustibles o algunas enzimas	Imágenes de botes para elaboración de yogurt casero, esquema sobre biocombustibles e imagen de pantalones vaqueros desgastados	P1 ¿Piensas que las bacterias u hongos del tipo levadura tienen alguna influencia en la salud de las personas que consumen el alimento que han producido? P2 ¿Crees que los biocombustibles podrían sustituir a los combustibles actuales (fósiles)? ¿Por qué? P3 Si tuvieras oportunidad de utilizar biocombustibles, ¿lo harías, aunque su precio fuera mayor que el de los

combustibles tradicionales?

P4 ¿Estarías de acuerdo con que se modifiquen genéticamente algunos microorganismos para que produzcan una gran cantidad de enzimas que luego puedan utilizarse en procesos industriales?

P5 ¿Compraría unos pantalones “lavados a la piedra” en los que hayan intervenido enzimas procedentes de microorganismos transgénicos?

P6 En general, ¿tu actitud frente a la biotecnología industrial sería positiva o negativa?

---

Fuente: elaboración propia

**Análisis de los resultados.** Para analizar los resultados, se ha procedido de la siguiente manera. En primer lugar, se ha realizado la transcripción de cada una de las entrevistas y, a continuación, siguiendo el modelo propuesto por otros investigadores de nuestro contexto educativo (Martínez-Chico, Jiménez-Liso y López-Gay, 2014), se ha empleado el programa de análisis de datos cualitativos Atlas.ti versión 8 para realizar una primera codificación provisional recogida en cada entrevista, asignando a las diferentes respuestas de los estudiantes distintos códigos en función de las expresiones que estos empleaban.

En segundo lugar, la autora de la presente tesis doctoral, junto con dos investigadores del área de Didáctica de las Ciencias Experimentales, actuando de forma independiente, agrupamos por semejanzas los códigos que habíamos obtenido provisionalmente en cada entrevista. De este modo, se hicieron emerger unas categorías más amplias y representativas de las justificaciones utilizadas por los estudiantes sobre las aplicaciones de biotecnología presentadas en las entrevistas. Tras realizar este proceso, adaptamos las categorías emergidas y los aspectos contemplados en el trabajo ya referido de (Christenson y Chan, 2014) para el análisis de los criterios que utilizan los estudiantes de nuestra muestra para justificar sus actitudes en relación con las CSC de la biotecnología. Por ello, las categorías finalmente utilizadas para analizar las entrevistas surgen de los códigos emergentes en la primera etapa y los elementos de la justificación de las opiniones de los estudiantes en biotecnología comentados.

En una tercera y última etapa, de nuevo la autora de este trabajo, junto con los dos investigadores del área de Didáctica de las Ciencias Experimentales referenciados

con anterioridad, de forma independiente, agrupamos las respuestas de los estudiantes según los criterios del modelo de justificación CSC en biotecnología comentado anteriormente, obteniendo un consenso inicial en la asignación a las categorías propuestas del 71.3 %. La discusión, aclaración de las discrepancias y consenso final con las definiciones de cada una de las categorías, permitió el acuerdo completo.

Los códigos empleados han sido: *afirmación*, refiriéndonos a lo que el estudiante menciona en relación con una pregunta formulada por el entrevistador, que puede ser a favor del planteamiento propuesto (*pro*) o contrario al mismo (*contra*). La justificación para dicha afirmación, puede consistir en declaraciones basadas en *conocimientos*, si usan contenido teórico para dar consistencia a sus decisiones, o en declaraciones de *valor*.

Dentro de la justificación con conocimiento, este puede clasificarse en tres modalidades, siendo estas la *A* (conocimiento de contenido incorrecto -idea equivocada o contenido científico superficial-, que también se ha empleado para aquellos estudiantes que no contestaban nada relacionado con conocimiento), *B* (conocimiento general no específico -no relacionado directamente con lo que se pregunta-) o *C* (conocimiento correcto y relevante). A su vez, la categoría de valor puede subdividirse en dos, que son *no fundamentada* (si es una respuesta simple que no va más allá de lo personal) o *fundamentada* (cuando el estudiante expone un juicio y muestra un entendimiento más amplio de las consecuencias del punto de vista elegido para otros a largo plazo y en una escala mayor).

En este trabajo se ha incluido una concreción de la categoría de valor, ya que se ha considerado que la valoración de los estudiantes podría estar fundamentada en diferentes causas. Según en base a qué está hecha la fundamentación se han utilizado diferentes subcategorías que se refieren a un valor en el ámbito de: *salud, económico, ambiental, ético o desarrollo científico*.

**Limitaciones de la investigación.** Esta parte del estudio tiene como principal limitación el reducido tamaño de la muestra de estudiantes que participaron en las entrevistas individuales. No obstante, no es el número de estudiantes lo más importante aquí, ya que, por tratarse esta parte de una investigación educativa de tipo cualitativo, prevalece (frente a la cantidad) la calidad de la información recogida, así como la posibilidad de interacción investigador-estudiante para aclarar puntos de vista o sugerir distintos enfoques.

# **V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**



## **V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

En este capítulo de la tesis doctoral y, tras haber presentado en el capítulo anterior la metodología seguida para abordar los diferentes problemas de investigación planteados, se procede a detallar los resultados encontrados, estructurados en distintos apartados, mostrando así el proceso de consecución de objetivos que se han ido alcanzando con el desarrollo de la investigación. Por ello, y como se aprecia en los sucesivos apartados, los resultados de cada fase de investigación sirven como precedente para la siguiente.

En primer lugar, al determinar cuál es el estado de conocimiento de los estudiantes que terminan la Educación Secundaria Obligatoria sobre genética, y analizar que las aplicaciones derivadas de uso de la misma no eran tratadas en demasiada profundidad, se consideró realizar el análisis de los conocimientos de genética y biotecnología de los estudiantes que se encontraban en 1º de Bachillerato, tras haber finalizado la Educación Secundaria Obligatoria. Tras esto, la investigación se focalizó en 2º curso de Bachillerato, por ser este el último nivel académico de enseñanzas medias en España y en el que más contenidos se pueden encontrar sobre biotecnología. Se centró la investigación tanto en los conocimientos como en la actitud y el interés que manifestaban los estudiantes hacia la biotecnología y, además, en determinar con más detalle de qué manera expresaban su opinión sobre los mismos y cómo influían en sus puntos de vista.

De este modo, la presente tesis doctoral muestra cómo las respuestas surgidas en el proceso de investigación generan nuevas preguntas, que pueden ser resueltas con posterioridad. Se trata, por tanto, de un proceso dinámico, y es por esto que, aunque los resultados presentados son válidos en sí mismos y sirven para conocer mejor el estado actual de la enseñanza-aprendizaje de la biotecnología en España, esta tesis doctoral podría servir como punto de partida al planteamiento de nuevos interrogantes.

### **5.1. Sobre los conocimientos en genética de los estudiantes que terminan Educación Secundaria Obligatoria**

Para facilitar el análisis de la información, los resultados de esta primera parte de la investigación (con estudiantes en 4º de ESO) se han agrupado, en función del ámbito de conocimiento en el que se centran, en ocho apartados y, además, en la medida de lo posible, se han intentado presentar de menor a mayor complejidad.

### 5.1.1. Herencia de los caracteres

Las dos primeras preguntas del cuestionario hacen referencia a la herencia de los caracteres observables, es decir, a qué causas atribuyen los estudiantes el parecido y las diferencias entre personas.

La primera cuestión está dividida en dos partes y con ella se pretende conocer los factores que consideran los estudiantes que son responsables del parecido físico entre personas de la misma familia (parte 1) y las diferencias entre personas de familias distintas (parte 2). Los datos de frecuencia y porcentaje de alumnos se encuentran en la tabla 7.

Tabla 7

*Causas del parecido y diferencia entre personas*

Causas	Parecido misma familia		Diferencias distintas familias	
	%(n)		%(n)	
	Pretest	Postest	Pretest	Postest
Medio físico	16.3/(7)	7.1/(3)	4.7/(2)	2.4/(1)
Información hereditaria	90.7/(39)	97.6/(41)	83.7/(36)	92.9/(39)
Hábitos de vida	6.9/(3)	7.1/(3)	13.9/(6)	4.8/(2)
No estoy seguro	2.3/(1)	0/(0)	2.3/(1)	4.8/(2)

Fuente: elaboración propia

Antes de estudiar genética (de cuya enseñanza se encargó la profesora responsable de este grupo de estudiantes y cuya metodología se caracterizaba, a grandes rasgos, por la utilización del libro de texto y la realización de problemas de genética) la gran mayoría de los estudiantes indica adecuadamente la información hereditaria como responsable de los caracteres. Sin embargo, solamente alrededor de un 15% vincula erróneamente también el medio o un 7% los hábitos de vida a los caracteres observables, considerándolos importantes en la expresión de los caracteres. En este sentido, hay que tener en cuenta durante el proceso de enseñanza-aprendizaje la influencia que tienen los factores ambientales en la expresión del genotipo, ya que los alumnos los señalan junto a la información hereditaria, de este modo, las ideas que puedan tener en relación a los mismos, se clarificarán y se comprenderá mejor la relación del medio con la expresión del genotipo, pero no haciendo al primero responsable de los caracteres. En el trabajo de Forissier y Clément (2003) se pone de manifiesto la importancia de aparcar el “determinismo genético”, por el cual el genotipo

determina directamente el fenotipo. Por el contrario, se considera importante introducir en las aulas la idea de que la “identidad biológica” es el resultado de las interacciones entre el ambiente y el genoma.

Como se observa en la tabla 7, son pocos los cambios como consecuencia de la enseñanza, aunque en el postest aumenta ligeramente el porcentaje de estudiantes que atribuyen el parecido y diferencias entre personas de la misma o distinta familia, respectivamente, a la información hereditaria (porcentajes que ya se mostraban elevados en el pretest).

En la segunda pregunta, el objetivo consiste en ver a qué atribuyen los alumnos el hecho de que la gente se suela parecer más a uno de los progenitores que a otro. Los resultados (tabla 8) muestran que, en el pretest, la mayoría de los alumnos (83.7%) señala correctamente la segunda opción, es decir, que la información hereditaria de un progenitor predomina sobre los del otro en ciertos caracteres. Sin embargo, no llega a la mitad el porcentaje de los alumnos que marcan la cuarta opción, también correcta que señala que, aunque se parezca más a un progenitor, lleva la misma información hereditaria (genética).

Tabla 8  
*Causas del mayor parecido a un progenitor que a otro*

Causas	Pretest %/(n)	Postest %/(n)
Dos espermatozoides fecundan un solo óvulo	0/(0)	0/(0)
Predominio información genética de un progenitor	83.7/(36)	85.7/(36)
Mayor información genética de un progenitor	16.3/(7)	11.9/(5)
Misma información del progenitor parecido	41.9/(18)	45.2/(19)
No conozco la respuesta	0/(0)	0/(0)
Alumnos que marcan las dos opciones correctas	30.2/(13)	31.0/(13)

Fuente: elaboración propia

Especial atención hay que prestar al 16.3% de los alumnos que indican que el mayor parecido de una persona a uno de los progenitores justificando que esto se debe a poseer más cantidad de información hereditaria de éste, ya que esta afirmación supone una incorrecta comprensión de procesos tan básicos como la meiosis.

Comparando estas ideas con otros trabajos, podemos observar por ejemplo que, como señalan Clough y Wood-Robinson (1985), algunos estudiantes de 12 a 16 años indican que ciertas características las aportan los genes de un progenitor y otras los

genes del otro. Así, los alumnos explican el mayor parecido a uno de los padres indicando que la contribución paterna o materna ha sido mayor y, por lo tanto, presentará más características similares a éste.

En España, Banet y Ayuso (1995) señalan que la mayoría de alumnos de 12 a 17 años relaciona el parecido a una cantidad más grande de información hereditaria recibida de un progenitor. De igual manera, indican que, aunque hay alumnos que no lo hacen, esto no implica que sea debido a la comprensión de la formación de gametos haploides.

En nuestro estudio, no se aprecian demasiados cambios entre pretest y postest, ya que, después de la enseñanza, la mayoría de alumnos sigue señalando que el parecido a un progenitor es debido al predominio de la información hereditaria de éste.

Aunque han estudiado la meiosis y la fecundación, son menos de la mitad los alumnos que señalan que la cantidad de información genética es la misma. Por otra parte, habrá que tener muy en cuenta que hay alumnos (11.9%) que aún continúan pensando que el parecido a un progenitor se debe a portar mayor cantidad de información hereditaria.

### **5.1.2. Información hereditaria en diferentes seres vivos**

El objetivo de la pregunta 3 es saber si los estudiantes relacionan los términos célula, cromosoma, cromosomas sexuales, genes e información hereditaria con todos los seres vivos que se han elegido como ejemplos. Los datos están reflejados en la tabla 9.

En los resultados del pretest se observa que la mayoría de alumnos marca todas las casillas para las personas, siendo la menos marcada la de cromosoma (79.1 %), que quizás pueda ser el término menos familiar para ellos. El gato es el siguiente ser vivo en el que la mayoría de los alumnos marcan todas las casillas.

El mosquito, otro animal, tiene la mayoría de las casillas marcadas, sin embargo, las que menos señalan los alumnos son la de cromosomas (60.5%) y cromosomas sexuales (62.8%). Caballero (2008) obtiene resultados similares cuando pregunta a estudiantes de 15 a 17 años por la reproducción sexual de animales como el caracol o la araña. Por tanto, aunque la reproducción sexual se suele considerar como propia de animales, resulta evidente que un alto porcentaje de alumnos tampoco la relaciona con algunos de éstos, más alejados taxonómicamente del ser humano.

Respecto al naranjo y al helecho, los estudiantes marcan menos las casillas de cromosomas (65.1%) y cromosomas sexuales (34.9%) lo que puede deberse al desconocimiento de la reproducción sexual en las plantas. Por otra parte, casi un 50% de alumnos indican que las plantas no tiene gametos (Caballero, 2008), por lo que se constata cómo los alumnos pueden presentar graves dificultades para asimilar los mecanismos de transmisión genética.

Tabla 9

*Información hereditaria en diferentes seres vivos*

		Naranjo	Persona	Helecho	Gato	Rosal	Mosquito
Célula %/(n)	Pretest	83.7/(36)	93.0/(40)	79.0/(34)	93.0/(40)	81.4/(35)	86.0/(37)
	Postest	95.2/(40)	97.6/(41)	88.1/(37)	97.6/(41)	88.1/(37)	92.9/(39)
Cromosoma %/(n)	Pretest	65.1/(28)	79.1/(34)	58.1/(25)	76.7/(33)	58.1/(25)	60.5/(26)
	Postest	64.3/(27)	92.9/(39)	64.3/(27)	85.7/(36)	64.3/(27)	85.7/(36)
Cromosomas sexuales %/(n)	Pretest	34.9/(15)	97.7/(42)	27.9/(12)	90.7/(39)	37.2/(16)	62.8/(27)
	Postest	47.6(20)	92.9/(39)	50/(21)	88.1/(37)	45.2/(19)	73.8/(31)
Genes %/(n)	Pretest	74.4/(32)	95.3/(41)	65.1/(28)	83.7/(36)	67.4/(29)	72.1/(31)
	Postest	69.1(29)	97.6(41)	69.1(29)	97.6(41)	71.4(30)	83.3(35)
Información hereditaria %/(n)	Pretest	76.7/(33)	93.0/(40)	58.1/(25)	90.7/(39)	72.1/(31)	83.7/(36)
	Postest	76.2(32)	95.2(40)	71.4(30)	92.9(39)	76.2(32)	78.6(33)

Fuente: elaboración propia

En el postest, hay más alumnos que consideran que el naranjo posee cromosomas sexuales, aun así, no alcanza el 50% de los alumnos de nuestra muestra. También en el helecho se ha mejorado en relación al número de alumnos que considera que tiene cromosomas sexuales, de 27.9% a 50%, cambio que es positivo, aunque no lo suficiente.

Respecto a las personas, han pasado del 79.1% al 92.9% los estudiantes que señalaban el término cromosoma. Este cambio puede deberse al hecho de que, después de haberlo estudiado, este término -que en principio no identificaban y por ello no lo señalaban- les resulta más familiar.

### 5.1.3. Localización de la información hereditaria

El objetivo de la pregunta 4 es averiguar en qué parte de los seres vivos piensan los alumnos que se encuentra la información hereditaria. La información que se presenta en la tabla 10 muestra que, en el pretest, el 86.0% de los alumnos relacionan la información hereditaria con los genes. Un porcentaje también muy elevado (81.4%) lo relacionan con el ADN. El término cromosoma, que en la pregunta anterior parecía generar dudas, ahora es el siguiente más señalado. El término más general y que engloba al resto (célula), sólo fue señalado por el 58.1% de los alumnos.

Tabla 10  
*Localización de la información hereditaria*

	Pretest SI %/(n)	Pretest NO %/(n)	Postest SI %/(n)	Postest NO %/(n)
Célula	58.1/(25)	41.9/(18)	71.4/(30)	28.6/(12)
Óvulo	67.4/(29)	32.6/(14)	76.2/(32)	21.4/(9)
Espermatozoide	67.4/(29)	32.6/(14)	78.6/(33)	21.4/(9)
Cromosoma	79.1/(34)	20.9/(9)	78.6/(33)	21.4/(9)
Gen	86.0/(37)	14.0/(6)	97.6/(41)	2.4/(1)
ADN	81.4/(35)	18.6/(8)	92.9/(39)	7.1/(3)

Fuente: elaboración propia

En lo referente a los gametos, nuestros resultados no coinciden con los encontrados por Banet y Ayuso (1995), que indican que la mayoría de los alumnos señalan que la información genética reside en los gametos (óvulo y espermatozoide). Los autores apuntan que la causa de esta idea puede ser la interpretación errónea de la expresión “información hereditaria”, relacionándola con las características que se transmiten de padres a hijos y situándola, por ello, en las células sexuales. Quizás en nuestro caso los alumnos no hayan realizado esta interpretación porque en el cuestionario, al utilizar el término información hereditaria se indicaba entre paréntesis la palabra *genética*, además, en el trabajo referido no se incluyeron en la misma cuestión tipos celulares distintos (gametos, células...) y macromoléculas (ADN, cromosoma...).

Contrastando estos resultados con los del postest, el mayor cambio se encuentra en el porcentaje de alumnos que señala que la información hereditaria se encuentra en las células (78.4%). En el resto de los términos, los porcentajes también han aumentado ligeramente en el postest. Sin embargo, la tendencia continúa, pues las células o

macromoléculas menos marcadas como depositarias de la información hereditaria son óvulo, espermatozoide y cromosoma.

#### 5.1.4. Información hereditaria en diferentes tipos celulares

En este apartado se incluyen dos preguntas mediante las que se pretende conocer lo que piensan los estudiantes sobre si la existencia de diferentes tipos de células tendría o no que ver con la información hereditaria que poseen.

En concreto, en la pregunta 5, de carácter más general, se les pregunta cómo se transmite la información hereditaria desde el cigoto a las restantes células del nuevo individuo que se forma a partir de él. Los resultados obtenidos (tabla 11) muestran que, antes de estudiar genética, la mayoría de los alumnos opinan que la información de la célula-huevo se reparte entre las distintas células del organismo según la función que cada una va a desarrollar. Así, más de un 50% señala que la información hereditaria de una célula depende de la función que ésta realice. Un 44.2% de alumnos marcan que todas las células tienen la misma información hereditaria. En trabajos como el de Wood-Robinson et al. (2000) se constata la confusión de los alumnos a la hora de comprender cómo se reparte la información hereditaria entre las distintas células del nuevo individuo en formación. Aunque este aspecto se analizará en preguntas posteriores, referentes a la división celular, es necesario aclarar que el hecho de que los alumnos muestren conocimiento de los términos mitosis y meiosis (luego se verá si realmente es así), no implica que tengan claro qué procesos de división celular se producen en las células de un nuevo individuo en formación.

Tabla 11

*Distribución de la información hereditaria en las células*

Información hereditaria	Pretest	Postest
	%/(n)	%/(n)
Depende de función	53.5/(23)	54.8/(23)
Todas células la misma	44.2/(19)	54.8/(23)
Sólo en células sexuales	11.6/ (5)	11.9/(5)
No estoy seguro	7.0/(3)	9.5/(4)

Fuente: elaboración propia

En el postest, se observa un ligero aumento de estudiantes que marcan que todas las células poseen la misma información hereditaria. Aun así, no se puede considerar

que este aprendizaje haya sido exitoso, ya que suponen cerca del 50% los alumnos que continúan pensando que la información hereditaria se reparte en función del tipo celular.

La confusión que parecen presentar los alumnos en relación a estas ideas se constata al observar que un 28.6% señalan las dos primeras opciones simultáneamente, algo que apenas ocurría en el pretest. Quizás se deba a que los alumnos recuerdan haber estudiado que todas las células poseen la misma información (y así lo marcan en esta cuestión) pero siguen pensando que la información se reparte entre las células de acuerdo con su función biológica.

La pregunta 6 persigue el mismo objetivo que la anterior, sin embargo, pretende concretar más a qué nos referimos con cada tipo celular, mostrando a los alumnos células con diferente morfología y función. Los resultados de los porcentajes y frecuencias para las respuestas dadas se indican en la tabla 12.

Tabla 12

*Información hereditaria en diferentes tipos de células*

Información hereditaria		Color ojos	Color piel	Cromosomas sexuales	Grupo sanguíneo
Espermatozoide %/(n)	Pretest	58.1/(25)	39.5/(17)	93.0/(40)	41.9/(18)
	Posttest	81.0/(34)	59.5/(25)	95.2/(40)	54.8/(23)
Glóbulo blanco %/(n)	Pretest	9.3/(4)	4.7/(2)	2.3/(1)	86.0/(37)
	Posttest	23.8/(10)	26.2/(11)	21.4/(9)	92.9/(39)
Óvulo %/(n)	Pretest	58.1/(25)	37.2/(16)	86.0/(37)	39.5/(17)
	Posttest	81.0/(34)	57.1/(24)	95.2/(40)	50/(21)
Célula muscular %/(n)	Pretest	32.6/(14)	37.2/(16)	7.0/(3)	11.6/(5)
	Posttest	35.7/(15)	42.9/(18)	21.4/(9)	33.3/(14)
Célula de la piel %/(n)	Pretest	4.7/(2)	93.0/(40)	2.3/(1)	4.7/(2)
	Posttest	21.4/(9)	100/(42)	19.0/(8)	23.8/(10)

Fuente: elaboración propia

Tanto en pretest como posttest, se podría decir que hay dos modelos de respuesta: por una parte, los estudiantes que señalan para cada tipo celular la información hereditaria necesaria para desempeñar su función; por otra, aquellos que hacen esto, pero que marcan todas las opciones para espermatozoide y óvulo, es decir, le asignan a los gametos la función transportadora de cualquier información.

Con los resultados del postest se confirma lo que ya adelantábamos en la cuestión 5: los porcentajes se han elevado ligeramente, pero los patrones de respuesta coinciden con los encontrados antes de estudiar la unidad sobre genética. Así, en relación con el glóbulo blanco destacan la información hereditaria para el grupo sanguíneo y para la célula de la piel, todos los alumnos han señalado información hereditaria para el color de la piel. En la célula muscular ocurre lo mismo que en pretest; es decir, parece que no asocian directamente la información hereditaria que se presenta con este tipo celular, como si no tuvieran claro qué tipo de información hereditaria llevaría una célula muscular, siendo la información para color de los ojos y para color de la piel, las que más se relacionan con la célula muscular.

En cuanto a los gametos (espermatozoide y óvulo), la gran mayoría de alumnos señalan que poseen los cromosomas sexuales. Pero aquí el número de alumnos que señalan el resto de información hereditaria no es tan bajo como para otros tipos celulares, sino que se aproxima al 60% y para el color de los ojos hasta un 80%.

#### **5.1.5. Procesos de división celular**

Las preguntas 7 y 8 están referidas a mitosis y meiosis. Con ellas, se quiere conocer qué ideas elementales poseen los alumnos sobre ambos procesos, ya que han sido estudiadas con anterioridad en 3º de ESO y, en este curso (4º de ESO), dos semanas antes de pasar el cuestionario.

Se presentaron cuatro opciones idénticas para los dos procesos de división celular. Los resultados de las preguntas 7 y 8 se muestran en la figura 6. Para mitosis son correctas las opciones: células hijas idénticas entre sí y con mismo número de cromosomas; y para meiosis: células diferentes entre sí y las células hijas con mitad de cromosomas.

En relación con la mitosis (pregunta 7), en el pretest un 74.4% de los alumnos indican que se obtienen células hijas idénticas entre sí, mientras que un 55.8% señala que las células hijas tienen el mismo número de cromosomas que la célula madre. Hay que destacar que la mayoría de los estudiantes no marcaban las dos opciones correctas, sino que señalaban una de ellas, solamente 18 alumnos (41.9 %) indicaron las dos opciones adecuadas para mitosis, obteniendo similares resultados que Lewis et al., (2000a). Estos autores, para resolver sus dudas, pidieron a los alumnos que razonaran

cuántos cromosomas se encontrarían en una nueva célula de la piel. Más de la mitad de respuestas señalaban que serían los mismos, sin embargo, las justificaciones de algunos estudiantes eran que el número de cromosomas sería el mismo debido a que las células son del mismo tipo.

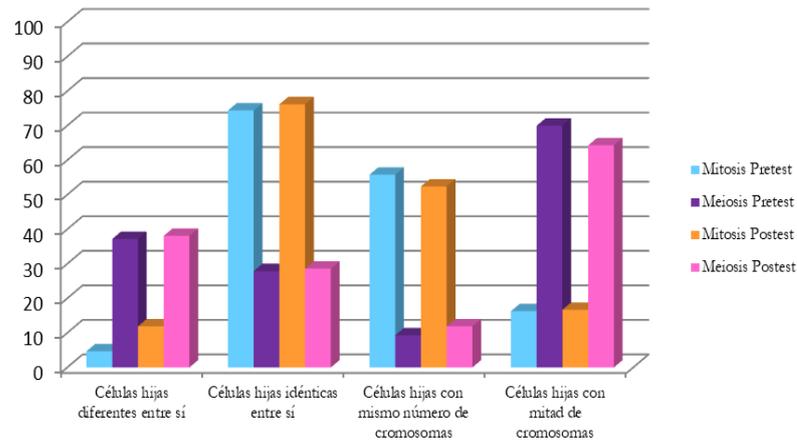


Figura 6. Procesos de mitosis y meiosis. Fuente: elaboración propia

En lo relativo a la meiosis (pregunta 8), de nuevo los alumnos que marcan las dos opciones correctas suponen un bajo porcentaje, sólo 13 (30.2%). Un 70.0% indica adecuadamente que se obtienen células hijas con la mitad de cromosomas, sin embargo, no llegan al 50% los alumnos que indican que las células hijas son diferentes entre sí. Cuando Lewis et al. (2000b) pidieron a los estudiantes que compararan la información genética de una célula somática con la de un gameto, la mayoría de los estudiantes no hacía ninguna distinción. Esto puede deberse a que los alumnos no comprenden que cada célula sexual es una combinación de diferente información genética de la célula de la que procede. Relacionando los resultados de respuestas a las dos partes de la pregunta se observa que los porcentajes de opciones adecuadas elegidas son elevadas, pero no lo suficiente, si se tiene en cuenta lo reciente que tenían el estudio de estos términos.

Por otra parte, al analizar los cuestionarios se observan bastantes tachones, lo que podría indicar que no tienen claro los términos y los confunden, pero que al leer todas las opciones de mitosis y meiosis y comparar entre estos conceptos, sí que logran discernir entre ambas. Precisamente, Bahar et al. (1999) señalan como una de las principales dificultades para el estudio de la genética algunos términos, que parecen similares pero son distintos, entre los que destacan mitosis y meiosis, ya que el hecho de parecer similares y enseñarse uno a continuación del otro, hace que sean fáciles de confundir.

En el postest, se observa cómo el número de alumnos que señala las opciones correctas, tanto para mitosis como para meiosis, ha disminuido ligeramente. En concreto, 4 alumnos menos marcan las dos opciones correctas para la mitosis y son 6 alumnos menos los que señalan las opciones correctas para meiosis.

Parece que aquello que mejor han aprendido los alumnos es que en la mitosis las células hijas son idénticas entre sí y que en la meiosis el número de cromosomas se reduce a la mitad. Sin embargo, les cuesta reconocer que en la mitosis el número de cromosomas es el mismo y en la meiosis, las células hijas tendrán diferente información hereditaria. Es posible que esto se produzca debido a que las premisas comentadas anteriormente son las que más repiten en el aula, de manera que acaban por ser recordadas, pero no del todo comprendidas.

#### 5.1.6. Mutaciones y sus efectos

En relación con este aspecto, se formularon cuatro preguntas. Cuando se pregunta a los alumnos qué piensan que son las mutaciones (pregunta 9), entre las 5 opciones que se presentaron, los resultados obtenidos fueron los que se muestran en la tabla 13.

Tabla 13

*Ideas sobre las mutaciones*

Las mutaciones ...	Pretest %/(n)	Postest %/(n)
son cambios externos	27.9/(12)	23.8/(10)
afectan a información hereditaria	74.4/(32)	83.3/(35)
siempre se ve resultado	9.3/(4)	4.8/(2)
los resultado se ven a veces	65.1/(28)	73.8/(31)
No estoy seguro	9.3/(4)	0/(0)

Fuente: elaboración propia

Antes de estudiar la unidad, el 74.4% de los alumnos señalan correctamente que las mutaciones consisten en cambios de la información hereditaria. Además, el 65.1% indica que no siempre estas modificaciones se aprecian a simple vista, es decir, unas veces se manifiestan en el exterior de los individuos, pero que otras no generan consecuencias visibles. Sin embargo, casi un tercio de los alumnos (27.9%) piensan que se deben a cambios o modificaciones externas en los organismos, idea algo más

intuitiva y quizás influenciada por lo que se observa en ocasiones en películas, series, etc. Esta última idea encaja bastante bien con los resultados obtenidos por Abril et al. (2004) en su estudio con alumnos de 13 a 15 años, en el que relacionaban el término mutación con cambios físicos o con una “transformación” generalmente asociada a defectos anatómicos.

En el postest, las ideas de los alumnos parece que no han variado demasiado, ya que hay prácticamente la misma cantidad de estudiantes que señalan cada opción.

En la pregunta 10 se pedía a los estudiantes que, de una relación de seres vivos, indicaran si pensaban que podrían o no producirse mutaciones en ellos. Los resultados (tabla 14) muestran que, en el pretest, cerca del 80% de los alumnos indican que en los insectos, plantas y peces pueden producirse mutaciones. En el caso de las personas el porcentaje fue algo menor (72.1%) pero también elevado. Sin embargo, los porcentajes bajan en el caso de las bacterias y los virus.

Tabla 14  
*Organismos en los que pueden producirse mutaciones*

	SI		NO	
	%(n)		%(n)	
	Pretest	Postest	Pretest	Postest
Personas	72.1/(31)	90.5/(38)	14.0/(6)	9.5/(4)
Insectos	79.1/(34)	83.3/(35)	14.0/(6)	16.7/(7)
Plantas	79.1/(34)	88.1/(37)	14.0/(6)	11.9/(5)
Peces	79.1/(34)	90.5/(38)	11.6/(5)	9.5/(4)
Bacterias	46.5/(20)	61.9/(26)	39.5/(17)	38.1/(16)
Virus	53.5/(23)	54.8/(23)	37.2/(16)	45.2/(19)

Fuente: elaboración propia

En el postest, los porcentajes son similares a los obtenidos en el pretest. En relación con los diferentes seres vivos que aparecen, se ha incrementado en mayor medida el número de estudiantes que indica que en las personas se producen mutaciones hasta un 90.5% y también en las bacterias, hasta un 61.9%.

En la siguiente cuestión sobre este tema (pregunta 11 -¿*Cuáles crees que son los efectos de las mutaciones sobre los seres vivos?*-) se pretendía conocer qué resultados provocan en los seres vivos las mutaciones, para lo que se proponían tres opciones. Los resultados (tabla 15) ponen de manifiesto que antes de estudiar las mutaciones, ningún

alumno piensa que puedan ser favorables, mientras que un 14% las consideran perjudiciales, ya que las vinculan a la producción de enfermedades. Sin embargo, la mayoría piensa que pueden ser favorables o desfavorables, ya que esto dependerá de la clase (naturaleza) de la mutación.

Tabla 15

*Efectos de las mutaciones en los organismos*

Efectos mutaciones	Pretest % /(n)	Postest % /(n)
Favorables	0/(0)	14.3/(6)
Perjudiciales	14.0/ (6)	4.8/ (2)
Favorables o perjudiciales	83.7/(36)	85.7/(36)
No contestan	4.7/(2)	0/(0)

Fuente: elaboración propia

En el postest, aumentan aquellos estudiantes que creen que las mutaciones son favorables hasta un 14.3%. Algunos de ellos dicen que permiten a los organismos adaptarse y sobrevivir ante cambios medioambientales. Creemos, que hay estudiantes que marcan esta posibilidad, aunque antes no la señalaban, como consecuencia del estudio del tema de la Evolución en los seres vivos, implementado a continuación de los contenidos de genética. Es posible que una incorrecta comprensión del mismo les lleve a pensar que las mutaciones se producen en los organismos con el fin de adaptarse a un medio ambiente que cambia. Por el contrario, el número de alumnos que las consideran perjudiciales por provocar enfermedades disminuye (4.8%).

La pregunta 12 también se refiere a las mutaciones, pero desde otro punto de vista. En este caso, se presenta un ejemplo concreto (influencia de las radiaciones solares sobre el cambio en el color de la piel de las personas) y se preguntaba a los estudiantes por los efectos que estos cambios en un determinado individuo (adquiridos por la exposición frecuente a los rayos solares) tendrán en su descendencia. En la pregunta debían señalar la opción que consideraran más adecuada, así como una de las posibilidades que se les presentaron para justificar su elección. Los resultados (figura 7) muestran que antes de estudiar la unidad de genética, un número relativamente elevado de estudiantes (44.2%) piensa que, en el momento del nacimiento, la descendencia tendría un color de piel más oscuro porque la radiación solar habría producido estos cambios en su progenitor; circunstancia que indica la idea de que estas modificaciones, que afectan a determinadas células somáticas, podrían transmitirse a la descendencia.

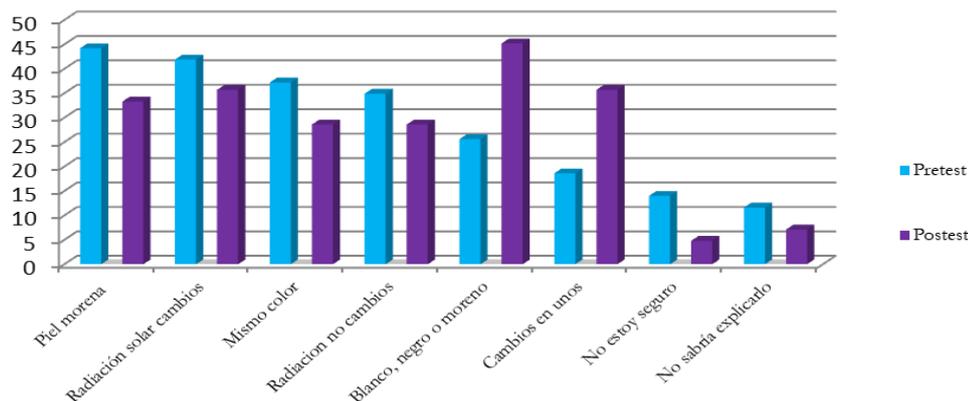


Figura 7. Efecto de las radiaciones solares en el color de piel y justificación. Fuente: elaboración propia

Esta idea ha sido bien estudiada por Kargbo et al. (1980), quienes indican que los estudiantes tienden a pensar que ciertos cambios de esta naturaleza serían susceptibles de ser transmitidos a los descendientes, aunque esta posibilidad podría depender, por ejemplo, de factores como el momento de la vida del progenitor en el que hubieran sucedido.

A continuación, con un porcentaje algo menor, están los estudiantes que señalan que, en el momento del nacimiento, los individuos tendrán el mismo color de piel (37.2%) que sus antecesores. Alrededor de un 20% de alumnos dicen que habrá individuos con distintos colores de piel.

En el postest, se observa en general bastante dispersión en las respuestas de los alumnos. A priori, se puede valorar positivamente el descenso en el número de alumnos que indican que los descendientes tendrán un color de piel más moreno. Sin embargo, también hay un descenso en el número de alumnos que indican que los descendientes tendrán el mismo color de piel que los primeros individuos.

Por otra parte, se observa que se ha incrementado el número de alumnos que piensan que entre los descendientes habrá individuos de color de piel blanco, negro o moreno. No podemos evitar pensar que este aumento tan grande de alumnos que señalan la última opción, está influido por el estudio del tema de evolución.

### 5.1.7. Causas de variabilidad

La pregunta 13 está formulada para que los alumnos indiquen cuáles piensan que son las causas de la variabilidad entre individuos de una misma especie. Se les ofrecieron 4 opciones, siendo las respuestas correctas: mutaciones y reproducción sexual. Los resultados (tabla 16) ponen de manifiesto que la mayoría de los alumnos (91.0%) indican la reproducción sexual como causa de la variabilidad entre individuos, lo cual es correcto y nos hace reflexionar acerca de lo que afirman Lewis y Wood-Robinson (2000). En su trabajo, señalan que los alumnos reconocen que la reproducción sexual permite incrementar la variabilidad genética y, sin embargo, no saben que éste es el principal propósito de la misma.

Tabla 16  
*Causas de variabilidad*

Causas de variabilidad	Pretest %/(n)	Postest %/(n)
Mutaciones	16.3/(7)	33.3/(14)
Adaptación ambiente	51.2/(22)	61.9/(26)
Reproducción sexual	91.0/(39)	81.0/(34)
No lo sé	2.3/(1)	4.8/(2)
Mutaciones y reproducción sexual	2.3/(1)	7.1/(3)

Fuente: elaboración propia

A pesar de que las mutaciones son otra fuente de variabilidad, y sólo las indican el 16.3%, lo cual apunta a que son pocos los estudiantes que las tienen en cuenta. En concreto, únicamente un alumno responde correctamente a la pregunta 13 (marcando las dos opciones).

Son interesantes los resultados obtenidos en el postest, pues si por una parte mejoran, siendo, en este caso, un 33.3% los alumnos que consideran a las mutaciones como causa de variabilidad genética, parece que siguen estando confundidos respecto a las relaciones entre variabilidad y adaptación, incrementándose el número de estudiantes que señalan esta opción como causa de la diversidad de los individuos de la misma especie.

En todo caso, podríamos atribuir la causa de la evolución observada, principalmente, a dos circunstancias: por una parte, al conocimiento del término mutación, pues antes los alumnos lo habían escuchado, sobre todo, en contextos no

académicos; por otra, pensamos que también puede haber influido en el refuerzo e incremento de la elección de la opción adaptación al medio ambiente, el estudio del tema de evolución, desde un enfoque que no parece tener en cuenta las ideas de los alumnos. Así, es posible que hayan entendido que, como consecuencia de cambios en el medio, se producen mutaciones que generan variabilidad, lo que permite a los individuos adaptarse al ambiente.

Los resultados que se han descrito, publicados en Ruiz, Banet y López-Banet (2017b) han servido para comprobar que los conocimientos en genética eran escasos en nuestros estudiantes y coincidían con los manifestados en otros contextos educativos. Por ello, a partir de aquí, la investigación se enfocó en comprender cuál era su influencia en los conocimientos sobre biotecnología y sus aplicaciones (donde la genética tiene gran importancia) y en cursos superiores (en Bachillerato, para asegurar que los conocimientos más básicos ya deberían haberse estudiado). Además de los conocimientos, se engloban otros constructos igualmente importantes para la comprensión de la visión de los estudiantes sobre la biotecnología (actitud e interés).

## **5.2. Sobre los conocimientos de estudiantes que inician el Bachillerato acerca de nociones básicas en genética y su influencia en las aplicaciones de la biotecnología**

Se incluyen aquí los resultados sobre los conocimientos que poseen los estudiantes que 1B en genética y biotecnología estructurados en seis apartados, tres relacionados con la genética: la localización hereditaria en los seres vivos, los mecanismos de reproducción y la noción de gen, alelo y ADN; y otros tres con la biotecnología: identificación de aplicaciones, grado de conocimiento de algunas aplicaciones y valoración de afirmaciones sobre conocimientos básicos de la biotecnología.

### **5.2.1. Localización de la información hereditaria en seres vivos**

Las tres primeras preguntas se orientaban a conocer los aprendizajes de los estudiantes sobre la presencia de núcleo, genes y ADN en seres vivos próximos y más alejados taxonómicamente de la especie humana, lo cual implica conocimiento adecuado en genética. Todos los estudiantes respondieron a las preguntas (tabla 17) y más del 90% del total atribuyen núcleo, genes y ADN a los ejemplos de animales

presentados, aunque se constatan diferencias significativas entre centros para la presencia de genes y ADN (detallados en el Anexo V).

Tabla 17

*Núcleo, genes y ADN en seres vivos (estudiantes/centro)*

Ser vivo	1	2	3	4	T	1	2	3	4	T	1	2	3	4	T
Perro	29	10	21	15	75	31	11	21	15	78	31	12	21	15	79
Araña	28	10	21	15	74	29	10	21	14	74	30	10	21	15	76
Trucha	29	10	21	14	74	30	10	21	14	75	31	11	21	15	78
Rosal	28	6	21	10	65	24	10	20	8	62	25	4	21	8	58
<i>E. coli</i>	9	4	8	9	30	14	1	14	3	32	20	6	20	6	52
Estudiantes	31	13	21	15	80	31	13	21	15	80	31	13	21	15	80

Fuente: elaboración propia

El número total de respuestas correctas para la planta disminuye (entre un 81% para núcleo y 72.5% para ADN), siendo el descenso mayor en *E. coli*, pues solo un 40% de estudiantes le atribuye genes (pero el 65% considera que posee ADN). En estos dos seres vivos se encuentran diferencias significativas entre los centros para núcleo, genes y ADN. Los resultados estadísticos muestran mejores niveles de aprendizaje en los IES 1 y 3, siendo el 2 en el que se obtienen los peores resultados.

### 5.2.2. Mecanismos de reproducción

Cuando responden a la pregunta 4 (tabla 18), todos los estudiantes identifican la reproducción sexual en el perro, número que es menor para los otros dos animales, y siendo el descenso más acusado en los IES 2 y 4 (de zona rural y periferia de ciudad mediana, respectivamente), existiendo diferencias significativas entre estos centros y los IES 1 y 3 (de centro de ciudades mediana y pequeña, respectivamente), constatando, mejores aprendizajes en los dos últimos. Ver Anexo V.

Sin embargo, solo un 30% del total de los estudiantes atribuyen al rosal reproducción sexual (prácticamente ninguno en los IES 2 y 4), sin que existan diferencias significativas entre ninguno de los centros.

Tabla 18  
*Mecanismos de reproducción (estudiantes/centro)*

	Reproducción Sexual				T
	1	2	3	4	
Ser vivo	1	2	3	4	T
Perro	31	13	21	15	80
Araña	25	5	20	6	56
Trucha	29	5	19	6	59
Rosal	12	0	11	1	24
<i>E. coli</i>	1	0	0	0	1

Fuente: elaboración propia

### 5.2.3. Noción de gen, alelo y ADN

Las definiciones de los estudiantes sobre estos términos genéticos (pregunta 5) se agruparon tomando como referencias las que proponen los libros de texto y las que escribieron 5 profesores de IES con experiencia docente. Utilizando, como ejemplo, el concepto de gen, las clasificamos en las siguientes categorías:

A: incluyen características estructurales (*fragmento de ADN, localizado en los cromosomas*) y funcionales (*portador de una parte de la información hereditaria de los seres vivos, que se transmite a la descendencia*) básicas.

B: omiten una característica básica de su estructura o de su función.

C: no incluye ninguna característica básica de su estructura o de su función.

D: otros casos.

Los resultados (tabla 19) muestran que se han obtenido 186 respuestas, de las 240 posibles, lo que indica cierto interés por responder: el 97.5% de la muestra escriben una definición para ADN, algo más del 76% lo hacen para genes y casi un 60% definen alelo. Más del 60% de los estudiantes señalaron que estaban seguros o casi seguros de sus respuestas.

Sin embargo, muy pocos estudiantes se encuentran en la categoría A (ninguno en el caso de alelo). Además, las mejores respuestas no se obtienen siempre en el mismo centro (IES 1 para gen; IES 3 para el resto de los términos). De nuevo, los análisis estadísticos sitúan como centros con mejores respuestas a los IES 1 y 3. Ver Anexo V.

Tabla 19

*Definiciones de los conceptos de gen, alelo y ADN (estudiantes/centro)*

	IES 1				IES 2				IES 3				IES 4			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
Gen	2	6	12	5	0	2	6	1	0	5	13	1	0	1	1	6
Alelo	0	1	8	7	0	0	8	0	0	9	8	4	0	1	0	1
ADN	1	8	22	0	0	5	8	0	0	13	8	0	1	2	9	1

Fuente: elaboración propia

#### 5.2.4. Identificación de aplicaciones de la biotecnología

En pregunta 6 se pidió a los estudiantes que escribieran las aplicaciones que conocieran en medicina, alimentación, agricultura, industria y medio ambiente, con repercusión en la sociedad y en las personas. Sus respuestas, a veces imprecisas, fueron consideradas válidas si daban a entender la naturaleza de la misma, por ejemplo, hacer plantas que resistan plagas. Los resultados (tabla 20) muestran que el 50% de los estudiantes no citan ninguna; entre los que lo hacen, la mayoría se limita a indicar 1 o 2, siendo pocos los que señalan 3 o más. El *análisis no paramétrico* muestra diferencias significativas entre los IES 3 y 4, con los centros 1 y 2, siendo ahora los estudiantes de estos últimos los que más aplicaciones señalan (Anexo V).

Tabla 20

*Aplicaciones citadas (estudiantes/centro)*

Nº Aplicaciones	1	2	3	4
0	11	1	17	11
1-2	9	7	3	3
3-4	9	2	1	1
5-6	2	3	0	0
Aplicaciones/estudiante	1.77	2.53	.43	.47

Fuente: elaboración propia

Las más citadas se relacionaban con la alimentación (alimentos transgénicos) y con la medicina (terapia génica); siendo poco conocidas las que tienen que ver con la agricultura, la industria o el medio ambiente.

### 5.2.5. Grado de conocimiento de algunas aplicaciones de la biotecnología

A continuación, se presentaron distintas aplicaciones y se pedía a los estudiantes que indicaran su grado de conocimiento del término, que explicaran en qué consistía cada una de ellas y que citaran las principales ventajas e inconvenientes (pregunta 7).

En los IES 1 y 2 se encuentra el mayor número de respuestas (solo un 10% quedan en blanco) y de estudiantes que conocen la naturaleza de las aplicaciones presentadas (tabla 21). No existen diferencias significativas entre estos dos centros para ninguna de ellas, tampoco entre los IES 3 y 4 (en los que el número de estudiantes que no responden se eleva hasta el 50%); sin embargo, sí existen entre estos dos grupos de centros para la mayoría de las aplicaciones presentadas. Ver Anexo V.

Tabla 21

*Estudiantes que conocen la naturaleza de las aplicaciones*

Aplicaciones	IES 1	IES 2	IES 3	IES 4
Diagnóstico molecular preventivo	7	2	2	2
Terapia génica	6	2	0	0
Fermentación alimentos	3	3	2	0
Alimentos transgénicos	10	6	3	5
Plantas/bacterias en industria	0	2	0	0
Tratamiento residuos	6	2	0	0
ADN ciencias forenses	16	7	3	1

Fuente: elaboración propia

Ejemplos de dos definiciones que hemos considerado adecuadas para el nivel de estos estudiantes serían: *diagnóstico molecular preventivo*, conocimiento sobre qué enfermedades podría tener una persona en el futuro mediante el estudio del ADN, con ventajas como la prevención de enfermedades y con posibles riesgos para la salud, como inconvenientes; y *alimentos transgénicos*, modificar la genética de los alimentos con el fin de obtener beneficios, manifestando propiedades que no tenían, señalando, como ventajas, mejorar el sabor o ampliar su duración y, como inconvenientes, que no son productos naturales.

### 5.2.6. Valoración de afirmaciones sobre conocimientos básicos de la biotecnología

Por último, se presentó a los estudiantes 6 afirmaciones para que las valoraran como verdaderas o falsas (pregunta 8).

Los resultados de la tabla 22 muestran que las relacionadas con la medicina (a) y con la alimentación (c) son las que más acertaron los estudiantes, a la vez que las que más contestaban; siendo, de nuevo, peores los resultados en los ámbitos de la industria o del medio ambiente.

Tabla 22

*Valoraciones sobre aplicaciones de la biotecnología*

Afirmación	Respuestas correctas				
	IES 1	IES 2	IES 3	IES 4	Total
a. El análisis de los genes de un individuo (screening genético) puede ayudar a saber a qué enfermedades será más propenso (V)	24	13	11	12	60
b. Sólo los microorganismos genéticamente modificados pueden producir antibióticos (F)	15	8	8	8	39
c. Las plantas transgénicas tienen genes, pero no tienen genes las plantas no transgénicas (F)	23	9	13	12	57
d. No es posible transferir genes de una especie a otra (F)	12	8	5	11	36
e. Las enzimas tienen una gran aplicabilidad en la industria en sectores como el alimentario, textil o papelerero (V)	18	7	10	8	43
f. La biorremediación mediante microorganismos genéticamente modificados capaces de eliminar materiales que son difíciles de degradar naturalmente es un método de descontaminación utilizado por ejemplo en derrames de petróleo (V)	17	3	7	6	33

Fuente: elaboración propia

El análisis *no paramétrico* entre grupos de las respuestas de los alumnos que contestan (Anexo V) pone de manifiesto que únicamente existen diferencias significativas en la afirmación D (centro 4 con 1 y 3) y en la pregunta F (centros 1 y 2). De los resultados anteriores podemos deducir que el alumnado al que se le ha realizado esta prueba tiene escasos conocimientos de aplicaciones de la Biotecnología como la biorremediación o la producción de antibióticos por microorganismos pero conocen la utilidad del screening genético y la presencia de genes en plantas. Un error extendido entre estos alumnos es que consideran que los genes no pueden ser transferidos de una

especie a otra. Por último, la aplicabilidad de las enzimas en la industria es conocida por algo más del 50% de los encuestados.

### **5.3. Sobre el conocimiento, actitud e interés hacia biotecnología en estudiantes que finalizan el Bachillerato y las relaciones entre estos tres constructos**

En esta tercera sección de resultados, se desarrolla de manera extensa cuáles son los conocimientos, actitudes e intereses sobre biotecnología encontrados tras analizar los cuestionarios administrados a estudiantes de 2B que acababan su etapa de instituto en España. A pesar de que algunas cuestiones son similares a las ya analizadas en apartados anteriores, en esta ocasión la muestra está compuesta solamente por estudiantes de 2B, que tenían conocimientos más adecuados sobre biotecnología, y se presenta un análisis estadístico de mayor profundidad para obtener nuevos datos. Esta parte está dividida en cuatro apartados, uno para cada constructo (conocimiento, actitud e interés) y otro en el que se analiza la relación entre los mismos.

#### **5.3.1. Grado de conocimiento sobre algunas aplicaciones en biotecnología**

Las aplicaciones que los estudiantes encuestados reconocieron y describieron mejor fueron las relacionadas con los alimentos transgénicos y el uso de pruebas de ADN en ciencias forenses (tabla 23). Los procesos de fermentación y tratamiento de residuos mediante biorremediación son otras dos aplicaciones que los estudiantes también describen adecuadamente. Esto no es sorprendente si se considera, por ejemplo, la importancia que, en la asignatura Biología de 2B, se da a las fermentaciones y a las diferentes rutas metabólicas. Las aplicaciones que describen peor los estudiantes que hicieron el cuestionario fueron la terapia génica, el uso de la biotecnología en la industria y el tratamiento molecular preventivo.

Tabla 23

*Grado de conocimiento sobre las aplicaciones (media de la categorización)*

Aplicaciones	Grado de conocimiento	
	Media	Desviación típica
Diagnóstico molecular preventivo	2.6	1.55
Terapia génica	3.0	1.64
Fermentación para producir alimentos	3.2	1.41
Alimentos transgénicos	3.9	1.33
Uso de plantas o bacterias en industria	2.8	1.38
Uso de microorganismos para tratamiento de residuos	3.6	1.62
Pruebas de ADN en ciencias forenses	3.9	1.43

Fuente: elaboración propia

El alfa de Cronbach de las preguntas sobre estas aplicaciones (.721) indica un rango de confiabilidad de la escala empleada para obtener estos resultados, aceptable.

### **5.3.2. Grado de acuerdo con algunas sentencias sobre biotecnología que requieren conocimiento básico en genética**

Si se analizan los resultados con respecto al conocimiento básico de genética que se presenta en algunas sentencias sobre biotecnología y que es necesario para comprender la biotecnología, que los estudiantes de 2B respondieron correctamente (tabla 24), se observa que, entre los estudiantes españoles de Bachillerato de nuestro estudio, hay ideas erróneas que pueden condicionar su aprendizaje sobre biotecnología, lo cual se puede considerar de gran relevancia, ya que este alumnado se encuentra en el año previo a los estudios universitarios.

Los resultados muestran que la mayoría de estudiantes responden correctamente a la primera de ellas (screening genético), a pesar de que es similar al diagnóstico molecular preventivo (pregunta anterior) que decían no conocer; circunstancia que puede estar motivada porque ahora se explica su significado en el enunciado de la cuestión. También es bastante elevado el número de estudiantes que indica que las plantas no transgénicas sí tienen genes, aunque no se debe obviar que casi el 20% de estudiantes opina que solamente tienen genes las plantas transgénicas, similar a lo detectado en otros estudios como el Eurobarómetro desarrollado por Gaskell et al. (2006).

Tabla 24

*Conocimientos básicos de genética básica para comprender la biotecnología (% de preguntas respondidas correctamente)*

Afirmación (respuesta correcta)	Responden adecuadamente (%)
a. El análisis de los genes de un individuo (screening genético) puede ayudar a saber a qué enfermedades será más propenso (V)	91.3
b. Sólo los microorganismos genéticamente modificados pueden producir antibióticos (F)	67.4
c. Las plantas transgénicas tienen genes, pero no tienen genes las plantas no transgénicas (F)	81.5
d. No es posible transferir genes de una especie a otra (F)	70.7
e. La biorremediación mediante microorganismos genéticamente modificados capaces de eliminar materiales que son difíciles de degradar naturalmente es un método de descontaminación utilizado por ejemplo en derrames de petróleo (V)	60.3

Fuente: elaboración propia

Además, es interesante ver cómo alrededor del 30% de estudiantes que se encuentra en el nivel académico de 2B no piensa que los microorganismos no modificados genéticamente no puedan producir antibióticos o que no sepan que es posible transferir genes de una especie a otra, lo cual es un impedimento para desarrollar un conocimiento adecuado sobre nociones de biotecnología. Por otra parte, cerca del 40% de los estudiantes que realizaron el cuestionario no respondieron de manera adecuada a la afirmación sobre biorremediación.

### 5.3.3. Actitud hacia diferentes aplicaciones de la biotecnología

Para nuestros estudiantes, de manera similar a otros trabajos, no todas las aplicaciones biotecnológicas tienen la misma aceptación (tabla 25). Por lo tanto, es necesario abordarlos por separado y revisar las justificaciones de los estudiantes.

En el campo de la alimentación, encontramos que los estudiantes tienen una actitud favorable hacia el uso de la fermentación tradicional, pero no tanto hacia los casos que involucran la manipulación de genes. Además, si esta manipulación tiene la posibilidad de aumentar el valor nutricional de los alimentos, nuestros estudiantes la aceptarían más que si la manipulación genética es para obtener mejores características comerciales o para originar animales que produzcan una mayor cantidad de alimentos o

características modificadas (por ejemplo, en términos de carne o leche), aspecto que coincide con el detectado por otros trabajos como el de Jurkiewicz et al. (2014).

En el campo de la medicina, nuestros estudiantes evalúan positivamente el diagnóstico molecular preventivo y la terapia génica, mientras que la aceptación de la modificación genética de los animales para el estudio de enfermedades humanas es mucho menor o abiertamente rechazada, coincidiendo con las conclusiones de otros trabajos (Sáez et al., 2008).

El uso de la biotecnología en la industria para la producción de medicamentos es un tipo de aplicación bastante aceptada por los estudiantes y, aunque no rechazan, por ejemplo, aquellas que se desarrollan para la producción de cosméticos o plásticos, tampoco lo valoran especialmente, dando un papel de poca importancia a la investigación científica en esta área.

En cuanto a las aplicaciones biotecnológicas diseñadas para la solución de problemas ambientales (eliminación de contaminantes), nuestros estudiantes se muestran muy favorables hacia el uso de microorganismos para el tratamiento de residuos a través de la biorremediación y, además, son optimistas sobre la sustitución, en el futuro, de combustibles fósiles por biocombustibles.

Parece, por lo tanto, que la actitud de los estudiantes hacia la aplicación dependerá no solo del ámbito (la aceptación es mayor en el campo médico, por ejemplo), sino también del tipo de aplicación. Así, en cada campo, la modificación genética de animales o plantas generalmente es menos aceptada que la aplicación biotecnológica que se basa en técnicas que no necesitan ninguna manipulación genética de los organismos.

Tabla 25

*Actitud hacia diferentes aplicaciones de la biotecnología (valores medios en escala Likert y desviación típica)*

Aplicaciones		Media actitud	Desviación típica
Alimentación	Fermentación: utilizar bacterias y levaduras en producción de yogurt, pan, etc.	4.4	.93
	Alimentos transgénicos		
	Modificar levaduras para obtener mejor sabor del pan	3.3	1.24
	Modificar animales para obtener alimentos en mayor cantidad o con características modificadas (carne, leche)	2.5	1.30
	Objetivo nutricional: producción de variedades vegetales genéticamente modificadas como el arroz dorado	3.6	1.19
	Objetivo comercial: cultivar vegetales genéticamente modificados con mejor aspecto, maduración tardía, etc.	2.7	1.40
Medicina	Diagnóstico molecular preventivo: para ver a qué enfermedades puede ser susceptible una persona en el futuro	4.4	1.03
	Terapia génica: alteración de genes en células tisulares humanas para tratar enfermedades	4.1	.98
	Modificar genéticamente animales para estudio de enfermedades humanas	2.9	1.29
Industria	Producción de cosméticos, plásticos o combustibles utilizando plantas o bacterias	3.3	1.14
	Utilización de fármacos, vacunas y hormonas obtenidos mediante procesos de ingeniería genética	4.6	.76
Medio ambiente	Uso de biocombustibles (combustibles para motores de explosión o combustión elaborados a partir de materia prima de origen biológico o renovable) en lugar de los combustibles actuales en un futuro próximo	2.7	1.31
	Uso de microorganismos en tratamiento de residuos	4.0	1.11

Fuente: elaboración propia

El alfa de Cronbach de los factores relacionados con las preguntas sobre las actitudes hacia diferentes aplicaciones de la biotecnología es .747, es decir, la confiabilidad de la escala utilizada es aceptable.

#### 5.3.4. Interés hacia diferentes aplicaciones de la biotecnología

Los estudiantes de 2B (tabla 26), declaran un bajo interés en estar informados sobre la biotecnología, al menos a través de los canales que en otras investigaciones se ha indicado que son los prioritarios, como los medios de comunicación tradicionales e Internet (Dawson, 2007).

Tabla 26

*Interés hacia diferentes aplicaciones de biotecnología (valores medios en escala Likert y desviación típica)*

Interés	Media	Desviación típica	
Frecuencia con la que escuchas, lees o ves noticias sobre biotecnología en radio, prensa, televisión o Internet.	2.6	.98	
Me gustaría conocer sobre las técnicas y el trabajo en el laboratorio relacionado con la biotecnología.	4.0	1.11	
Me parece interesante conocer diferentes aplicaciones e implicaciones de la biotecnología en:	Medicina	4.6	.81
	Agricultura	3.5	1.30
	Alimentación	4.1	1.16
	Industria	3.3	1.36
	Medio Ambiente	3.9	1.31
Conocer sobre biotecnología me será útil en el futuro.	4.0	1.02	

Fuente: elaboración propia

Sin embargo, declaran un gran interés en conocer las técnicas de trabajo y aplicaciones de la biotecnología, siendo mayor en el campo de la medicina y la alimentación y menor en lo relacionado con la industria y la agricultura.

La opinión sobre la utilidad del conocimiento en biotecnología también sería positiva para nuestros estudiantes. Según el alfa de Cronbach (.814), la fiabilidad de estos resultados es aceptable, ya que la escala empleada para valorarlo lo es.

### 5.3.5. Correlación entre conocimiento, actitud e interés hacia biotecnología

En la revisión de la literatura realizada, se ha encontrado una gran diversidad de conclusiones al establecer la posible relación entre conocimiento, actitud e interés hacia la biotecnología. El progreso en este tema es indudablemente relevante en el campo educativo. En nuestro trabajo, se ha realizado un análisis de correlaciones bivariadas entre estos tres constructos relacionados con la biotecnología, en base a las respuestas obtenidas en los diferentes ítems involucrados. Además, se ha realizado una prueba de significación bilateral de dos colas, sin especificar la dirección del efecto de correlación encontrada (tabla 27).

Tabla 27

*Correlación entre constructos: conocimiento, actitud e interés*

Correlación	Conocimiento en biotecnología	Actitud hacia biotecnología	Interés hacia biotecnología
Conocimiento en biotecnología	1	.210**	.377**
Actitud hacia biotecnología	.210**	1	.238**
Interés hacia biotecnología	.377**	.238**	1

Fuente: elaboración propia

El valor del coeficiente de correlación indica que existe una relación entre las variables conocimiento y actitud y conocimiento e interés, aunque no es elevada. Por lo tanto, la relación entre conocimiento e interés o actitud no puede garantizarse con total fiabilidad. Lo mismo ocurre con la correlación entre actitud e interés. El coeficiente obtenido se encuentra entre .2 y .4, en todos los casos, mostrando una baja correlación. Debido a que el valor de significancia es menor a .05, podemos asegurar que nuestros resultados sean correctos, es decir, podemos decir con seguridad que están correlacionados, pero en un grado bajo.

Teniendo en cuenta el signo, se puede decir que esta correlación es positiva: un mejor conocimiento se relaciona con una actitud más favorable, un mejor conocimiento también se relaciona con un mayor interés y una mejor actitud se relaciona con un mejor

interés (la correlación el coeficiente de Pearson da el grado de correlación, pero no indica causalidad o dependencia). Por supuesto, se debe considerar, como se indicó al comienzo del estudio (Dawson, 2007; Hammann, 2018), que los resultados de las diversas investigaciones dependen de factores como la construcción de la muestra, los métodos de recolección de datos y la forma en que se determina el conocimiento.

Para reflejar mejor la relación entre las variables que se han comentado, se incluyen los gráficos de dispersión (Anexo VII), junto con un coeficiente de regresión lineal que, en todos los casos, tiene una correlación positiva con un valor bajo.

Los siguientes apartados muestran los resultados que complementan los obtenidos por medio de los cuestionarios, en concreto, los obtenidos tras el análisis de las entrevistas realizadas a los estudiantes de 2B, por ser estos los de más alto nivel académico y que durante más ocasiones habían entrado en contacto con contenidos relacionados con la biotecnología durante su etapa de educación secundaria.

#### **5.4. Sobre el estudio de las justificaciones de los estudiantes de 2º de Bachillerato sobre controversias sociocientíficas en biotecnología**

A continuación, se describen los resultados obtenidos en cada uno de los cuatro bloques de biotecnología sobre los que se han realizado entrevistas a los estudiantes. En esta parte final de la investigación se procede a realizar un análisis de los resultados de carácter cualitativo en el que el principal objetivo es comprender qué aspectos sobre conocimiento y valores son los que emplean los estudiantes para justificar sus puntos de vista sobre algunas cuestiones, así como la calidad de la argumentación empleada (si utilizan argumentos a favor y en contra, o solamente de un tipo).

Con carácter previo, se muestran en la tabla 28 de forma resumida, los códigos que ya se han descrito con anterioridad (metodología) que han sido utilizados en el programa Atlas.ti, así como los enraizamientos detectados según las citas asignadas en cada una de las cuatro aplicaciones biotecnológicas. Posteriormente, para cada caso, se presentan ejemplos de la codificación realizada, así como tablas en las que se muestran algunos códigos y que se han reliazado tomando como modelo el análisis de Martínez-Chico, Jiménez-Liso y López-Gay (2014).

En este primer análisis, sobre el que se profundiza más adelante, podemos comprobar cuáles son los códigos más atribuidos a los criterios en los que se basan las justificaciones de nuestros alumnos hacia cada una de las aplicaciones de la biotecnología. De este modo, y como se desarrolla a continuación, en cuanto a los valores en los que se sustentan sus afirmaciones, podemos comprobar que en la relacionada con los alimentos transgénicos predominan los aspectos de salud y de tipo económico; en la utilización de la biorremediación, los valores ambientales; en el uso de la biofarmacología, los aspectos de salud y científicos; y en el de la biotecnología industrial, el desarrollo científico y la salud. También se aprecia una mayor disposición favorable hacia la utilización de biofarmacología y biotecnología industrial, seguido de la biorremediación, y algo menos hacia los transgénicos.

Tabla 28

*Enraizamiento de códigos de las entrevistas analizadas con Atlas.ti 8*

Grupo de códigos	Enraizamiento				
		Alimentos transgénicos	Biofarmacología	biotecnología industrial	
		Biorremediación			
“Afirmación”	Pro	20	35	44	42
	Contra	16	10	13	12
	Indefinido	4	2	1	2
“Conocimiento”	A	17	8	22	22
	B	5	10	20	20
	C	20	20	15	11
“Valor”	Ambiental	6	20	1	9
	Científico/ Desarrollo	0	7	13	14
	Económico	12	2	2	5
	Ético	2	0	8	4
	Salud	17	7	27	12
	No fundamentado	7	2	10	12

Fuente: elaboración propia

### 5.4.1. Alimentos transgénicos

A continuación, se exponen los principales resultados encontrados en lo referente a alimentos transgénicos, una aplicación de la biotecnología nutricional o amarilla, aunque también estaría relacionada con la verde, de las plantas y sus productos.

*Presencia de genes en el naranjo.* Por medio de las entrevistas, se ha constatado que existen dudas a la hora de responder si las naranjas tienen genes y, de ser así, en qué partes de la naranja se encuentran (tabla 29). Ya en los apartados anteriores, se habían constatado en diferentes niveles académicos, dudas respecto a si los vegetales poseen información genética o reproducción sexual.

Tabla 29

*Respuestas a la pregunta ¿las naranjas tienen genes?*

Sí, en todas sus células	6
Sí, pero solo en algunas partes (pulpa, semilla...)	2
No (respuesta inicial). Después señalan que, si son transgénicas tienen genes en algunas partes	2

Fuente: elaboración propia

A pesar de que la respuesta más frecuente es afirmativa, la interacción con los estudiantes permite comprobar las dudas que esta cuestión les genera (tabla 30).

Tabla 30

*Interacción profesor-estudiante sobre presencia de genes en la naranja 1*

Profesor (P): “¿Las naranjas tienen genes?”	Alumno (A) 8: “Yo creo que sí.”
P: “¿Dónde están esos genes?”	A8: “Exactamente pues... los genes están determinados por el ADN... supongo que los genes están dentro del material genético de la naranja.”
P: “Y si tuviéramos que buscar un sitio con genes ¿dónde buscarías?”	A8: “Supongo que de cualquier parte de la naranja... No, de la pulpa de la naranja”

Fuente: elaboración propia

En otros casos, inicialmente los estudiantes indican que las naranjas no tienen genes, pero cuando el profesor les recuerda que son transgénicas, sus comentarios se modifican (tabla 31).

La flexibilidad de las entrevistas facilita comprender mejor lo que quieren decir los estudiantes y las dudas que puedan tener cuando, en el cuestionario, responden la pregunta sobre la existencia y la localización de genes en naranjas.

Tabla 31

*Interacción profesor-estudiante sobre presencia de genes en la naranja 2*

P: “¿Las naranjas tienen genes?”	A6: “¿Las naranjas?... Creo que no”
P: “Y los naranjos, los árboles de las que se obtienen ¿tendrían genes?”	A6: “Sí.”
P: “¿Y cómo podrías explicar que las naranjas sean transgénicas?”	A6: “Si son transgénicas, les han tenido que modificar los genes...”
P: “¿Y dónde tendrían los genes?”	A6: “... Supongo que en la pulpa”

Fuente: elaboración propia

*Significado de alimento transgénico y relación entre nuevo gen y nuevo carácter.* Las respuestas de los estudiantes sobre el significado de alimento transgénico (tabla 32) se pueden considerar adecuadas en todos los casos, próximas a definiciones que podríamos encontrar en muchos manuales (tabla 33). Incluso, en algún caso, aplicadas a las naranjas.

Tabla 32

*Significado de alimento transgénico y relación entre nuevo gen y nuevo carácter*

Conocen el significado	10
Expresan la relación gen-carácter y la aplican a los alimentos transgénicos	2
Expresan la relación gen-carácter, pero no la aplican a alimentos transgénicos	4
No sabe expresar la relación gen-carácter	4

Fuente: elaboración propia

Sin embargo, existen dificultades al intentar explicar cómo se expresan los nuevos genes alterados o introducidos en un alimento transgénico. Las entrevistas permiten identificar tres situaciones diferentes (tabla 32): algunos estudiantes explican la relación gen-carácter y la aplican al caso de la naranja transgénica; otros, solo se refieren a esta relación de forma genérica. Un tercer grupo no asocia su posible conocimiento sobre la expresión de los genes con la relación entre el nuevo gen y el nuevo carácter del organismo modificado.

Tabla 33

*Definiciones de alimentos transgénicos y relación entre genes y caracteres*

---

A6: “Alimentos que han sido modificados sus genes para cambiar su aspecto o el aporte energético que pueda dar”

---

A9: “No modifican lo que es el alimento, lo que es la naranja. Modifican la planta. Introducen o alteran los genes, imagino que de los gametos antes de formar el árbol y si están buscando que tengan un mayor contenido en betacaroteno... no sé exactamente cómo, pero lo alteran”

---

A8: “El gen es lo que codifica las vitaminas. Es como lo que da lugar a esas vitaminas. Entonces si modificas el gen dará lugar a más de una vitamina o a una vitamina distinta”

---

A2: “Pues a partir del ADN, se duplica... Se da la transcripción y a partir de ahí se forma el ARN mensajero, sale al citoplasma y en éste hace la traducción para la síntesis de proteínas”

---

A9: “En los genes está todo determinado ¿no?... el color de la naranja, las sustancias que contiene... si nos interesa cambiar alguna de esas características... Específicamente no lo sé. Pero cualquier alteración ahí, cambia directamente el desarrollo de la planta”

---

Fuente: elaboración propia

*Conocimiento de ejemplos de alimentos transgénicos y del uso de la biotecnología.* Aunque los estudiantes conocían el significado de alimentos transgénicos (como ya se había comprobado en los cuestionarios, que mostraban a los alimentos transgénicos como una de las aplicaciones de la biotecnología más conocidas), no tienen claro cuáles se pueden comercializar en España y tienen ideas erróneas, derivadas del conocimiento popular, al identificar algunas variedades de frutas y verduras con alimentos transgénicos (tabla 34).

Tabla 34

*Ejemplos de alimentos transgénicos que piensan los estudiantes que son comercializados en España*

---

A1: “Por ejemplo, la cerveza y el vino”

---

A4: “Los tomates por ejemplo me suenan. En el supermercado, los tomates que compramos, muchos son transgénicos y también las sandías sin pepitas”

---

A9: “Supongo que sí habrá un montón. Creo que casi todos los vegetales que comemos, no sé si patatas o algo que le han metido un gen de salmón o trucha para aguantar más el frío”

---

Fuente: elaboración propia

Además, algunos estudiantes citan, como ejemplos, alimentos producidos por otros procesos en los que interviene la biotecnología o por técnicas agrícolas, pero que no son transgénicos.

*Ventajas e inconvenientes de los alimentos transgénicos.* Al profundizar en el análisis de aquellas preguntas que formaban parte de la entrevista y en las que se pedía al estudiante que justificara sus puntos de vista (se puede encontrar una tabla resumen con los códigos empleados en Atlas.ti 8 en el Anexo IX), encontramos que la mayoría de los estudiantes entrevistados (9 de 10) está de acuerdo con que las naranjas transgénicas presentadas en el texto tienen ventajas y, de hecho, lo justifican haciendo uso de sus conocimientos, cercanos a lo considerado correcto y relevantes para el caso que nos ocupa (en 7 casos de 10). En cuanto a los valores en los que fundamentan su justificación, la mayor parte se refieren a aspectos económicos (relacionando la modificación genética con un menor tiempo de maduración) y también a aspectos de salud (estas naranjas aportan más vitamina A y son más beneficiosas). Estos datos coinciden con los estudios de Sáez et al., (2008) que hablan del “máximo de la salud” según el cual, maximizar la salud justifica cualquier intervención tecnológica. En la tabla 35 se muestra la transcripción de lo respondido por un estudiante.

Tabla 35

*Transcripciones sobre ventajas de los alimentos transgénicos*

Pregunta	Transcripción	Codificación
P1 ¿Qué tipo ventajas tendrían estas naranjas?	A nivel comercial para la empresa, el color atraerá más a la gente que compra naranjas (A7) ...y también si tiene más contenido en vitamina A, que serán beneficiosas para nosotros (A7)	Pro-C-Económico Pro-C-Salud

Fuente: elaboración propia

En la tabla 36, puede observarse la codificación realizada tomando como referencia el modelo de Martínez-Chico, Jiménez-Liso y López-Gay (2014).

Tabla 36

*Ejemplo codificación sobre ventajas de los alimentos transgénicos*

Nº	Pregunta	Pro	Contra	Indefinido	Conocimiento de contenido			Valor				
					A	B	C	No	Salud	Económico	Ambiental	Ético
7	P1											

Fuente: elaboración propia

En cuanto a los inconvenientes de estos OMG, aunque la mayor parte de nuestra muestra identifica aspectos negativos en esta técnica (7 de 10 casos), encontramos justificaciones de menor calidad en lo referido al conocimiento, tanto por no ser

relevante para el caso que nos ocupa como por no presentar justificación. En referencia a los valores en los que sustentan los aspectos negativos de esta aplicación, predominan los de carácter ambiental y los perjuicios que podrían ocasionar a la salud de las personas (tabla 37). Coincidimos de nuevo con Sáez et al. (2008) sobre el principio de lo natural, que estos autores traducen en términos de actitud como "lo natural primero".

Tabla 37

*Transcripciones sobre inconvenientes de los alimentos transgénicos*

Pregunta	Transcripción	Codificación
P2 ¿Crees que tienen algún inconveniente?	Lo que yo he estudiado es que realmente aún no se sabe si influirá sobre nosotros. Hace poco la profesora nos dijo que las bacterias son capaces de coger ADN externo y hay gente que piensa que, si se introducen nuevos genes, pues tendrán más facilidad de soltarlos y podrían cogerlos nuestras bacterias y podría ser un peligro. Luego está que, si se introduce esta especie de plantas en otro ecosistema, aquí no porque lo único que hace es producir naranjas distintas. Pero en otro caso, con plantas más resistentes se podrían introducir en otro ecosistema e invadirlo (A18)	Contra-B/C-Salud/Ambiental

Fuente: elaboración propia

Se muestra la codificación de la tabla anterior en la tabla 38.

Tabla 38

*Ejemplo codificación sobre inconvenientes de los alimentos transgénicos*

Nº	Pregunta	Pro	Contra	Indefinido	Conocimiento de contenido			Valor				
					A	B	C	No	Salud	Económico	Ambiental	Ético
18	P2											

Fuente: elaboración propia

Finalmente, cuando, a modo de conclusión, se les pregunta si tomarían la decisión personal de comprar estas naranjas modificadas (tabla 39), la mitad de nuestros entrevistados se muestra a favor y 3 de ellos claramente en contra.

Tabla 39

*Transcripciones sobre si comprarían alimentos transgénicos*

Pregunta	Transcripción	Codificación
P3 ¿Comprarías estas naranjas si estuvieran en el mercado?	No las compraría. Preferiría comprar unas que no hubieran sido modificadas (A7)	Contra-A-No fundamentado
	Por probar... sí. Tendría que ver las características y propiedades de cada una, aunque tendría que tener en cuenta el precio, si no tengo déficit de vitaminas cogería las normales si fueran más baratas (A15)	Pro/Contra-C-Económico/Salud

Fuente: elaboración propia

La tabla 40 muestra la codificación realizada.

Tabla 40

*Ejemplo codificación sobre si comprarían alimentos transgénicos*

Nº	Pregunta	Pro	Contra	Indefinido	Conocimiento de contenido			Valor				
					A	B	C	No	Salud	Económico	Ambiental	Ético
7	P3											
15	P3											

Fuente: elaboración propia

Cabe destacar, de forma general, la falta de calidad justificativa de estas decisiones, predominando los que no ofrecen fundamento ninguno y, cuando éste se expresa, suele referirse a aspectos económicos. En este aspecto, hay que recordar que Öztürk-Akar (2016) reportaba, en cuanto a las actitudes hacia el consumo de alimentos modificados genéticamente, que muchos estudiantes no se sentirán seguros al comprar estos productos.

#### 5.4.2. Biorremediación

En este apartado, se analiza qué piensan los estudiantes sobre la biorremediación y de qué manera expresan sus puntos de vista, esta aplicación se encuadraría dentro de la biotecnología gris o encargada de estudiar y optimizar los procesos de reciclaje y lo medioambiental. El conjunto de códigos empleados para cada una de las preguntas de la entrevista, se ha incluido en el Anexo IX.

*Relación de las bacterias con el ser humano.* La amplia utilización de bacterias en la biorremediación nos ha llevado a considerar qué conocen los estudiantes sobre estos procariontes y cuál es su actitud hacia las mismas. Comprobamos que, para la

mayor parte de los estudiantes entrevistados, existen tanto bacterias beneficiosas para el ser humano como otras perjudiciales que pueden causar enfermedades, mencionando ejemplos de las acciones que producen ambos tipos de bacterias (8 casos de 10) y fundamentando su justificación en aspectos de salud (tabla 41).

La interacción con los estudiantes permite determinar otros ejemplos que conocen sobre bacterias que reportan beneficios para el ser humano, como las que habitan el organismo, y otros de bacterias que son perjudiciales, como las que causan el acné. Sin embargo, se ha detectado algún error conceptual en varias definiciones (confundir bacteria con levadura -pertenecen a reinos de seres vivos diferentes-, resfriado -tipo vírico- con enfermedad de origen bacteriano o bacterias que “se comen lo malo del cuerpo”).

Tabla 41

*Transcripción sobre beneficios y perjuicios de las bacterias*

Pregunta	Transcripción	Codificación
P1 ¿Piensas que las bacterias son buenas o malas?	Según a que se dediquen esas bacterias. Bacterias buenas por ejemplo esta, para los alimentos como lo de la levadura y eso, la medicina a partir de bacterias se van sacando fármacos que pueden evitar ciertas enfermedades y bacterias con efecto perjudiciales las que se introducen en el cuerpo y son dañinas, como las de un resfriado. (A5)	Pro/Contra-C-Salud
	Creo que pueden ser buenas para algunas cosas y malas para otras. Bacteria buena sería una que...creo que hay bacterias que hacen simbiosis con el ser humano y aparte para usarlas para lo que estamos hablando como el medio ambiente. Malas las que causan enfermedades. (A19)	Pro/Contra-C-Salud

Fuente: elaboración propia

En la tabla 42 se muestran los códigos de los ejemplos de la tabla 41.

Tabla 42

*Ejemplo codificación sobre beneficios y perjuicios de las bacterias*

Nº	Pregunta	Pro	Contra	Indefinido	Conocimiento de contenido			Valor					
					A	B	C	No	Salud	Económico	Ambiental	Ético	Desarrollo
5	P1												
19	P1												

Fuente: elaboración propia

*Explicación del caso que se presenta “La bacteria que come plástico”.* Las respuestas de los estudiantes sobre el significado de esta expresión y del título de la misma se pueden considerar adecuadas en general. Cuando se pedía que explicaran los esquemas que apoyaban al texto, un estudiante no respondió de manera adecuada y dos lo hicieron de manera incompleta, mientras que el resto proporcionó una descripción válida. Sin embargo, muestran dificultades al intentar explicar cómo se relacionan la biorremediación y la biotecnología. Hay que recordar que la aplicación biorremediación no se encontraba entre las más conocidas por los estudiantes.

Cuando preguntamos por qué es interesante que se degrade el plástico, los estudiantes reconocen que el plástico constituye un problema ambiental y, muy mayoritariamente, responden que con esta bacteria el proceso para su eliminación del medio se agilizaría, por lo que se clasificaron sus respuestas como conocimiento correcto y relevante y valor fundamentado ambiental (tabla 43). Con respecto al uso de microorganismos en procesos biotecnológicos, otras investigaciones han establecido que ha sido aceptado por los estudiantes (Dawson y Schibeci, 2003) y, también en el tratamiento de aguas residuales (Usak et al., 2009). Además, de la Vega et al. (2018) señalan que existe un alto nivel de opiniones a favor del uso de microorganismos en biotecnología, así como su uso para evitar o tratar enfermedades.

Tabla 43

*Transcripciones sobre el interés de degradar plásticos con bacterias*

Pregunta	Transcripción	Codificación
P2 ¿Por qué es interesante que la bacteria degrade el plástico? ¿Qué tiene de especial este material?	Porque el plástico tarda mucho en degradarse. Con la bacteria tardará menos porque aumenta la degradación (A8)	Pro-C-Ambiental

Fuente: elaboración propia

La codificación del ejemplo anterior se recoge en la tabla 44.

Tabla 44

*Ejemplo codificación sobre el interés de degradar plásticos con bacterias*

Nº	Pregunta	Pro	Contra	Indefinido	Conocimiento de contenido			Valor					
					A	B	C	No	Salud	Económico	Ambiental	Ético	Desarrollo
8	P2												

Fuente: elaboración propia tomando

*Posible aplicación en un futuro y/o inconvenientes de este ejemplo.* Respecto a la aplicación de los procesos de biorremediación, los estudiantes se muestran optimistas (9 de 10 casos) y creen que es posible que se utilicen para disminuir la contaminación en el medio ambiente, pero, a su vez, consideran -y este es otro valor dominante en las justificaciones- que para llevarlo a la práctica habría que continuar investigando (tabla 45).

Tabla 45

*Transcripciones sobre la aplicación futura de la biorremediación*

Pregunta	Transcripción	Codificación
P3 ¿Crees que esto podría tener aplicación en un futuro no muy lejano?	Si puede tener utilidad en el futuro porque se podría utilizar para disminuir el plástico si estuviéramos en peligro de contaminación (A8)	Pro-C-Ambiental
	Poco a poco se irá descubriendo pero gran escala aún falta (A13)	Pro-B-Desarrollo científico

Fuente: elaboración propia

Los códigos se muestran en la tabla 46.

Tabla 46

*Ejemplo codificación sobre la aplicación futura de la biorremediación*

Nº	Pregunta	Pro	Contra	Indefinido	Conocimiento de contenido			Valor						
					A	B	C	No	Salud	Económico	Ambiental	Ético	Desarrollo	
8	P3													
13	P3													

Fuente: elaboración propia

Prácticamente ningún estudiante encuentra inconvenientes a la biorremediación, pero, de igual manera, resulta interesante observar cómo se cuestionan si podría haber efectos tras la aplicación de esta técnica, como el plantearse qué pasaría con las bacterias que se utilizaran para realizar el proceso y qué efectos tendría su liberación en el medio ambiente. En otros trabajos, como el de Gardner y Troelstrup (2015) se describe una muy alta aceptación por parte de los estudiantes de la investigación en tecnología genética para la sostenibilidad ambiental, pero muestran cierta preocupación hacia la regulación de los riesgos en el medio ambiente asociado con la biotecnología.

En nuestras entrevistas, pudimos encontrar muy pocos estudiantes que justificaran su posición con planteamientos tanto a favor como en contra (solo dos, en esta cuestión), este aspecto es importante porque es indicativo de la calidad argumentativa, mostrando la capacidad para contrastar ideas a pesar de que luego la opinión vaya en uno u otro sentido. Por otra parte, hay bastante heterogeneidad en cuanto a la calidad del conocimiento utilizado y predominan los valores ambientales para soportar las justificaciones (tabla 47).

Tabla 47

*Transcripciones sobre la aplicación futura de la biorremediación*

Pregunta	Transcripción	Codificación
P4 ¿Tendría consecuencias negativas para el medio ambiente este proceso?	A simple vista más positivas que negativas, igual esas bacterias luego van al mar y los peces se alimenten y sean malas para ellos (A10)	Pro/Contra-C-Ambiental

Fuente: elaboración propia

Cuya codificación se muestra en la tabla 48.

Tabla 48

*Ejemplo codificación sobre la aplicación futura de la biorremediación*

Nº	Pregunta	Pro	Contra	Indefinido	Conocimiento de contenido			Valor						
					A	B	C	No	Salud	Económico	Ambiental	Ético	Desarrollo	
10	P4													

Fuente: elaboración propia

*Grado de aceptación de la biorremediación y fuentes de información.* Por último, cuando se preguntó por la actitud general hacia la biorremediación, se observa que todos indican que es positiva, señalando que ha sido, sobre todo, la “educación formal” (9 estudiantes), seguida por la radio y la televisión (4 estudiantes) y el periódico (1 estudiante), el medio por el que han obtenido información sobre ella.

### 5.4.3. Biofarmacología

Diferentes investigaciones han subrayado la buena aceptación entre los estudiantes de las aplicaciones biotecnológicas que suponen una mejora para la salud, mostrándose a favor del uso de la ingeniería genética para la investigación (Chen et al., 2016), así como del uso de OMG en la medicina (Öztürk-Akar, 2016). Esta aplicación está relacionada con la biotecnología roja o asociada a la materia de salud. En el Anexo

IX se muestra completa la codificación realizada para analizar las preguntas de la entrevista semiestructurada de este bloque.

*Similitud entre insulina producida por ingeniería genética y la humana.* Centrándonos en la manera en la que los estudiantes explican sus puntos de vista sobre el uso de la biofarmacología y, más específicamente, sobre la producción y utilización biotecnológica de la insulina, comenzamos por plantear si la nueva insulina así obtenida es igual a la humana. Encontramos dos categorías entre las respuestas, los que piensan que esta insulina sí lo es y los que opinan que no será así, ya que la ha producido una bacteria. Para justificar lo que dicen, utilizan en su mayoría planteamientos basados en el conocimiento, aunque no sería correcto cuando piensan que por haberla producido la bacteria la proteína puede llevar alguna modificación respecto a la humana. Por otra parte, en cuanto al valor en que se sustenta mayoritariamente, es el del desarrollo científico, si bien también hay algunos casos, sin fundamentación alguna (tabla 49).

Tabla 49

*Transcripciones sobre la insulina producida por ingeniería genética*

Pregunta	Transcripción	Codificación
P1 Esta insulina, ¿será exactamente igual a la de los humanos o estará modificada, ya que la produce una bacteria?	Será idéntica (A3)	Indefinido-C- Desarrollo Científico
	Idéntica no creo que sea. Porque tiene una parte del gen de la bacteria. La insulina es una proteína y podría llevar cosas de la bacteria (A6)	Contra-A- Desarrollo Científico

Fuente: elaboración propia

Y en la tabla 50 se observan de manera gráfica los códigos comentados en la tabla anterior.

Tabla 50

*Ejemplo codificación sobre la insulina producida por ingeniería genética*

Nº	Pregunta	Pro	Contra	Indefinido	Conocimiento de contenido			Valor						
					A	B	C	No	Salud	Económico	Ambiental	Ético	Desarrollo	
3	P1													
6	P1													

Fuente: elaboración propia

*Riesgos de tomar insulina producida por ingeniería genética.* Cuando se preguntó acerca del posible peligro de tomar la insulina producida por las bacterias, aunque la mayor parte de los estudiantes descarta los riesgos y se muestra favorable, algunos consideran que esta acción podría implicar riesgos para nuestra salud porque no sería tan efectiva como la humana o, incluso, por transmitir enfermedades a las personas. Esto se encuentra relacionado con la dificultad de relacionar la expresión de un gen con una proteína, que ya se analizó en los cuestionarios. Otros estudiantes mencionan que probablemente sería segura y que no tendría contraindicaciones porque es una práctica habitual. Finalmente, también algunos justifican su elección de la insulina producida de esta manera manifestando que ésta es más similar a la humana porque se crea al introducir un gen humano en la bacteria (tabla 51). La producción de nuevos medicamentos y el diagnóstico y tratamiento de enfermedades mediante aplicaciones biotecnológicas es aceptado mayoritariamente por los estudiantes de nuestra muestra coincidiendo con otros estudios como Ocelli et al., (2011).

Tabla 51

*Transcripciones sobre los riesgos de la insulina producida por ingeniería genética*

Pregunta	Transcripción	Codificación
P2 ¿Consideras peligroso que la molécula de insulina proceda de procesos de Ingeniería genética?	No lo veo peligroso siempre que se extraiga solo la insulina, si con la bacteria viniera algo más sería peligroso (A16)	Pro-B-Salud

Fuente: elaboración propia

Los códigos se muestran también en la tabla 52.

Tabla 52

*Ejemplo codificación sobre los riesgos de la insulina producida por ingeniería genética*

N°	Pregunta	Pro	Contra	Indefinido	Conocimiento de contenido			Valor						
					A	B	C	No	Salud	Económico	Ambiental	Ético	Desarrollo	
16	P2													

Fuente: elaboración propia

*Insulina procedente de ingeniería genética o de animales.* En cuanto a qué sería mejor, tomar insulina de una bacteria o de otro animal como un cerdo, apreciamos que la mayoría preferiría la insulina obtenida de las bacterias a la de mamíferos como el

cerdo. Entre los valores que se aportan, se señala que la de los animales puede suponer una explotación inadecuada de estos, mientras otros estudiantes también se refieren a aspectos económicos (es más rentable) (tabla 53 ).

Tabla 53

*Transcripciones sobre el valor biológico de la insulina producida por ingeniería genética*

Pregunta	Transcripción	Codificación
P3 ¿Es mejor tomar insulina que produce una bacteria que procede de un cerdo, por ejemplo?	Mejor la de la bacteria porque llegaría un límite que la de cerdos o vacas se acabaría. Ésta no se acabaría porque ésta es modificada genéticamente y bacterias siempre vas a tener (A12)	Pro-B-Económico y Desarrollo Científico
	No sería muy ético comprar insulina procedente de seres humanos porque, a mi juicio, sería gente que ha estado todo el día en el laboratorio para que le extrajeran insulina. Los animales, lo mismo, y las bacterias, pese a ser un ser vivo, no genera tanto problema ético y moral a la hora de ofrecerlo a la sociedad, por así decirlo. No tendría tanta repercusión. La del humano funcionaría mejor porque al fin y al cabo es la que no ha podido sufrir mutaciones, bueno sí y no...es la que menos modificaciones ha sufrido (A20)	Pro-B-Ético

Fuente: elaboración propia

Gráficamente, en la tabla 54, se presentan los códigos.

Tabla 54

*Ejemplo codificación sobre el valor biológico de la insulina producida por ingeniería genética*

Nº	Pregunta	Pro	Contra	Indefinido	Conocimiento de contenido			Valor					
					A	B	C	No	Salud	Económico	Ambiental	Ético	Desarrollo
12	P3												
20	P3												

Fuente: elaboración propia

*Modificación genética y tipos de organismos implicados.* De acuerdo con la conclusión extraída de la pregunta anterior acerca de evitar el uso de insulinas de animales, la mayoría de los estudiantes está de acuerdo con la modificación de los genes de las bacterias para producir insulina, si bien algún estudiante, a pesar de estar a favor, también valora aspectos en contra si no hay límites en las investigaciones.

Mayoritariamente, predominan las justificaciones fundamentadas en un conocimiento más o menos correcto y relevante basado en valores como la salud. Se observa cómo, además de aceptar la modificación de los genes de las bacterias, algunos también aceptarían la modificación de genes de plantas o animales si el fin es la salud (tabla 55). De modo similar, de la Vega et al. (2018) reportan que existe un alto nivel de opiniones a favor del uso de microorganismos en biotecnología, y también su uso para evitar o tratar enfermedades. Sin embargo, el uso de plantas y animales se encuentra valorado a razón de 50% a favor 50% en contra, y está mal valorada la introducción de genes de plantas en animales.

Tabla 55

*Transcripciones sobre la necesidad de la biofarmacología*

Pregunta	Transcripción	Codificación
P4 ¿Qué opinión tienes acerca de la necesidad de modificar los genes de una bacteria para producir una hormona deseada como la insulina?	Me parece algo bueno porque estamos investigando en evitar problemas que hoy en la sociedad son bastantes influyentes como el de la diabetes... (A20)	Pro-C-Salud
	... Pero por ejemplo con la terapia génica, se tiene miedo de que se juegue tanto con el ADN humano que se pueda llegar a cambiar y crear una especie nueva (A20)	Contra-B-Ético
	Moralmente utilizar bacterias, yo lo veo bien, no veo que haya discusión moral por utilizar bacterias. Es bueno investigar en esto y ayuda y estas investigaciones ayudan a mejorar la salud de la gente (A21)	Pro-C-Ético

Fuente: elaboración propia

Los ejemplos anteriores se recogen, tomando como modelo el análisis de Martínez-Chico, Jiménez-Liso y López-Gay (2014), en la tabla 56.

Tabla 56

*Ejemplo codificación sobre la necesidad de la biofarmacología*

Nº	Pregunta	Pro	Contra	Indefinido	Conocimiento de contenido			Valor					
					A	B	C	No	Salud	Económico	Ambiental	Ético	Desarrollo
20	P4												
21	P4												

Fuente: elaboración propia

*Ventajas y/o inconvenientes de la biofarmacología.* En general, los estudiantes reconocen ventajas de esta técnica y, sobre todo la posibilidad de mejorar la vida de las personas afectadas de diabetes, conocimiento adecuado. En cuanto a inconvenientes, no todos los sugieren, pero los que lo hacen también se basan en justificaciones de valor en el ámbito de la salud, algunas de los cuales no son del todo correctas desde el punto de vista del conocimiento científico de su afirmación (tabla 57).

Tabla 57

*Transcripciones sobre las ventajas/inconvenientes de la biofarmacología*

Pregunta	Transcripción	Codificación
P5 ¿Podrías indicar algunas ventajas e inconvenientes de esta técnica?	Ventaja, obtener insulina en grandes cantidades e inconveniente, que se modifique mal y pueda causar alguna enfermedad (A12)	Pro-C/B-Salud/Económico

Fuente: elaboración propia

En la tabla 58 se aprecia la codificación de manera resumida.

Tabla 58

*Ejemplo codificación sobre las ventajas/inconvenientes de la biofarmacología*

Nº	Pregunta	Pro	Contra	Indefinido	Conocimiento de contenido			Valor						
					A	B	C	No	Salud	Económico	Ambiental	Ético	Desarrollo	
12	P5													

Fuente: elaboración propia

#### 5.4.4. Biotecnología industrial

Por último, se exponen los resultados referentes a los conocimientos y actitudes de los estudiantes sobre diferentes ejemplos planteados en biotecnología industrial, en el Anexo IX se encuentran todos los códigos de esta entrevista. En esta parte, nos hemos centrado en la biotecnología industrial o blanca, sin duda menos conocida que las aplicadas en el mundo de la salud o la alimentación, pero la más extendida y con un gran potencial económico al utilizar los procesos de la biocatálisis en sectores como las industrias química, farmacéutica, cosmética, papelera, textil, curtido y alimentaria, así como en la industria energética. Para ello, se basa en la utilización de células vivas (de levadura, moho, bacterias y plantas) y de enzimas para sintetizar productos que son fácilmente degradables, requieren menos energía y generan menos desechos durante su

producción (Frazzeto, 2003). Sirvan como ejemplos, la producción de plásticos biodegradables (como el PHA -polihidroxialcanoatos- y PHB -polihidroxibutirato- a partir de bacterias o plantas); biopolímeros para la fabricación de artículos como ropa, envases y muebles de oficina; la producción de energía a partir de recursos como el almidón de maíz, patata, caña de azúcar y trigo; vitaminas, antibióticos, aditivos alimentarios o cosméticos, entre otros, que, en general, constituyen una amplia gama de aplicaciones a pesar de ser un sector tecnológico joven.

*Procesos de fermentación en industria alimentaria.* Al valorar los procesos de fermentación utilizados para la fabricación en la industria de yogures, hemos podido comprobar la escasa relación que manifiestan los estudiantes de la muestra entre la producción del yogur y la fermentación láctica estudiada previamente en la asignatura (tabla 59).

Tabla 59

*Entrevistas sobre la relación entre el proceso de la fermentación estudiado y su aplicación en la fabricación del yogur*

Pregunta	Transcripción
¿Sabrías describir de qué manera se produce el yogur?	A7: “A partir de la leche mediante procesos químicos, hace que las bacterias actúen sobre ella para conseguir yogur y más derivados”
Prueba a hacerlo utilizando las palabras: azúcares, bacterias, fermentación, ácido láctico.	A7: “Lo vimos un poco rápido, por ejemplo, lo de la cerveza...” A12: “Juntando todo se rompen las enzimas y pasan a formar, no sé explicártelo”

Fuente: elaboración propia

*Influencia en la salud de bacterias/levaduras utilizadas en industria alimentaria.* Como se observa en la tabla 60, los estudiantes, en general, piensan que los microorganismos que contienen alimentos como el yogurt son buenos o no son perjudiciales, pero algunos muestran dudas y argumentan con valoraciones relativas a la salud.

Tabla 60

*Transcripciones sobre la influencia en la salud de bacterias/levaduras*

Pregunta	Transcripción	Codificación
P1 ¿Piensas que las bacterias u hongos del tipo levadura tienen alguna influencia en la salud de las personas que consumen el alimento que han producido?	Hombre, yo pienso que tienen que ser buenas ¿no? Para el cuerpo... Bueno, malas no pueden ser o no se haría (6)	Pro-A-Salud

Fuente: elaboración propia

Estos códigos se presentan resumidos en la tabla 61.

Tabla 61

*Ejemplo codificación sobre la influencia en la salud de bacterias/levaduras*

Nº	Pregunta	Pro	Contra	Indefinido	Conocimiento de contenido			Valor						
					A	B	C	No	Salud	Económico	Ambiental	Ético	Desarrollo	
6	P1													

Fuente: elaboración propia

*Acerca de la producción de biocombustible.* A continuación, se preguntó por la fabricación biotecnológica de biodiesel para así abordar un ámbito industrial diferente y con repercusiones en el medio ambiente, algo que también preocupa a nuestros estudiantes. Prácticamente todos los entrevistados opinan que los combustibles fósiles serán sustituidos en el futuro y que una posible alternativa serían los biocombustibles. Utilizan para justificar sus opiniones argumentos basados en el conocimiento, que no siempre se muestra correcto, y también, valoraciones basadas en el nivel de desarrollo de la ciencia y tecnología. Es de destacar que, previamente, se les preguntó sobre el proceso de producción, desconociéndolo a pesar de la imagen que acompañaba la entrevista. Si tuvieran que elegir entre los biodiesel y los combustibles tradicionales, preferirían utilizar los primeros considerando la conservación del medio ambiente, siempre y cuando el precio no fuera muy elevado y no tuviera ningún efecto negativo en el vehículo, por lo que se observa así que principalmente utilizan explicaciones basadas en los valores económico y ambiental (tabla 62).

Tabla 62

*Transcripciones sobre opiniones acerca del futuro de los biocombustibles*

Pregunta	Transcripción	Codificación
P2 ¿Crees que los biocombustibles podrían sustituir a los actuales (fósiles)? ¿Por qué?	Son ventajosos porque contaminan menos y se acabarán los combustibles como la gasolina y el gasoil. Creo que algo que sale de la naturaleza contamina menos (21)	Pro-B-Ambiental
P3 Si tuvieras oportunidad de utilizar biocombustibles, ¿lo harías aunque su precio fuera mayor que el de los combustibles tradicionales?	Creo que lo compraría si el precio no fuera disparatado por ejemplo si la gasolina fuera a 1.20 y el biocombustible a 4... creo que me tomara tiempo llegar a tener una economía que me lo permitiera (20)	Pro-B-Económico

Fuente: elaboración propia

Y en la tabla 63, se presenta el resumen de los ejemplos anteriores.

Tabla 63

*Ejemplo codificación sobre opiniones acerca del futuro de los biocombustibles*

Nº	Pregunta	Pro	Contra	Indefinido	Conocimiento de contenido			Valor					
					A	B	C	No	Salud	Económico	Ambiental	Ético	Desarrollo
20	P3												

Fuente: elaboración propia

*Uso de la biotecnología en la industria textil.* Finalmente, quisimos conocer las ideas de los estudiantes sobre la obtención biotecnológica de enzimas para su uso en la industria textil (vaqueros desgastados por lactasas), para lo que se comenzó preguntando por la definición de enzima. Esta cuestión resultó ser sencilla para varios estudiantes, que la enunciaron sin dificultad, mientras que para otros era parcialmente conocida o, incluso, totalmente desconocida. Algunos ejemplos se presentan en la tabla 64.

Tabla 64

*Definición de enzima*

A3: “Biocatalizador, proteína, que disminuye la energía de activación y aumentando la velocidad de la reacción”
A20: “Molécula capaz de llevar a cabo procesos como podría ser la digestión de la enzima de la lactosa por ejemplo o enzimas de restricción, que muevan de un sitio a otro moléculas...”

Fuente: elaboración propia

A 6 de los 10 estudiantes que se han entrevistado les parece bien que se modifiquen organismos para producir enzimas con utilidad en la industria; si bien, unos pocos descartan las aplicaciones biotecnológicas que no tengan utilidad fuera de las cuestiones de salud. De este modo, en el caso de la obtención de vaqueros gastados gracias a la acción de enzimas, muchos no tendrían ningún inconveniente en utilizarlos, aunque algunos dudan de si su uso puede implicar un riesgo para su salud (tablas 65 y 66).

Tabla 65

*Transcripciones sobre la utilidad de la biotecnología industrial*

Pregunta	Transcripción	Codificación
P4 ¿Estarías de acuerdo con que se modifiquen genéticamente algunos microorganismos para que produzcan una gran cantidad de enzimas que luego puedan utilizarse en procesos industriales?	Es que el uso industrial no es tan importante como para la salud, el caso de microorganismos. En caso de animales o plantas menos aún (11)	Contra-B-Ético
P5 ¿Compraría unos pantalones “lavados a la piedra” en los que hayan intervenido enzimas procedentes de microorganismos transgénicos?	No sé lo que repercutiría la enzima en mi piel por tanto no sé decirte, aunque tampoco sé lo que conlleva el lavado a piedra. Si a mí me garantizaran que las enzimas no fueran a llevar irritación o enfermedad a mi piel si las compraría (20)	Pro-B-Salud

Fuente: elaboración propia

A continuación, se presenta la codificación en la tabla 66.

Tabla 66

*Ejemplo codificación sobre la utilidad de la biotecnología industrial*

Nº	Pregunta	Pro	Contra	Indefinido	Conocimiento de contenido			Valor						
					A	B	C	No	Salud	Económico	Ambiental	Ético	Desarrollo	
11	P4		■			■							■	
20	P5	■				■		■						

Fuente: elaboración propia

*Valoración de la biotecnología industrial.* Todos valoraron positivamente la biotecnología industrial, aunque se observa que una parte de ellos no reconoce su utilidad y prefiere las investigaciones que mejoren las opciones de salud de las

personas. Algunos estudiantes aportaron justificaciones a favor y en contra en su argumentación. En estos casos, suelen ser preferidos el valor de necesidad de desarrollo científico para mostrarse favorables y, en cambio, el valor ético o ambiental para los reparos a la biotecnología industrial (tabla 67).

Tabla 67

*Transcripciones sobre la actitud ante la biotecnología industrial*

Pregunta	Transcripción	Codificación
P6 En general, ¿tu actitud frente a la biotecnología industrial sería positiva o negativa?	Positiva porque conocer más del ser humano es algo impresionante y conocer aún más es genial. Soy pro biotecnología por una parte... (20)	Pro-C- Desarrollo científico
	...pero, por otra parte, vimos que animales estaban encerrados 6 horas al día y les sacaban sangre por diálisis...pero a la vez estas curando enfermedades (20)	Contra-B- Ético
	Positiva, pienso que casi todo, porque siempre hay excepciones...Son avances, una forma de conseguir que tanto en industria como alimentación...vaya a más... (21)	Pro-B-Desarrollo Científico/Ambiental
	... ¿Algún inconveniente? Por ejemplo, en biocombustibles no sé si puede ocurrirle algo malo a la vegetación (21)	

Fuente: elaboración propia

Los códigos para este ejemplo se resumen en la tabla 68.

Tabla 68

Ejemplo codificación sobre la actitud ante la biotecnología industrial

Nº	Pregunta	Pro	Contra	Indefinido	Conocimiento de contenido			Valor						
					A	B	C	No	Salud	Económico	Ambiental	Ético	Desarrollo	
20	P6													

Fuente: elaboración propia

Hasta aquí los resultados de la presente tesis doctoral, presentados en riguroso orden que muestra el avance de la investigación en sus sucesivas fases. En el siguiente capítulo, se analizarán las conclusiones que los mismos aportan, y también, se expondrán las principales implicaciones educativas que pueden extraerse de lo hasta aquí mencionado.

# **VI. CONCLUSIONES E IMPLICACIONES EDUCATIVAS**



## VI. CONCLUSIONES E IMPLICACIONES EDUCATIVAS

Este último apartado recoge las principales conclusiones y las implicaciones educativas que se extraen de las mismas y a las que se ha llegado con la investigación desarrollada en esta tesis doctoral. De nuevo, y siguiendo la estructura de este trabajo, se presentan separadas en cuatro puntos principales, en consonancia con la exposición de metodología y resultados realizada con anterioridad.

### 6.1. Relacionadas con los conocimientos básicos en genética de estudiantes que acaban Educación Secundaria Obligatoria

A partir de los resultados presentados, creemos estar en condiciones de analizar - como respuestas a los problemas de investigación planteados- en qué medida se cumplen las hipótesis que enunciamos al comenzar nuestro trabajo.

**Hipótesis 1: Los alumnos que se enfrentan por primera vez al aprendizaje de la genética, llegan con conocimientos sobre la misma, por tanto, nuestra muestra de estudiantes tendrá algunas ideas sobre la Herencia Biológica.** En relación con esta hipótesis, podemos afirmar que los estudiantes de nuestra muestra sí llegan con ideas acerca de algunas nociones relacionadas con la Herencia Biológica, a pesar de no haberlas estudiado antes. Algunas de ellas tienen que ver con: las causas que determinan los caracteres fenotípicos, los seres vivos que tienen o no estructuras relacionadas con la información genética, la localización de la información hereditaria, las diferencias entre los distintos tipos de división celular, y las causas y consecuencias de las mutaciones. Estos puntos de vista podrían ser construidos por influencias extraescolares (medios de comunicación, nociones intuitivas) y algunos conocimientos desarrollados en el ámbito educativo (la célula, por ejemplo).

**Hipótesis 2: Los principales conocimientos de los estudiantes de 4º ESO difieren de lo considerado correcto por el conocimiento científico. Además, estas ideas coinciden con las mostradas por otros autores de diferentes contextos educativos.** Nuestros resultados muestran que, aunque algunas de las ideas analizadas coinciden con las correctas, muchas de las identificadas en el pretest se alejan del pensamiento científico. Además, los conocimientos que hemos puesto de manifiesto en nuestro trabajo son similares a los descritos por otros autores, tanto en España, como en otros contextos educativos en los últimos treinta años.

**Hipótesis 3: Los conocimientos de los estudiantes no evolucionan, en la medida que cabría esperar, como consecuencia de una enseñanza en la que no se tienen en cuenta estos conocimientos previos.** En concreto, hemos podido comprobar cómo la mayoría de ideas identificadas antes de abordar, por primera vez, el estudio de genética, se mantienen después de la enseñanza de estos contenidos. Así lo hemos podido constatar en los aspectos relacionados con la herencia de caracteres (más parecido a un progenitor porque recibe de éste más información), las dificultades sobre la localización de la información hereditaria entre distintos seres vivos y distintos tipos de celulares, la falta de comprensión del significado biológico de los procesos de división celular, las dificultades con respecto al término mutación o las causas de la variabilidad intraespecífica.

**Implicaciones educativas:** desde nuestro punto de vista, los resultados y conclusiones presentados en este apartado, apuntan hacia la necesidad de que la enseñanza de la genética tenga en cuenta algunas consideraciones:

*Planificación de la enseñanza.* Teniendo en cuenta las dificultades y el grado de abstracción de los contenidos de genética, pensamos que sería útil comenzar su estudio abordando la herencia en las personas, así como desarrollar sus contenidos utilizando, cuando sea posible, ejemplos relacionados con el ser humano. De este modo, la planificación debería organizarse de modo que:

- Primero, se estudiarían aspectos macroscópicos, más cercanos y fáciles de comprender para el alumno, como los caracteres observables y su herencia, comparando, por ejemplo, el parecido entre familiares y analizando de qué modo los caracteres pasan de unas generaciones a otras. Para, a continuación, dar explicación a estos fenómenos desde niveles moleculares (relacionar con cromosomas, genes, procesos de división celular, etc.).

*Selección de contenidos de enseñanza.* A partir de los conocimientos de los estudiantes descritos nos parece pertinente:

- No dar por sabidas algunas nociones (reproducción sexual en plantas o la estructura celular, por ejemplo) sin comprobar que realmente los estudiantes las conocen, a pesar de ser contenidos recogidos por el currículo en cursos anteriores.

- En cuanto a la localización de la información hereditaria, se debería trabajar la relación entre los diferentes niveles de organización de esta información, de más general a más concreto (célula, cromosoma, gen, ADN), con objeto de que no se aprendan de una manera aislada e inconexa, que dificulte establecer las relaciones entre ellos (Lewis et al., 2000b).

- Opinamos, como Banet y Ayuso (2000), que el estudio de los procesos de división celular, la meiosis, se deberían vincular con los contenidos de genética, pues son básicos para comprender aspectos importantes, como la transmisión de la información hereditaria, mediante mitosis, en la formación de un nuevo individuo (cada célula portará la misma información hereditaria) y en la formación de gametos (cada gameto con la mitad de información hereditaria).

*Orientación y secuencia de las actividades.* Es necesario que las actividades de enseñanza tengan en todo momento presente las ideas que, sobre genética, tienen los estudiantes. Así, el programa debería incluir:

- Actividades de explicitación de ideas: de manera que los estudiantes las reconozcan y que sirvan de punto de partida para la construcción de nuevos conocimientos.

- Actividades que ayuden a los alumnos a superar las concepciones alternativas al conocimiento científico, ya que, de lo contrario, pueden persistir, a pesar de haber estudiado los contenidos de genética (Banet y Ayuso, 2000).

*Contextualización de la genética y sus aplicaciones en la sociedad:* en coherencia con lo que decíamos al comienzo del trabajo, la enseñanza de la Herencia Biológica resulta básica para la alfabetización científica y tecnológica de los ciudadanos, ya que son numerosos los contextos sociales en los que la genética es la protagonista. En consecuencia, es necesario destacar la importancia de abordar, con cierto detalle, sus aplicaciones tecnológicas y sociales, sobre todo si se tiene en cuenta que, para la mayoría de estos estudiantes, sería su única y última posibilidad académica de contactar estos contenidos con la realidad de la sociedad actual; pero sobre esto, se profundiza en los siguientes apartados.

## **6.2. Relacionadas con los conocimientos de estudiantes que inician el Bachillerato acerca de nociones básicas en genética y su influencia en las aplicaciones de la biotecnología**

Se presentan en este subapartado, las conclusiones e implicaciones educativas a las que se ha llegado partiendo de la hipótesis planteada para esta parte de la investigación.

**Hipótesis 1. Los conocimientos desarrollados durante la enseñanza secundaria sobre genética, serían necesarios para la comprensión de la biotecnología, pero no se han adquirido de manera adecuada por lo que aún persistirán, en los estudiantes de 1º de Bachillerato, algunas ideas previas erróneas que dificultarán la comprensión de la biotecnología.** Aunque los contenidos del currículo son explícitos, como respuesta general a los problemas formulados podemos señalar que los aprendizajes de los estudiantes que inician el Bachillerato en Ciencias son mejorables. No están claras las relaciones entre genes y ADN (para algunos estudiantes no les supone contradicción admitir que un organismo puede contener ADN, pero no genes), muchos estudiantes no consideran que las plantas tienen reproducción sexual y un número importante de estudiantes no identifican las características básicas (estructural y funcional) de genes, alelos o ADN. Estos, son conocimientos importantes para comprender a nivel elemental, las aplicaciones de la biotecnología, ámbito sobre el que los estudiantes muestran escasos conocimientos (en cuanto al número que son capaces de identificar y también, a la naturaleza de las mismas, incluso de aquellas socialmente más divulgadas). Además, los IES con mejores conocimientos de genética y de aplicaciones de la biotecnología, no siempre coinciden.

**Implicaciones educativas:** el profesorado debería tener en cuenta que muchos estudiantes piensan que no es posible transferir genes de una especie a otra, que solo los microorganismos genéticamente modificados pueden producir antibióticos (idea que puede estar relacionada con la asociación de biotecnología con ingeniería genética) y que las plantas transgénicas tienen genes, pero no los tendrían las que no lo son. Estos resultados reclaman mucha más atención por parte de la investigación educativa y de la enseñanza, con objeto de integrar los contenidos académicos con las CSC derivadas de las aplicaciones de la biotecnología. Parece importante partir del conocimiento de genética básico (bien conseguido) hacia las aplicaciones biotecnológicas, pero para que

esto se produzca de un modo satisfactorio, en la enseñanza de la genética, se deberían tener en cuenta las implicaciones educativas mencionadas anteriormente.

### **6.3. Relacionadas con el conocimiento, actitud e interés hacia la biotecnología en estudiantes que finalizan el Bachillerato y las relaciones entre estos tres constructos**

Teniendo en cuenta las dos hipótesis de las que se partía, se recogen ahora las principales conclusiones, así como su grado de coincidencia con la literatura revisada. Los hallazgos más novedosos de esta investigación también están subrayados, así como las implicaciones educativas que se derivan de los mismos.

**Hipótesis 1: Los conocimientos, actitudes e intereses de los estudiantes españoles que van a terminar su etapa de Educación Secundaria (2º de Bachillerato) en el instituto sobre biotecnología serán, en cuanto a los conocimientos, adecuados y, en cuanto a la actitud e interés, dependientes de múltiples factores y, por tanto, impredecibles, pero dependientes del ámbito y del fin de la aplicación biotecnológica.** En cuanto al conocimiento de los estudiantes españoles que han participado en el estudio, se puede concluir que es similar a los publicados por otros investigadores en diferentes contextos, es decir, conocen algunas aplicaciones biotecnológicas, pero aún presentan errores de conceptos importantes. Esto muestra que hay conceptos que no transfieren del aprendizaje en genética que han realizado previamente, a la biotecnología, lo cual va a dificultar que profundicen en las aplicaciones biotecnológicas más allá de citar los típicos ejemplos que suelen presentarse en los libros de texto. Por lo tanto, el grado de conocimiento sobre conceptos básicos en biotecnología y sus diferentes aplicaciones se podría mejorar (teniendo en cuenta el nivel educativo de los estudiantes).

El conocimiento en el campo de la salud de nuestros estudiantes es bastante adecuado, aunque la terapia génica es mejor descrita que el diagnóstico molecular preventivo, tal vez debido a la terminología utilizada en este trabajo. En cuanto a los alimentos transgénicos, encontramos una descripción de los mismos adecuada, si bien dudan si también podrían acarrear peligros. Además, no conocen qué alimentos transgénicos pueden encontrarse en España, utilizando ejemplos incorrectos pero muy comunes en la bibliografía revisada (tomates, sandía sin pepitas). En el ámbito agrícola,

destacar que los estudiantes saben que la modificación genética de plantas y animales puede mejorar su productividad. Además, el campo industrial ha mostrado ser el menos conocido. Muchos de nuestros estudiantes pueden identificar el concepto de biorremediación y definirlo adecuadamente, pero sin profundizar demasiado en la técnica (se comentará en el siguiente apartado de conclusiones).

Con respecto a la actitud, destacamos en nuestro estudio que esta dependerá no solo de la aplicación y el propósito de la misma, sino también del organismo involucrado, aunque las actitudes más favorables se muestran en relación a la medicina. Los estudiantes opinan que no existe justificación para la investigación en animales con fines médicos y pero sí aceptan suficientemente la terapia génica. También hay actitudes favorables hacia el cuidado del medio ambiente, aunque es mayor en el tratamiento de contaminantes para el medio ambiente, que apostar por los biocombustibles. En el sector alimentario, se aceptan técnicas más tradicionales, como la fermentación, y respecto a la modificación genética de los alimentos, prefieren que sea con un fin nutricional en lugar de comercial. Además, nuestros estudiantes muestran reticencias en el uso de transgénicos para la alimentación. No habíamos encontrado referencias sobre la actitud de los estudiantes en el campo de la biotecnología industrial en la literatura, pero, después de revisar los resultados, concluimos que la aceptación es mayor si el uso industrial es para fines médicos (biofarmacología, también encuadrada como aplicación de la biotecnología médica) que de otra naturaleza (como cosméticos o biocombustibles).

Finalmente, en lo que respecta al interés, los estudiantes de nuestra muestra no están demasiado informados sobre biotecnología a través de los medios de comunicación y aquellos que se encuentran en niveles educativos más elevados, suelen obtener la mayor parte de la información sobre biotecnología en clase. Además, el interés que suscitan las diferentes aplicaciones en biotecnología parece que depende del interés de los estudiantes por la ciencia. Los estudiantes que han participado en nuestro estudio, creen que la biotecnología les será útil en el futuro, pero se ha de tener en cuenta que estos estudiantes ya habían elegido cursar ciencias, de manera que no debemos quedarnos simplemente en que estos estudiantes tenían buena predisposición hacia la ciencia, que era previsible, sino plantearnos de qué manera el profesorado puede utilizar este interés para generar en ellos conocimiento.

Las áreas que más interés suscitan entre los estudiantes son la medicina y la alimentación, seguidas por el medio ambiente y, finalmente, la agricultura y la industria (no se han encontrado referencias al interés en biotecnología industrial antes, pero en este trabajo se ha determinado un interés medio-bajo en esta área).

**Hipótesis 2: Es posible que exista correlación entre conocimiento, actitud e interés, pero en caso de que exista, resultará difícil establecer su causalidad debido a que la actitud e interés dependen de múltiples factores y no solo de los de tipo cognoscitivo.** Con respecto a la correlación entre los tres constructos analizados, los resultados de este trabajo hacen estar de acuerdo en que existe una correlación positiva, pero también en que un mayor conocimiento de la biotecnología no siempre resulta en una mayor aceptación (se ha analizado la correlación, pero no la causalidad). Por lo que, aunque parece que sí hay correlación, y que, en general, un mayor conocimiento suele estar relacionado con mayor aceptación, otros factores como el afectivo, pueden determinar una aceptación baja. Sobre todo, esta tesis parece apuntar a señalar cuán complejo es determinar las relaciones entre ellos porque se trata de constructos multidimensionales, determinados por factores cognitivos, afectivos y conductuales. Además, factores como los participantes o la metodología de la investigación influirán en los resultados finales, hecho que puede dificultar la comparación entre diferentes estudios (Dawson, 2007). De este modo, se ha podido comprobar que la actitud de los estudiantes hacia las distintas aplicaciones biotecnológicas depende de factores muy diversos, como el conocimiento previo de los aspectos subyacentes, los organismos implicados en las investigaciones o experimentaciones, el objetivo de cada aplicación o el ambiente social predominante en cada contexto. En general, nuestros estudiantes se muestran favorables hacia los avances en la biotecnología, muy especialmente si tiene fines que mejoran la salud de las personas.

**Implicaciones educativas:** no hay duda de que factores como el ritmo de obtención de nuevos descubrimientos y su aplicación en biotecnología dificultan que los ciudadanos estén bien formados en este tema, ya que es cada vez más complejo adquirir un conocimiento experto. De esta manera, las creencias y actitudes hacia la biotecnología pueden tener una mayor influencia en las decisiones personales de los individuos que su conocimiento explícito del contenido (Anderton y Ronald, 2017). Por

lo tanto, como implicaciones educativas de esta investigación, parece relevante resaltar lo siguiente:

- Antes de abordar los contenidos de biotecnología en el Bachillerato, es necesario que los estudiantes posean un conocimiento adecuado sobre las nociones básicas de genética, fundamentales para comprenderlo incluso en el nivel inicial (Tsui y Treagust, 2010). Por el contrario, si los docentes suponen que los contenidos analizados se han aprendido en cursos anteriores, se contribuirá a la persistencia de una gran parte de estos errores, lo que dificultará la comprensión de la biotecnología.

- Debido a la complejidad de este tema, tanto por la naturaleza de sus conceptos, técnicas y aplicaciones, como por sus implicaciones sociales, los contenidos de biotecnología deben presentarse a los estudiantes de manera organizada, para facilitar su aprendizaje y su relación con los conocimientos ya adquiridos. En este sentido, entre las muchas clasificaciones de especialidades biotecnológicas, recomendamos la de colores, por ser más clarificadora (Castro et al., 2017; Da Silva, 2004; Díaz, 2014; Kafarski, 2012). Consideramos que es importante aprovechar el interés de los estudiantes en biotecnología, particularmente en relación con aplicaciones con efectos directos sobre la salud. El punto de partida podría ser presentar no solo más ejemplos sino también en más áreas (como industria y medio ambiente).

- También en este ámbito tan novedoso, se está haciendo patente la actualización científica (no solo didáctica) de los docentes, ya que el ámbito de la biotecnología lleva consigo nuevos conocimientos, relativamente recientes, sobre los que algunos profesores pueden sentirse inseguros al abordarlos en el aula. Se ha de considerar, por otra parte, que la formación del profesorado, como es razonable, será más deficitaria en cuanto a biotecnología conforme sea anterior su titulación, pues como se ha detallado anteriormente, esta materia está cobrando más importancia en los últimos años en los currículos escolares. Así que, es necesaria la actualización de la formación del profesorado en este tema.

Finalmente, parece importante enfatizar que, con mucha más frecuencia de lo deseable, el ritmo de las clases implica la introducción de una gran cantidad de nuevos términos, conceptos o técnicas, sin establecer suficientes momentos para que los estudiantes reflexionen sobre el nuevo aprendizaje y se relacionen con otros previamente adquiridos. En nuestra opinión, esta circunstancia podría explicar, en gran

medida, las dificultades que tienen muchos estudiantes para comprender adecuadamente los conocimientos como los que hemos analizado en esta investigación.

#### **6.4. Relacionadas con el estudio de las justificaciones de los estudiantes de 2º de Bachillerato sobre controversias sociocientíficas en biotecnología**

Por último, se establecen conclusiones e implicaciones educativas para la última parte de esta investigación, de carácter más cualitativo y que ha permitido ayudar a plasmar la realidad de la enseñanza-aprendizaje de la biotecnología en el aula, complementándose la información de la que ya se ha hablado anteriormente obtenida mediante cuestionarios y con un exhaustivo análisis cuantitativo.

**Hipótesis 1: Los estudiantes se van a basar para justificar sus puntos de vista sobre algunos temas relacionados con controversias sociocientíficas en biotecnología en conocimientos, que no siempre serán adecuados y pertinentes y en actitudes, que en ocasiones no estarán fundamentadas.** Con respecto a los alimentos transgénicos, el alumnado con frecuencia fundamenta los aspectos beneficiosos de los mismos en valores económicos. Sin embargo, a la hora de justificar sus desventajas, suelen fundar las mismas en factores ambientales o de salud, algo que también se mostraba en el análisis de resultados del cuestionario. Al profundizar sobre la manera en que manera explican qué son los alimentos transgénicos o como pueden obtenerse, encontramos muchas dudas al respecto y un déficit en conocimientos básicos de genética y esta aplicación de la biotecnología.

Respecto a biorremediación, por lo general, comprobamos que los estudiantes se muestran favorables hacia esta aplicación de la biotecnología y que, entre los valores en los que justifican su posicionamiento, predomina el ambiental, así como la necesidad de incrementar el desarrollo científico para aumentar su eficacia. Sin embargo, aunque sí comprenden en esta ocasión los aspectos más básicos por los que se les pregunta, como el uso del plástico por la bacteria, aún se encuentran dudas por ejemplo de qué manera se llevaría a cabo en la práctica. Destacamos aquí la novedad acerca de la información obtenida en esta parte de la biorremediación, pues sus efectos suelen aparecer a modo de ejemplo en los libros de texto y también algunos trabajos sobre biotecnología lo tienen en cuenta, pero no hemos encontrado otros estudios en los que

se analice qué conocen los estudiantes sobre ella y cuáles son sus actitudes hacia la misma de manera detallada y completa gracias a las entrevistas semiestructuradas.

En lo referente a la biofarmacología, la utilización de la biotecnología para producir fármacos u hormonas es la más aceptada, fundamentando sus justificaciones en los valores de mejora de la salud de las personas. Si bien, como un aspecto negativo, se resaltan valores de carácter ético. Así se excluye, por buena parte de los estudiantes entrevistados, la utilización de animales (no de bacterias) para la producción de fármacos. Además, aún en estudiantes de 2º de Bachillerato encontramos una inadecuada transferencia de conocimientos básicos en genética con las aplicaciones de la biotecnología pues, por ejemplo, no relacionan los procesos de transcripción y traducción con la introducción de un gen en una bacteria para que esta produzca una proteína de interés. No habíamos encontrado con anterioridad, trabajos que enfatizaran en la manera en que los procesos de biología molecular como la transcripción y la traducción, se relacionan con la producción de sustancias a través de ingeniería genética y biotecnología y las implicaciones de esto.

Con respecto a biotecnología industrial, entre los valores que utilizan nuestros estudiantes para justificar sus posiciones a favor o en contra de la misma, hemos encontrado que suelen ser de carácter económico y ambiental, aunque de nuevo, les preocupa la salud e inocuidad de estos procesos. Así, el valor económico puede ser utilizado para justificar una posición favorable si es más barato el producto que se obtiene (vaqueros desgastados) o en contra si es más caro (biodiesel frente a gasolina o un daño en el vehículo por su uso). También el valor ambiental es utilizado con frecuencia en contra, si se atribuyen daños en el medio ambiente, o a favor, si reduce un problema de contaminación (reducción de combustibles fósiles). Los contenidos relacionados con biotecnología industrial se van introduciendo poco a poco en el currículo (como anteriormente se ha comentado, al ir ganando espacio la biotecnología en los currículos educativos), sin embargo, a pesar de esto y del hecho de que también se pueden encontrar algunos contenidos de biotecnología industrial en los libros de texto (material que suele consultar el profesorado), no hemos encontrado anteriormente otro estudio en el que se investigue sobre el conocimiento y la actitud hacia la biotecnología industrial y de qué manera los estudiantes emplean estos para argumentar sobre diferentes aplicaciones de la misma utilizando entrevistas semiestructuradas.

Finalmente, destacar el escaso número de veces en las que los estudiantes, para sus argumentaciones, aportan argumentos a favor y contra mostrando la contraposición y el contraste de ideas para finalmente posicionarse de cierta manera. Por el contrario, parece que una decisión del estudiante, suele estar asociada a una única justificación (pro o contra), de tipo cognoscitivo o actitudinal, o ambos (en ocasiones utilizan uno, pero llevan implícito el otro).

**Hipótesis 2: Las entrevistas individuales semiestructuradas son instrumentos de recogida de información adecuados para conocer de qué manera justifican los estudiantes los conocimientos y actitudes en los que se basan para posicionarse de una manera u otra acerca de diferentes cuestiones relacionadas con la biotecnología y sus aplicaciones.** Las entrevistas presentadas en este trabajo, realizadas de un modo flexible a partir de un guion previo que se va adaptando a las respuestas de los estudiantes (semiestructuradas), permiten establecer una buena aproximación a los conocimientos de los estudiantes sobre las diferentes aplicaciones de la biotecnología por las que se pregunta y a qué valoran a la hora de adoptar una determinada actitud como posibles consumidores. Una de las principales novedades de esta investigación reside en el uso de este tipo de entrevistas para analizar aplicaciones de la biotecnología en ámbitos en los que normalmente no se profundiza como son el medioambiental y el industrial.

Al mismo tiempo, ha resultado de gran utilidad el modelo de análisis de las justificaciones de los estudiantes empleado, especialmente al diferenciar los aspectos de contenido (esto es, si lo expresado por los estudiantes se acerca o aleja del conocimiento científico y en qué valores se fundamentan sus presupuestos) de los aspectos estructurales (es decir, si se utilizan planteamientos a favor o en contra). Consideramos que es un marco de estudio de interés en un futuro para analizar con más detalle la calidad de las opiniones de los estudiantes en temas relacionados con CSC. De este modo, al tener en cuenta cuáles son los conocimientos que los alumnos de 2B poseen y en qué valores se sustentan, podemos comprender mejor por qué adoptan una determinada posición u otra.

**Implicaciones educativas:** en cuanto a las implicaciones educativas que se podrían tener en cuenta destacamos que podría ser conveniente que se favorezcan los enfoques multidisciplinares que pueden facilitar la adquisición de nuevos contenidos implicando a una diversidad de áreas y mejorar, así mismo, la calidad de las

justificaciones en las que los estudiantes basan sus actitudes (Christenson, Gericke y Rundgren, 2017).

Finalmente, el análisis cualitativo de los resultados, aunque no permite hacer comparaciones estadísticamente significativas, sí brinda una herramienta útil para conocer mejor qué aspectos se plantean los estudiantes a la hora de tomar decisiones en relación con la biotecnología. Por tanto, a pesar de que el número de estudiantes que han participado en este estudio no es muy elevado, los datos obtenidos son de alto valor cualitativo y muestran que las entrevistas semiestructuradas se articulan como un buen medio para obtener información sobre conocimientos y actitudes en biotecnología de los estudiantes de Bachillerato.

### **6.5. Conclusiones, reflexiones y limitaciones de la investigación finales**

Ya que, como ha quedado patente en este estudio, hay algunos aspectos básicos relacionados con conocimientos en genética y otros ámbitos como la biología celular o la microbiología, que los estudiantes no terminan de adquirir tras haber cursado la Educación Secundaria y Bachillerato, o que aprenden de manera inconexa y posteriormente no transfieren a otros ámbitos, sería importante reflexionar acerca de la necesidad de modificar la enseñanza de la genética y la biotecnología en la educación secundaria.

Hay algunos aspectos de la enseñanza de la genética que quizás resultan demasiados abstractos y cuya utilidad los estudiantes no perciben, de manera que no capta su interés. Además, como se ha plasmado en esta tesis doctoral, no por haber estudiado más contenidos sobre genética, los estudiantes comprenden mejor las técnicas biotecnológicas. Esto puede observarse al comprobar las conclusiones del apartado 6.2., en las que se exponía que no un mejor conocimiento de la genética implica un mayor conocimiento de la biotecnología.

Por ello, y pensando en la necesidad de una alfabetización científica y tecnológica básicas, que permitan al estudiante desenvolverse con soltura en relación con algunos temas relacionados con CSC, se debería reconsiderar el currículo en relación con estos aspectos, introduciendo contenidos más novedosos y concretos, por los que los estudiantes están interesados de manera que la enseñanza-aprendizaje de los conceptos básicos sobre genética se desarrolle de manera holística ligada a estos temas de actualidad relacionados con la biotecnología.

Por otra parte, este modelo de enseñanza que se propone, tendría la atención focalizada no solo en la adquisición de unos contenidos sino también unas competencias enormemente necesarias, como ser capaces de desarrollar una adecuada argumentación científica para justificar los puntos distintos puntos de vista individuales, contraponiendo ideas contrastadas de diversas fuentes y con calidad desde el punto de vista del conocimiento científico. La biotecnología se postula como un área idónea para satisfacer las necesidades educativas que se presentan en los párrafos anteriores, por tratarse de un ámbito con multitud de aplicaciones diferentes, que se basan en conceptos básicos de genética y que resultan de interés para los estudiantes. Con ella, además puede explorarse el mundo de las CSC y la argumentación en el aula.

Por último, señalar que esta investigación, a pesar de haber sido realizada con la mayor rigurosidad posible, cuenta con algunas limitaciones, que ya han sido señaladas con anterioridad para cada parte del estudio en el capítulo de Metodología. No obstante, se ha de recordar al lector que hay algunos aspectos que podrían haber mejorado la validez de los resultados, pero que no se han podido tener en cuenta por diferentes razones. En general, estas tienen que ver con el diseño y desarrollo de la investigación, entre las que se destaca el tamaño y los criterios de selección de la muestra (se realizó de manera incidental, en centros educativos a los que la autora de la tesis y los directores de la investigación tenían acceso), el control de las variables que hubieran podido influir en los resultados (como son la enseñanza que los estudiantes recibieron, a cargo de sus profesores y profesoras en los centros educativos o el tiempo del que se disponía para administrar cuestionarios o realizar entrevistas), el diseño experimental (se diseñaron diferentes cuestionarios teniendo en cuenta la bibliografía revisada y realizando pruebas piloto previas a su administración, pero siendo conscientes de que se podían haber elegido otras cuestiones) y análisis de los resultados (para intentar solventar este hecho, el análisis estadístico fue el que se consideró más pertinente para cada momento de la investigación y se realizaron pruebas de significación estadística que validaran la credibilidad de los resultados obtenidos, además, se intentó demostrar también con este análisis estadístico que los instrumentos de recogida de información cumplieran unos estándares (por medio de pruebas como el valor de alfa de Cronbach), en cuanto al análisis cualitativo, por su naturaleza, más complejo de estandarizar, se emplearon herramientas creadas para tal fin como el programa Atlas.Ti y se comparó la codificación realizada por la autora de la tesis y sus diferentes directores.

Pensamos que los resultados, conclusiones e implicaciones educativas que se han mostrado en esta tesis doctoral, así como la revisión bibliográfica realizada para fundamentar la misma, y el tratamiento metodológico empleado, son en sí mismos útiles y relevantes para la investigación en el ámbito de la Didáctica de las Ciencias Experimentales, pero también, consideramos que la misma será útil en la medida en que sirva como punto de partida de posteriores investigaciones para mejorar la enseñanza-aprendizaje de la genética y biotecnología en la Enseñanza Secundaria y Bachillerato.

# **VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**



## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abril Gallego, A. M., Mayoral Martínez, M. V. y Muela García, F. J. (2004). Los medios de comunicación social y la didáctica de la genética y la biología molecular en E.S.O. En *La nueva alfabetización: un reto para la educación del siglo XXI* (pp. 367–368).
- AbuQamar, S., Alshannag, Q., Sartawi, A. y Iratni, R. (2015). Biotechnology Education Educational Awareness of Biotechnology Issues among Undergraduate Students at the United Arab Emirates University. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 43(4), 283–293. <http://doi.org/10.1002/bmb.20863>
- Amgen (2020). Recuperado de: <https://www.biotechnology.amgen.com/es/timeline.html>
- Albe, V. (2006). Tratar controversias científicas contemporáneas en clase. *Alambique*, 49, 95–104.
- Aleksejeva, I. (2013). Comparative analysis of gmo risk perception gap between eu consumers and latvian experts involved in gmo decision making process. *New Challenges of Economic and Business Development*, 7–14.
- Alias, N., DeWitt, D. y Siraj, S. (2014). Students' Biotechnology Literacy: The Pillars of STEM Education in Malaysia. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 10(3), 175–184. <https://doi.org/10.12973/eurasia.2014.1074a>
- Anderton, B. N. y Ronald, P. C. (2017). Hybrid thematic analysis reveals themes for assessing student understanding of biotechnology. *Journal of Biological Education*, 52(3), 271–282.
- Arnau Sabatés, L. y Montané Capdevila, J. (2010). Aportaciones sobre la relación conceptual entre actitud y competencia , desde la teoría del cambio de actitudes. *Electronic Journal of Research in Educational Psychology*, 8(3), 1283–1302.
- Ayuso, G.E. y Banet, E. (2002). Alternativas a la enseñanza de la genética en educación secundaria. *Enseñanza de Las Ciencias*, 20(1), 133–157.
- Ayuso, G.E., Fernández-Alías, Ruiz, C. y López-Banet, L. (2019). ¿Dependen las actitudes y conocimientos de los estudiantes sobre la biotecnología de la inversión

en la industria biotecnológica de cada país? En XVIII Encontro Nacional de Educação em Ciências y III International Seminar on Science Education. Congreso llevado a cabo en Oporto, Portugal.

Aznar, V. (2000). ¿Qué sabemos sobre biotecnología? [What do we know about biotechnology?]. *Alambique*, 25.

Bahar, M., Johnstone, A. H. y Hansell, M. H. (1999). Revisiting learning difficulties in biology. *Journal of Biological Education*, 33(2), 84–86. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1080/00219266.1999.9655648>

Banet, E. y Ayuso, E. (1995). Introducción a la genética en la Enseñanza Secundaria y Bachillerato I. Contenidos de enseñanza y conocimientos de los alumnos. *Enseñanza de Las Ciencias*, 13(2), 137–153.

Banet, E. y Ayuso, E. (2000). Teaching genetics at secondary school: A strategy for teaching about the location of inheritance information. *Science Education*, 84(3), 313. [http://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-237X\(200005\)84:3<313::AID-SCE2>3.3.CO;2-E](http://doi.org/10.1002/(SICI)1098-237X(200005)84:3<313::AID-SCE2>3.3.CO;2-E)

BOE (Boletín Oficial del Estado). (2007). Ley 14/2007, de 3 de julio, de Investigación biomédica. Retrieved from <https://www.boe.es/eli/es/l/2007/07/03/14>

Boerwinkel, D. J., Knippels, M.C. y Waarlo, A. J. (2011). Raising awareness of pre-symptomatic genetic testing. *Journal of Biological Education*, 45(4), 213–221. <http://doi.org/10.1080/00219266.2011.572987>

Brandenberg, O., Dhlamini, Z., Sensi, A., Ghosh, K. y Sonnino, A. (2011). Module A: Introduction to molecular biology and genetic engineering. En *Biosafety Resource Book*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

Bravo Torija, B. y Jiménez Aleixandre, M. P. (2014). Articulación del uso de pruebas y el modelo de flujo de energía en los ecosistemas en argumentos de alumnado de Bachillerato. *Enseñanza de Las Ciencias*, 32(3), 425–442. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1281>

Bray, H. J. y Ankeny, R. A. (2017). Not just about “the science”: science education and attitudes to genetically modified foods among women in Australia. *New Genetics*

- and Society*, 36(1), 1–21. <https://doi.org/10.1080/14636778.2017.1287561>
- Caballero, M. (2008). Algunas ideas del alumnado de secundaria sobre conceptos básicos de genética. *Enseñanza de Las Ciencias*, 26(2), 227–244.
- Campanario, J. M. (2002). The parallelism between scientists' and students' resistance to new scientific ideas. *International Journal of Science Education*, 24(10), 1095–1110.
- Carpenter, J. y Gianessi, L. (1999). Herbicide tolerant soybeans : why growers are adopting roundup ready varieties. *AgBioforum*, 2(2), 65–72.
- Carrión, F., Gandía, A., García, A., Mayordomo, M., Ruiz, O. y Velasco, B. (2003). *De la biotecnología a la clonación: ¿Esperanza o amenaza?* (Diálogo, Ed.). Valencia.
- Casanoves, M., González, Á., Salvadó, Z., Haro, J. y Novo, M. (2015). Knowledge and Attitudes Towards Biotechnology of Elementary Education Preservice Teachers : The first Spanish experience. *International Journal of Science Education*, 37(17), 2923–2941. <http://doi.org/10.1080/09500693.2015.1116718>
- Castro, H., Serpa, F., Cavalcanti, A., Pereira, M., Paixao, I., Cisne, R., Delou, C. (2017). Educational Biotechnology: teaching and developing for the future. In *The 21st World Multi-Conference on Systemics, Cybernetics and Informatics (WMSCI 2017)* (pp. 325–327).
- Chang, S. N. y Chiu, M. H. (2008). Lakatos' scientific research programmes as a framework for analysing informal argumentation about socio-scientific issues. *International Journal of Science Education*, 30(13), 1753–1773.
- Chen, S. Y., Chu, Y. R., Lin, C. Y. y Chiang, T. Y. (2016). Students' knowledge of, and attitudes towards biotechnology revisited, 1995-2014: Changes in agriculture biotechnology but not in medical biotechnology. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 44(5), 475–491. <http://doi.org/10.1002/bmb.20969>
- Christenson, N. (2015). *Socioscientific argumentation: Aspects of content and structure*. Karlstads universitet.

- Christenson, N. y Chang Rundgren, S. N. (2014). A framework for teachers' assessment of socio-scientific argumentation: an example using the GMO issue. *Journal of Biological Education*, 49 (2) 204-212.
- Christenson, N., Gericke, N. y Rundgren, S. N. C. (2017). Science and Language Teachers' Assessment of Upper Secondary Students' Socioscientific Argumentation. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 15(8), 1403–1422.
- Clough, E. y Wood-Robinson, C. (1985). Children's understanding of inheritance. *Journal of Biological Education*, 19(4), 304–310.
- Comisión de Comunidades Europeas. (2005). Propuesta de Recomendación del Parlamento Europeo y del Consejo.
- Črne-Hladnik, H., Peklaj, C., Košmelj, K., Hladnik, A. y Javornik, B. (2009). Assessment of Slovene secondary school students' attitudes to biotechnology in terms of usefulness, moral acceptability and risk perception. *Public Understanding of Science*, 18(6), 747–758. <https://doi.org/10.1177%2F0963662509337361>
- Da Silva, E. J. (2004). The colors of Biotechnology: Science, Development and Humankind. *Electronical Journal of Biotechnology*, 7(3).
- Dalglish, R., Shanks, M. E., Monger, K. y Butler, N. J. (2012). A mini-library of sequenced human DNA fragments: linking bench experiments with informatics. *Journal of Biological Education*, 46(3), 193–198.
- Dawson, V. (2007). An exploration of high school (12-17 Year Old) students' understandings of, and attitudes towards biotechnology processes. *Research in Science Education*, 37(1), 59–73. <http://doi.org/10.1007/s11165-006-9016-7>
- Dawson, V. y Schibeci, R. (2003). Western Australian high school students' attitudes towards biotechnology processes. *Journal of Biological Education*, 38(1), 1–6. <http://doi.org/10.1080/00219266.2003.9655889>
- De la Vega Naranjo, M., Lorca Marín, A. A. y De las Heras Pérez, M. de los Á. (2018). Conocimientos y actitudes hacia la biotecnología en alumnos de último curso de Educación Secundaria Obligatoria. *Revista Eureka Sobre Enseñanza Y Divulgación de Las Ciencias*, 15(5). <http://doi.org/10.25267/Rev>

- Díaz Martínez, V. (2014). Los colores de la biotecnología. *BiotechSpain*, 1–4. Retrieved from [https://biotechspain.com/es/tema.cfm?iid=colores\\_biotecnologia](https://biotechspain.com/es/tema.cfm?iid=colores_biotecnologia)
- Díaz, N. y Jiménez-Liso, M. R. (2012). Las controversias sociocientíficas: temáticas e importancia para la educación científica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 9 (1), 54-70.
- Domènech-Casal, J. (2017). Propuesta de un marco para la secuenciación didáctica de Controversias Socio-Científicas. Estudio con dos actividades alrededor de la genética. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 14(3), 601-620.
- Domènech-Casal, J. (2019). Risk Zone, una actividad de estudio de caso y controversia socio-científica para la enseñanza de los riesgos geológicos. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 16 (3), 3201.
- Driver, R. (1986). Psicología cognoscitiva y esquemas conceptuales de los alumnos. *Enseñanza de Las Ciencias*, 6(2), 3–15.
- European Commission. (2009). *25 recommendations on the ethical, legal and social implications of genetic testing*. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.
- European Parliament and the Union European Council (2003). Regulation (EC) No 1830/2003 of the European Parliament and of the Council of 22 September 2003 concerning the traceability and labelling of genetically modified organisms and the traceability of food and feed products produced from genetically modified organisms and amending Directive 2001/18/EC. Retrieved from <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2003/1830/2008-12-11>
- Evans, J. M. y Geller, D. P. (2012). Biodiversity conservation in biofuel production: Are we doing enough? *Biofuels*, 3(6), 627–630. <http://doi.org/10.4155/bfs.12.66>
- Fári, M. G. y Kralovánszky, U. P. (2006). The founding father of biotechnology: Károly (Karl) Ereky. *International Journal of Horticultural Science*, 12(1), 9–12.
- Federico Agraso, M. y Jiménez-Aleixandre, M. P. (2006). ¿Clonación terapéutica? Decisiones sobre dilemas éticos en el aula. *Alambique*, 49, 1–5.

- Fernández Fernández, M. M. y Jiménez-Tejada, M. P. (2018). Difficulties learning about the cell. Expectations vs. reality. *Journal of Biological Education*, DOI: 10.1080/00219266.2018.1469542
- Fonseca, M. J., Costa, P., Lencastre, L. y Tavares, F. (2012). Multidimensional analysis of high-school students' perceptions about biotechnology. *Journal of Biological Education*, 46(3), 129–139. <http://doi.org/10.1080/00219266.2011.634019>
- Forissier, T. y Clément, P. (2003). Teaching “ biological identity ” as genome / environment interactions. *Journal of Biological Education*, 37(2), 85–90. <http://doi.org/10.1080/00219266.2003.9655857>
- France, B. (2007). Location, Location, Location: Positioning Biotechnology Education for the 21st Century. *Studies in Science Education*, 43, 88–122.
- Frazzetto, G. (2003). *European Molecular Biology Organization*, Vol. 4 (9), pp. 835–837. <https://doi.org/10.1038/sj.embor.embor928>
- Fritz, S., Husmann, D., Wingenbach, G., Rutherford, T., Egger, V. y Wadhwa, P. (2003). Awareness and Acceptance of Biotechnology Issues among Youth , Undergraduates , and Adults. *Agricultural Leadership, Education y Communication Department*, 6(December), 178–184.
- Furió Mas, C., Vilches, A., Guisasola, J. y Romo, V. (2001). Finalidades de la enseñanza de las ciencias en la secundaria obligatoria. ¿Alfabetización científica o preparación propedéutica? *Enseñanza de Las Ciencias*, 19(3), 365–376.
- Gardner, G., Jones, G., Taylor, A., Forrester, J. y Robertson, L. (2010). Students' risk perceptions of nanotechnology applications: Implications for science education. *International Journal of Science Education*, 32(14), 1951–1969. <https://doi.org/10.1080/09500690903331035>
- Gardner, G. E. y Troelstrup, A. (2015). Students' Attitudes Toward Gene Technology: Deconstructing a Construct. *Journal of Science Education and Technology*, 24(5), 519–531. <http://doi.org/10.1007/s10956-014-9542-4>
- Gaskell, G., Stares, S., Allansdottir, A., Allum, N., Corchero, C., Fischler, C., Hampel, J., Jackson, J., Kronberger, N., Mejlggaard, N., Revuelta, G., Scheiner, C.,

- Togersen, H., y Wagner, W. Commission, E. (2006). Europeans and Biotechnology in 2005: patterns and trends. Eurobarometer 64.3. A report to the European Commission's Directorate-General for Research. *Eurobarometer*, 85. Recuperado de: <http://www.cibpt.org/docs/2006-jul-eurobarometro-bio-2nd-ed.pdf>
- Gericke, N. y Wahlberg, S. (2013). Clusters of concepts in molecular genetics: a study of Swedish upper secondary science students understanding. *Journal of Biological Education*, 47(2), 73–83. <http://doi.org/10.1080/00219266.2012.716785>
- Gil Escudero, G., Fernández García, J., Rubio Miguelsanz, F. y López Ramos, C. (2000) Proyecto PISA. La medida de los conocimientos y destrezas de los alumnos: un nuevo marco de evaluación / OCDE. — Madrid : Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, INCE, 2000. 129 p.
- Gobierno de España (1990) Ley Orgánica General del Sistema Educativo (LOGSE). *Boletín Oficial Del Estado*; 28927-28942. Recuperado de: <https://www.boe.es/eli/es/lo/1990/10/03/1>
- Gobierno de España. (2006). Ley Orgánica de Educación (LOE). *Boletín Oficial Del Estado*, 106, 1–107. Recuperado de: <http://doi.org/10.1128/MCB.00493-06>
- Gobierno de España. (2013). Ley Orgánica 8/2013, de 9 de diciembre, para la mejora de la calidad educativa. *Boletín Oficial Del Estado*, 295(10 de diciembre), 27548–27562. Recuperado de: <http://www.boe.es>
- Gutierrez González, A. (2019). The Right to a clean and healthy environment: Gmos in Mexico and the European Union. *Mexican Law Review*, 11(2), 91–113. <https://doi.org/10.22201/ij.24485306e.2019.1.13129>
- Hammann, M. (2018). Biotechnology. In K. Kampourakis y M. J. Reiss (Eds.), *Teaching Biology in Schools Global Research, Issues, and Trends* (First edit, pp. 192–201). New York: Routledge.
- Hansson, S. O. (2016). How to be Cautious but Open to Learning : Time to Update Biotechnology and GMO Legislation. *Risk Analysis*, 1–5. <http://doi.org/10.1111/risa.12647>
- Harms, U. (2002). Biotechnology education in schools. *Electronic Journal of*

- Biotechnology*, 5(3), 205–211. <http://doi.org/10.2225/vol5-issue3-fulltext-i03>
- Hoban, T.J. y Kendall, P.A. (1992). Consumer Attitudes About the Use of Biotechnology in Agriculture and Food Production. Raleigh, NC: North Carolina State University.
- Hudson, J. (2017). Genetically modified products and GMO foods: a game of chance? In *Developing New Functional Food and Nutraceutical Products* (pp. 481–494). Elsevier Inc. <http://doi.org/10.1016/B978-0-12-802780-6/00027-4>
- Jiménez-Aleixandre, M. P., Bugallo Rodríguez, A. y Duschl, R. A. (2000). “ Doing the Lesson ” or “ Doing Science ”: Argument in High School Genetics. *Science Education*, 84(6), 757–792.
- Jiménez-Aleixandre, M. P. y Erduran, S. (2007). Argumentation in science education: An Overview. In S. Erduran y M. P. Jiménez-Aleixandre (Eds.), *Argumentation in Science Education: Perspectives from Classroom-Based Research* (pp. 3–29). Springer.
- Johnstone, A. H. (1991). Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem. *Journal of Computer Assisted Learning*, 7(2), 75–83.
- Jurkiewicz, A., Zagórski, J., Bujak, F., Lachowski, S. y Łuszczki, M. F. (2014). Emotional attitudes of young people completing secondary schools towards genetic modification of organisms (GMO) and genetically modified foods (GMF). *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 21(1), 205–211.
- Kafarski, P. (2012). Rainbow code of biotechnology. *Chemik*, 66(8), 814–816.
- Kargbo, D., Hobbs, E. y Erickson, G. (1980). Children’s beliefs about inherited characteristics. *Journal of Biological Education*, 14(2), 137–146.
- Kidman, G. (2010). What is an “Interesting Curriculum” for biotechnology education? students and teachers opposing views. *Research in Science Education*, 40(3), 353–373. <http://doi.org/10.1007/s11165-009-9125-1>
- Klop, T. y Severiens, S. (2007). An Exploration of Attitudes towards Modern Biotechnology: A study among Dutch secondary school students. *International Journal of Science Education*, 29(5), 663–679.

<http://doi.org/10.1080/09500690600951556>

Kolarova, T. (2011). Modern biotechnology from the point of view of 15-19-year-old high school students. *Biotechnology and Biotechnological Equipment*, 25(3), 2538–2546. <https://doi.org/10.5504/bbeq.2011.0069>

Kolarova, T., Hadjiali, I. y Denev, I. (2013). High school students' reasoning in making decisions about socio-ethical issues of genetic engineering: Case of gene therapy. *Biotechnology and Biotechnological Equipment*, 27(2), 3737–3747. <https://doi.org/10.5504/BBEQ.2012.0133>

Kvale, S. (2008). *Doing interviews*. Sage.

Lewis, J., Leach, J. y Wood-Robinson, C. (2000a). All in the genes? — young people's understanding of the nature of genes. *Journal of Biological Education*, 34(2), 74–79. <http://doi.org/10.1080/00219266.2000.9655689>

Lewis, J., Leach, J. y Wood-Robinson, C. (2000b). What's a cell?-young people's understanding of the genetic relationship between cells, within an individual. *Journal of Biological Education*, 34(3), 129–132.

Lewis, J., Leach, J. y Wood-Robinson, C. (2000c). Chromosomes: the missing link-young people's understanding of mitosis, meiosis, and fertilization. *Journal of Biological Education*, 34(4), 189–198.

Lewis, J. y Wood-Robinson, C. (2000). Genes, chromosomes, cell division and inheritance - do students see any relationship? *International Journal of Science Education*, 22(November 2013), 177–195. <http://doi.org/10.1080/095006900289949>

Lieshout, E. y Dawson, V. (2016). Knowledge of , and Attitudes Towards Health-related Biotechnology Applications Amongst Australian Year 10 High School Students. *Journal of Biological Education*, 9266(February). <http://doi.org/10.1080/00219266.2015.1117511>

Lyon, A., Mays, C. E., Borriello, F., Telling, G. C., Soto, C. y Pritzkow, S. (2019). Application of PMCA to screen for prion infection in a human cell line used to produce biological therapeutics. *Scientific Reports*, 9(1), 4847.

<https://doi.org/10.1038/s41598-019-41055-x>

Maes, J., Bourgonjon, J., Gheysen, G. y Valcke, M. (2018). Variables Affecting Secondary School Students' Willingness to Eat Genetically Modified Food Crops. *Research in Science Education*, 48(3), 597–618. <https://doi.org/10.1007/s11165-016-9580-4>

Maes, J., Gheysen, G. y Valcke, M. (2015). Evaluation of secondary school student's knowledge about biotechnology during six years of (biology) education. In *Edulearn15: 7th international conference on education and new learning technologies* (pp. 3766–3773).

Maguregi González, G., Uskola Ibarluzea, A. y Burgoa Etxaburu, B. (2017). Modelización , argumentación y transferencia de conocimiento sobre el sistema inmunológico a partir de una controversia sobre vacunación en futuros docentes. *Enseñanza de las Ciencias*, 35(2), 29–50. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2237>

Marco Stiefel, B. (2003). La ciencia y la tecnología escolar en el marco de las nuevas alfabetizaciones. *Revista Alambique* 38, 38.

Martín del Pozo, R., Rivero, A. y Azcárate, P. (2014). Las concepciones de los futuro maestros sobre la naturaleza, cambio y utilización didáctica de las ideas de los alumnos. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 11(3), 348-363.

Martínez Bernat, F. X., García Ferrandis, I. y García Gómez, J. (2019). Competencias para mejorar la argumentación y la toma de decisiones sobre conservación de la biodiversidad. *Enseñanza de Las Ciencias*, 37(1), 55–70. <http://doi.org/https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2323>

Martínez-Chico, M., Jiménez-Liso, M. R. y López-Gay Lucio-Villegas, R. (2014). La indagación en las propuestas de formación inicial de maestros: análisis de entrevistas a los formadores de Didáctica de las Ciencias Experimentales. *Enseñanza de Las Ciencias*, 32(3), 591–608. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1376>

McMillan, J. y Schumacher, S. (2005). *Investigación educativa. Una introducción*

*conceptual. 5ª Edición.* Madrid (España). Pearson Educación.

Ministerio de Educación, C. y D. (1995) Real Decreto 1390/1995, de 4 de agosto, por el que se modifica y amplía el Real Decreto 1345/1991, de 6 de septiembre, por el que se establece el currículo de la Educación Secundaria Obligatoria. *Boletín Oficial del Estado*, 27983-28005.

Ministerio de Educación, C. y D. (2006). Real Decreto 1631/2006, de 29 de diciembre, por el que se establecen las enseñanzas mínimas correspondientes a la Educación Secundaria Obligatoria. *Boletín Oficial Del Estado, Sec .I*(Num. 238)

Ministerio de Educación, C. y D. (2007). Real Decreto 1467/2007, de 2 de noviembre, por el que se establece la estructura del Bachillerato y se fijan sus enseñanzas mínimas. *Boletín Oficial Del Estado, Sec .I*(Num. 266), 45381-45477.

Ministerio de Educación, C. y D. (2015). Real Decreto 1105/2014, de 26 de diciembre, por el que se establece el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato. *Boletín Oficial Del Estado, Sec .I*(Num. 3), 169–546.

Mojica, F. J. M. y Almendros, C. (2017). El descubrimiento de CRISPR. *Investigación Y Ciencia, nº Especial* (Edición genética: CRISPR).

Ocelli, M., Vilar, M. T. y Valeiras, N. (2011). Conocimientos y actitudes de estudiantes de la ciudad de Córdoba (Argentina) en relación a la biotecnología. *Revista Electrónica de Enseñanza de Las Ciencias*, 10(3), 227–242.

Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) (2005). La definición y selección de competencias clave. Resumen ejecutivo. Recuperado de: <http://www.deseco.admin.ch/bfs/deseco/en/index/03/02.parsys.78532.downloadList.94248.DownloadFile.tmp/2005.dscexecutivesummary.sp.pdf>

OCDE (2005). Framework for Biotechnology Statistics. Recuperado de: <http://www.biotechnologie.init-ag.de/BIO/Redaktion/PDF/de/oecd-biotech-framework,property=pdf,bereich=bio,sprache=en,rwb=true.pdf>

Osborne, R. J. y Wittrock, M. C. (1983). Learning science: A generative process. *Science Education*, 67(4), 489–508.

- Öztürk-Akar, E. (2016). Turkish university students' knowledge of biotechnology and attitudes toward biotechnological applications. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 1–11. <http://doi.org/10.1002/bmb.20996>
- Pedrinaci, Caamaño, Cañal de León y de Pro Bueno (2012). 11 Ideas Clave. El desarrollo de la competencia científica. Barcelona, España: Editorial GRAÓ
- Prokop, P., Lesková, A., Kubiátko, M. y Diran, C. (2007). Slovakian students' knowledge of and attitudes toward biotechnology. *International Journal of Science Education*, 29(7), 895–907
- Rashidah, B., Norlidah, A. y Mohammad, A. (2013). Students' And Teachers' Perspectives On Biotechnology Education: A Review On Publications In Selected Journals. *Life science journal*, 10(1)
- Reid, N. (2006). Thoughts on attitude measurement Thoughts on attitude measurement. *Research in Science y Technological Education*, 24:1, 3–27. <http://doi.org/10.1080/02635140500485332>
- Rivas, M.L. y González García F. (2016) ¿Comprenden y aceptan los estudiantes la evolución? Un estudio en bachillerato y universidad. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 13 (2), 248-263. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10498/18287>
- Ruiz, C. y Banet, E. (2016) Conocimientos, actitudes e intereses de los estudiantes de Bachillerato sobre biotecnología. En Sánchez-Martín, J. y Cañada-Cañada, F. (coords.), Entiema (Ed.), *Ciencias para comprender el mundo. Investigación e innovación en Didáctica de las Ciencias Experimentales* (pp.307-3018), Fuencarral, Madrid.
- Ruiz, C., Banet, E. y López-Banet, L. (2017a). Conocimientos de estudiantes que inician el Bachillerato sobre nociones básicas de genética y aplicaciones de la biotecnología. *Enseñanza de Las Ciencias, nº extraor*, 1421–1428. Recuperado de: <https://ddd.uab.cat/record/184436?ln=ca>
- Ruiz, C., Banet, E. y López-Banet, L. (2017b). Conocimientos de los estudiantes de secundaria sobre Herencia Biológica: implicaciones para su enseñanza. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 14 (3), 550-569.

Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10498/19507>

- Ryan, R. M. y Deci, E. L. (2000). Intrinsic and Extrinsic Motivations : Classic Definitions and New Directions, *67*, 54–67. <http://doi.org/10.1006/ceps.1999.1020>
- Rychen y Salganik. (2003). Las competencias clave para el bienestar personal, social y económico.
- Sadler, T. D. (2004). Informal reasoning regarding socioscientific issues: A critical review of research. *Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching*, *41*(5), 513-536.
- Sadler, T. D., Amirshokohi, A., Kazempour, M., Allspaw, K. M. y AllspawKathleen, M. A. (2006). Socioscience and Ethics in Science Classrooms : Teacher Perspectives and Strategies. *Journal of Research in Science Teaching*, *43*(4), 353–376. <http://doi.org/10.1002/tea>
- Sadler, T. D. y Donnelly, L. A. (2006). Socioscientific argumentation: The effects of content knowledge and morality. *International Journal of Science Education*, *28*(12), 1463–1488. <https://doi.org/10.1080/09500690600708717>
- Sáez, M., Gómez-Niño, A. y Carretero, A. (2008). Matching society values: Students' views of biotechnology. *International Journal of Science Education*, *30*(2), 167–183. <http://doi.org/10.1080/09500690601152386>
- Sánchez Montero, J. M. (2007). Biotecnología blanca e industria farmacéutica. *Anales de La Real Academia Nacional de Farmacia*, *73*(2), 501–535.
- Secretaría del Convenio sobre Diversidad Biológica. (2000). *Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la biotecnología del convenio sobre la diversidad biológica: texto y anexos*. Montreal.
- Seguí Simarro, J. M. (2013). *Biotecnología en el menú: manual de supervivencia en el debate transgénico*. Valencia.
- 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. <http://doi.org/10.1080/095006900289705>

- Simonneaux, L. (2008). Argumentation in Socio-Scientific contexts. In S. Erduran y M. P. Jiménez-Aleixandre (Eds.), *Argumentation in Science Education: Perspectives from Classroom-Based Research* (pp. 179–201). Springer.
- Sjöberg, L. (2004). Principles of risk perception applied to gene technology. *EMBO reports*, 5(S1), S47-S51. <https://doi.org/10.1038/sj.embor.7400258>
- Soetaert, W. y Vandamme, E. (2006). The impact of industrial biotechnology. *Biotechnology Journal*, 1(7–8), 756–769. <https://doi.org/10.1002/biot.200600066>
- Solbes, J. y Vilches, A. (2004). Papel de las relaciones entre ciencia, tecnología, sociedad y ambiente en la formación ciudadana. *Enseñanza de Las Ciencias*, 22(3), 337–348. Retrieved from <http://ddd.uab.cat/record/1668/>
- Sternberg, S. H. (2018). La revolución biológica de la edición genética con tecnología CRISPR. In BBVA (Ed.), *¿Hacia una nueva Ilustración? Una década trascendente*. Madrid.
- Toulmin, S. E. (2003). *The Uses of Argument , Updated Edition* (Updated ed). New York: Cambridge University Press.
- Tsui, C. y Treagust, D. (2010). Evaluating Secondary Students' Scientific Reasoning in Genetics Using a Two-Tier Diagnostic Instrument. *International Journal of Science Education*, 32(8), 1073–1098. <http://doi.org/10.1080/09500690902951429>
- UNESCO (1997). General Conference. Records of the General Conference, 29th session, Paris, 21 October to 12 November 1997. Recuperado de: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000110220>.
- Usak, M., Erdogan, M., Prokop, P. y Ozel, M. (2009). High school and university students' knowledge and attitudes regarding biotechnology. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 37(2), 123–130. <http://doi.org/10.1002/bmb.20267>
- Vaeck, M., Reynaerts, A., Höfte, H., Jansens, S., De Beuckeleer, M., Dean, C., ... Leemans, J. (1987). Transgenic plants protected from insect attack. *Nature*, 328, 33–37.
- Vázquez, A. y Manassero, M. A. (2007). En defensa de las actitudes y emociones en la educación científica (I): evidencias y argumentos generales. *Revista Eureka de*

*Enseñanza y Divulgación de Ciencias*, 4(2), 247–271.

Vega, F., Gallegos, L. y Flórez, F. (2017). Conocimientos y actitudes hacia la biotecnología en alumnos de último curso de Educación Secundaria Obligatoria. *Revista Eureka Sobre Enseñanza y Divulgación de Las Ciencias*, 2(14), 339–352. <https://doi.org/10.25267/Rev>

Vílchez González, J.M. y Carrillo Rosúa, J. (2010). La imagen de la ciencia de los futuros titulados en Magisterio por la Universidad de Granada. En el Acta de los 24 Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Baeza (Jaén).

Wingenbach, G. J., Rutherford, T. A. y Dunsford, D. W. (2003). Agricultural Communications Students' Awareness And Perceptions Of Biotechnology Issues. *Journal of Agricultural Education*, 44(4), 80–93. <http://doi.org/10.5032/jae.2003.04080>

Wood-Robinson, C., Lewis, J. y Leach, J. (2000). Young people's understanding of the nature of genetic information in the cells of an organism. *Journal of Biological Education*, 35(1), 29–36.

Ye, X., Al-Babili, S., Klöti, A., Zhang, J., Lucca, P., Beyer, P. y Potrykus, I. (2000). Engineering the provitamin A (beta-carotene) biosynthetic pathway into (carotenoid-free) rice endosperm. *Science*, 287(5451), 303–5.

Zechendorf, B. (1994). What the public thinks about biotechnology. *Bio/technology*, 12(9), 870. <https://doi.org/10.1038/nbt0994-870>



## ANEXO I. Contenidos, criterios de evaluación y estándares de aprendizaje evaluables relacionados con biotecnología en 4º de ESO, 1º y 2º de Bachillerato

Contenidos, criterios de evaluación y estándares de aprendizaje evaluables en 4º de ESO

Contenidos	Criterios de evaluación	Estándares de aprendizaje evaluables
<b>Bloque 1. La evolución de la vida</b>		
La célula.	1. Determinar las analogías y diferencias en la estructura de las células procariotas y eucariotas, interpretando las relaciones evolutivas entre ellas.	1.1. Compara la célula procariota y eucariota, la animal y la vegetal, reconociendo la función de los orgánulos celulares y la relación entre morfología y función.
Ciclo celular.	2. Identificar el núcleo celular y su organización según las fases del ciclo celular a través de la observación directa o indirecta.	2.1. Distingue los diferentes componentes del núcleo y su función según las distintas etapas del ciclo celular.
Los ácidos nucleicos.	3. Comparar la estructura de los cromosomas y de la cromatina.	3.1. Reconoce las partes de un cromosoma utilizándolo para construir un cariotipo.
ADN y genética molecular.	4. Formular los principales procesos que tienen lugar en la mitosis y la meiosis y revisar su significado e importancia biológica.	4.1. Reconoce las fases de la mitosis y meiosis, diferenciando ambos procesos y distinguiendo su significado biológico.
Proceso de replicación del ADN.	5. Comparar los tipos y la composición de los ácidos nucleicos, relacionándolos con su función.	5.1. Distingue los distintos ácidos nucleicos y enumera sus componentes.
Concepto de gen.	6. Relacionar la replicación del ADN con la conservación de la información genética.	6.1. Reconoce la función del ADN como portador de la información genética, relacionándolo con el concepto de gen.
Expresión de la información genética.	7. Comprender cómo se expresa la información genética, utilizando el código genético.	7.1. Ilustra los mecanismos de la expresión genética por medio del código genético.
Código genético.	8. Valorar el papel de las mutaciones en la diversidad genética, comprendiendo la relación entre mutación y evolución.	8.1. Reconoce y explica en qué consisten las mutaciones y sus tipos.
Mutaciones.	9. Formular los principios	9.1. Reconoce los principios
Relaciones con la evolución.		
La herencia y transmisión de caracteres.		
Introducción y desarrollo de las Leyes de Mendel.		
Base cromosómica de las leyes de Mendel.		
Aplicaciones de las leyes de Mendel.		
Ingeniería genética: técnicas y aplicaciones.		
biotecnología.		
Bioética.		
Origen y evolución de los seres vivos.		
Hipótesis sobre el origen de la vida en la Tierra.		
Teorías de la evolución.		
El hecho y los mecanismos de la evolución.		
La evolución humana: proceso de hominización.		

básicos de genética Mendeliana, aplicando las leyes de la herencia en la resolución de problemas sencillos.	básicos de la genética mendeliana, resolviendo problemas prácticos de cruzamientos con uno o dos caracteres.
10. Diferenciar la herencia del sexo y la ligada al sexo, estableciendo la relación que se da entre ellas.	10.1. Resuelve problemas prácticos sobre la herencia del sexo y la herencia ligada al sexo.
11. Conocer algunas enfermedades hereditarias, su prevención y alcance social.	11.1. Identifica las enfermedades hereditarias más frecuentes y su alcance social.
12. Identificar las técnicas de la Ingeniería genética: ADN recombinante y PCR.	12.1. Diferenciar técnicas de trabajo en Ingeniería genética.
13. Comprender el proceso de la clonación.	13.1. Describe las técnicas de clonación animal, distinguiendo clonación terapéutica y reproductiva.
14. Reconocer las aplicaciones de la Ingeniería genética: OMG (organismos modificados genéticamente).	14.1. Analiza las implicaciones éticas, sociales y medioambientales de la Ingeniería genética.
15. Valorar las aplicaciones de la tecnología del ADN recombinante en la agricultura, la ganadería, el medio ambiente y la salud.	15.1. Interpreta críticamente las consecuencias de los avances actuales en el campo de la biotecnología.
16. Conocer las pruebas de la evolución. Comparar lamarckismo, darwinismo y neodarwinismo.	16.1. Distingue las características diferenciadoras entre lamarckismo, darwinismo y neodarwinismo
17. Comprender los mecanismos de la evolución destacando la importancia de la mutación y la selección. Analizar el debate entre gradualismo, saltacionismo y neutralismo.	17.1. Establece la relación entre variabilidad genética, adaptación y selección natural.
18. Interpretar árboles filogenéticos, incluyendo el humano.	18.1. Interpreta árboles filogenéticos.
19. Describir la hominización.	19.1. Reconoce y describe las fases de la hominización.

Criterios de evaluación y estándares de aprendizaje evaluables en 1º de Bachillerato

Estándares de aprendizaje evaluables	Criterios de evaluación
<b>Bloque 4. La revolución genética</b>	
1. Reconocer los hechos históricos más relevantes para el estudio de la genética.	1.1. Conoce y explica el desarrollo histórico de los estudios llevados a cabo dentro del campo de la genética.
2. Obtener, seleccionar y valorar informaciones sobre el ADN, el código genético, la Ingeniería genética y sus aplicaciones médicas.	2.1. Sabe ubicar la información genética que posee todo ser vivo, estableciendo la relación jerárquica entre las distintas estructuras, desde el nucleótido hasta los genes responsables de la herencia.
3. Conocer los proyectos que se desarrollan actualmente como consecuencia de descifrar el genoma humano, tales como HapMap y Encode.	3.1. Conoce y explica la forma en que se codifica la información genética en el ADN, justificando la necesidad de obtener el genoma completo de un individuo y descifrar su significado.
4. Evaluar las aplicaciones de la Ingeniería genética en la obtención de fármacos, transgénicos y terapias génicas.	4.1. Analiza las aplicaciones de la Ingeniería genética en la obtención de fármacos, transgénicos y terapias génicas. 5.1. Establece las repercusiones sociales y económicas de la reproducción asistida, la selección y conservación de embriones.
5. Valorar las repercusiones sociales de la reproducción asistida, la selección y conservación de embriones.	6.1. Describe y analiza las posibilidades que ofrece la clonación en diferentes campos.
6. Analizar los posibles usos de la clonación.	7.1. Reconoce los diferentes tipos de células madre en función de su procedencia y capacidad generativa, estableciendo en cada caso las aplicaciones principales.
7. Establecer el método de obtención de los distintos tipos de células madre, así como su potencialidad para generar tejidos, órganos e incluso organismos completos.	8.1. Valora, de forma crítica, los avances científicos relacionados con la genética, sus usos y consecuencias médicas y sociales.
8. Identificar algunos problemas sociales y dilemas morales debidos a la aplicación de la genética: obtención de transgénicos, reproducción asistida y clonación.	8.2. Explica las ventajas e inconvenientes de los alimentos transgénicos, razonando la conveniencia o no de su uso.

Fuente: RD 1105/2014

Contenidos, criterios de evaluación y estándares de aprendizaje evaluables en 2º de Bachillerato

Contenidos	Criterios de evaluación	Estándares de aprendizaje evaluables
<b>Bloque 2. La célula viva. Morfología, estructura y fisiología celular</b>		
La división celular.	4. Distinguir los tipos de división celular y desarrollar los acontecimientos que ocurren en cada fase de los mismos.	4.2. Establece las analogías y diferencias más significativas entre mitosis y meiosis.
La mitosis en células animales y vegetales.		5.1. Resume la relación de la
La meiosis.		

Su necesidad biológica en la reproducción sexual. Importancia en la evolución de los seres vivos.	5. Argumentar la relación de la meiosis con la variabilidad genética de las especies. 9. Diferenciar la vía aerobia de la anaerobia.	meiosis con la reproducción sexual, el aumento de la variabilidad genética y la posibilidad de evolución de las especies. 9.1. Contrasta las vías aeróbicas y anaeróbicas estableciendo su relación con su diferente rendimiento energético. 9.2. Valora la importancia de las fermentaciones en numerosos procesos industriales reconociendo sus aplicaciones.
---	---	---

Bloque 3. Genética y evolución

La genética molecular o química de la herencia.	1. Analizar el papel del ADN como portador de la información genética.	1.1. Describe la estructura y composición química del ADN, reconociendo su importancia biológica como molécula responsable del almacenamiento, conservación y transmisión de la información genética.
Identificación del ADN como portador de la información genética.	2. Distinguir las etapas de la replicación diferenciando los enzimas implicados en ella.	2.1. Diferencia las etapas de la replicación e identifica los enzimas implicados en ella.
Concepto de gen.	3. Establecer la relación del ADN con la síntesis de proteínas.	3.1. Establece la relación del ADN con el proceso de la síntesis de proteínas.
Replicación del ADN. Etapas de la replicación. Diferencias entre el proceso replicativo entre eucariotas y procariotas.	4. Determinar las características y funciones de los ARN.	4.1. Diferencia los tipos de ARN, así como la función de cada uno de ellos en los procesos de transcripción y traducción.
El ARN. Tipos y funciones.	5. Elaborar e interpretar esquemas de los procesos de replicación, transcripción y traducción.	4.2. Reconoce las características fundamentales del código genético aplicando dicho conocimiento a la resolución de problemas de genética molecular.
La expresión de los genes. Transcripción y traducción genéticas en procariotas y eucariotas.	6. Definir el concepto de mutación distinguiendo los principales tipos y agentes mutagénicos.	5.1. Interpreta y explica esquemas de los procesos de replicación, transcripción y
El código genético en la información genética.	7. Contrastar la relación entre mutación y cáncer.	
Las mutaciones. Tipos.	8. Desarrollar los avances más recientes en el ámbito de la Ingeniería genética, así como sus aplicaciones.	
Los agentes mutagénicos. Mutaciones y cáncer.	9. Analizar los progresos en el	
Implicaciones de las mutaciones en la evolución y aparición de nuevas especies.		
La Ingeniería genética. Principales líneas actuales de		

investigación.	conocimiento del genoma	traducción.
Organismos modificados genéticamente.	humano y su influencia en los nuevos tratamientos.	5.2. Resuelve ejercicios prácticos de replicación, transcripción y traducción, y de aplicación del código genético.
Proyecto Repercusiones sociales y valoraciones éticas de la manipulación genética y de las nuevas terapias génicas. Genética mendeliana. Teoría cromosómica de la herencia. Determinismo del sexo y herencia ligada al sexo e influida por el sexo. Evidencias del proceso evolutivo. Darwinismo y neodarwinismo: la teoría sintética de la evolución. La selección natural. Principios. Mutación, recombinación y adaptación. Evolución y biodiversidad.	<p>10. Formular los principios de la genética Mendeliana, aplicando las leyes de la herencia en la resolución de problemas y establecer la relación entre las proporciones de la descendencia y la información genética.</p> <p>11. Diferenciar distintas evidencias del proceso evolutivo.</p> <p>12. Reconocer, diferenciar y distinguir los principios de la teoría darwinista y neodarwinista.</p> <p>13. Relacionar genotipo y frecuencias génicas con la genética de poblaciones y su influencia en la evolución.</p> <p>14. Reconocer la importancia de la mutación y la recombinación.</p> <p>15. Analizar los factores que incrementan la biodiversidad y su influencia en el proceso de especiación.</p>	<p>5.3. Identifica, distingue y diferencia los enzimas principales relacionados con los procesos de transcripción y traducción.</p> <p>6.1. Describe el concepto de mutación estableciendo su relación con los fallos en la transmisión de la información genética.</p> <p>6.2. Clasifica las mutaciones identificando los agentes mutagénicos más frecuentes.</p> <p>7.1. Asocia la relación entre la mutación y el cáncer, determinando los riesgos que implican algunos agentes mutagénicos.</p> <p>8.1. Resume y realiza investigaciones sobre las técnicas desarrolladas en los procesos de manipulación genética para la obtención de organismos transgénicos.</p> <p>9.1. Reconoce los descubrimientos más recientes sobre el genoma humano y sus aplicaciones en Ingeniería genética valorando sus implicaciones éticas y sociales.</p> <p>10.1. Analiza y predice aplicando los principios de la genética Mendeliana, los resultados de ejercicios de transmisión de caracteres</p>

autosómicos, caracteres ligados al sexo e influidos por el sexo.

11.1. Argumenta distintas evidencias que demuestran el hecho evolutivo.

12.1. Identifica los principios de la teoría darwinista y neodarwinista, comparando sus diferencias.

13.1. Distingue los factores que influyen en las frecuencias génicas.

13.2. Comprende y aplica modelos de estudio de las frecuencias génicas en la investigación privada y en modelos teóricos.

14.1. Ilustra la relación entre mutación y recombinación, el aumento de la diversidad y su influencia en la evolución de los seres vivos.

15.1. Distingue tipos de especiación, identificando los factores que posibilitan la segregación de una especie original en dos especies diferentes.

---

Bloque 4. El mundo de los microorganismos y sus aplicaciones. Biotecnología

---

Microbiología. Concepto de microorganismo.	1. Diferenciar y distinguir los tipos de microorganismos en función de su organización celular y sin organización celular. Bacterias. Virus. Otras formas acelulares: Partículas infectivas subvirales. Hongos microscópicos. Protozoos. Algas microscópicas. Métodos de estudio de los microorganismos. Esterilización	1.1. Clasifica los microorganismos en el grupo taxonómico al que pertenecen. 2.1. Analiza la estructura y composición de los distintos microorganismos, relacionándolas con su función. 3.1. Describe técnicas instrumentales que permiten el aislamiento, cultivo y estudio de los microorganismos para la
--	---	---

---

<p>y Pasteurización. Los microorganismos en los ciclos geoquímicos. Los microorganismos como agentes productores de enfermedades. La biotecnología. Utilización de los microorganismos en los procesos industriales: Productos elaborados por biotecnología.</p>	<p>Los importancia de los microorganismos en los ciclos geoquímicos. 5. Reconocer las enfermedades más frecuentes transmitidas por los microorganismos y utilizar el vocabulario adecuado relacionado con ellas. 6. Evaluar las aplicaciones de la biotecnología y la Microbiología en la industria alimentaria y farmacéutica y en la mejora del medio ambiente.</p>	<p>experimentación biológica. 4.1. Reconoce y explica el papel fundamental de los microorganismos en los ciclos geoquímicos. 5.1. Relaciona los microorganismos patógenos más frecuentes con las enfermedades que originan. 5.2. Analiza la intervención de los microorganismos en numerosos procesos naturales e industriales y sus numerosas aplicaciones. 6.1. Reconoce e identifica los diferentes tipos de microorganismos implicados en procesos fermentativos de interés industrial. 6.2. Valora las aplicaciones de la biotecnología y la Ingeniería genética en la obtención de productos farmacéuticos, en medicina y en biorremediación para el mantenimiento y mejora del medio ambiente.</p>
--	---	---

Bloque 5. La autodefensa de los organismos. La inmunología y sus aplicaciones

<p>Anticuerpos monoclonales e Ingeniería genética.</p>	<p>8. Argumentar y valorar los avances de la Inmunología en la mejora de la salud de las personas.</p>	<p>8.1. Reconoce y valora las aplicaciones de la Inmunología e Ingeniería genética para la producción de anticuerpos monoclonales.</p>
--	--	--

Fuente: RD 1105/2014

## ANEXO II. Cuestionario sobre conocimiento básico en genética

### Herencia de los caracteres

1. Dos hermanos, Francisco y Pedro se parecen en el color de los ojos, la forma de la cara y la altura, aunque no se parecen en el color de la piel y del pelo. Sin embargo, se parecen entre sí más que a sus amigos Pepe y Juan, con los que comparten grupo de música. A continuación, marca todas las opciones que creas correctas para responder:

¿Qué crees que es lo que causa el parecido entre personas de la misma familia?

- Las personas de la misma familia viven en un mismo medio físico (clima, región, etc.)
- Las personas de la misma familia tienen en común más información hereditaria (genética) que las personas de distinta familia.
- Las personas de la misma familia tienen hábitos de vida similares, se alimentan de forma parecida, etc.
- No estoy seguro.

¿Y las diferencias entre personas que son de familias distintas?

- Las personas de distinta familia no viven en el mismo medio físico (clima, región, etc.)
- Las personas de distinta familia tienen en común menos información hereditaria (genética) que las personas de la misma familia.
- Las personas de distinta familia tienen hábitos de vida diferentes, se alimentan de forma distinta, etc.
- No estoy seguro.

2. Juan se parece más a su padre que a su madre, marca con una cruz todas las opciones por las que pienses que puede deberse:

- Dos espermatozoides fecundaron un solo óvulo.
- Depende de que, para algunos caracteres observables, la información hereditaria (genética) del padre predomina sobre los de la madre.
- Posee más información hereditaria (genética) que procede de su padre que de su madre.
- Aunque se parezca más al padre, lleva la misma información hereditaria (genética).
- No conozco la respuesta.

**Información hereditaria en diferentes seres vivos**

3. Señala con una cruz todo lo que pienses que poseen estos seres vivos que se muestran:

	Célula	Cromosoma	Cromosomas sexuales	Genes	Información hereditaria
Naranjaño 					
Persona					
Helecho 					
Gato 					
Rosal 					
Mosquito 					

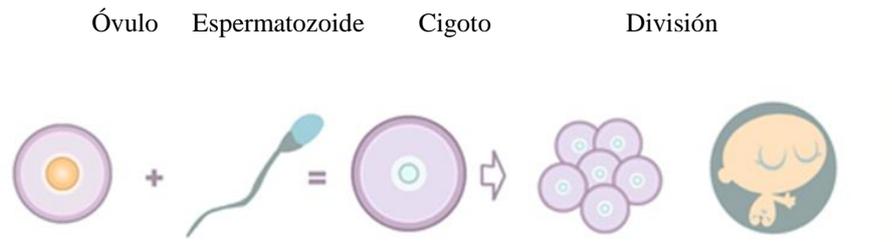
**Localización de la información hereditaria**

4. ¿Dónde se localiza la información hereditaria? Marca con una cruz todas las opciones que consideres correctas:

	SI	NO
Célula 		
Óvulo 		
Espermatozoide 		
Cromosoma 		
Gen 		
ADN 		

**Información hereditaria en diferentes tipos celulares**

5. A partir de la célula-huevo, se forma el resto de las células del bebé. Marca con una cruz todas las opciones que consideres correctas:



- La célula-huevo aporta a cada célula del individuo (célula muscular, célula del ojo, célula de la piel) la información hereditaria necesaria para realizar su función en el cuerpo.
- Todas las células del individuo (célula muscular, célula del ojo, célula de la piel) llevan la misma información hereditaria que la célula-huevo.
- La información hereditaria de la célula huevo se transmitirá solamente a las células sexuales (óvulos o espermatozoides) del nuevo individuo.
- No estoy seguro de la respuesta.

6. Se presentan los dibujos de diferentes tipos de células, señala con una cruz qué información hereditaria podrían llevar.

Tipo información hereditaria	Espermatozoide	Glóbulo blanco	Óvulo	Célula muscular	Célula de la piel
Para el color de los ojos	<input type="checkbox"/>				
Para el color de la piel	<input type="checkbox"/>				
Cromosomas sexuales	<input type="checkbox"/>				
Para el grupo sanguíneo	<input type="checkbox"/>				

### Procesos de división celular

Mitosis y meiosis son procesos que tienen lugar en las células, ¿has oído alguna vez estos términos?

- Sí, y creo saber lo que son.
- Sí, pero no me acuerdo bien lo que son.
- Creo que no los he oído nunca.

7. Si crees saber lo que es mitosis, señala todas las explicaciones que se refieran a la misma:

- Un proceso en el que una célula se divide para dar células hijas diferentes entre sí.
- Un proceso en el que una célula se divide para dar células hijas idénticas entre sí.
- Una célula se divide dando células con el mismo número de cromosomas.
- Una célula se divide dando células con la mitad del número de cromosomas.

8. Si crees saber lo que es meiosis, señala todas las explicaciones que se refieran a la misma:

- Un proceso en el que una célula se divide para dar células hijas diferentes entre sí.
- Un proceso en el que una célula se divide para dar células hijas idénticas entre sí.
- Una célula se divide dando células con el mismo número de cromosomas.
- Una célula se divide dando células con la mitad del número de cromosomas.

### **Mutaciones y sus efectos**

9. ¿Alguna vez has escuchado el término mutación?

- Sí, y creo conocerlo.
- Sí, pero no tengo claro a qué se refiere.
- No, no conozco este término.

¿Qué piensas que pueden ser las mutaciones? Marca todas las opciones que creas correctas:

- Son cambios o modificaciones que afectan a los organismos externamente.
- Afectan a la información hereditaria de los organismos, modificándola.
- Siempre se puede ver externamente el resultado de la mutación.
- Los resultados de las mutaciones unas veces se ven y otras no.

- No estoy seguro.

10. Si crees saber lo que son las mutaciones, señala con una cruz todos los organismos en los que piensas que pueden producirse mutaciones:

	SI	NO
Personas		
Insectos 		
Plantas 		
Peces 		
Bacterias 		
Virus 		

¿Por qué crees que las mutaciones no afectan a los organismos que has marcado como no?

11. ¿Cuáles crees que son los efectos de las mutaciones sobre los seres vivos?

- Son favorables para los organismos, porque permiten a los organismos adaptarse y sobrevivir ante cambios medioambientales que amenazan su supervivencia.
- Son perjudiciales para los organismos, porque producen enfermedades.
- Pueden ser favorables o perjudiciales, dependiendo cómo sea la mutación.

12. Ciertos individuos de piel clara se trasladaron a una región, en la cual el clima era cálido y la radiación solar alta. Como consecuencia de estar sometidos a estas radiaciones altas, la piel de estas personas se oscurecía a lo largo de su vida. Después de varias generaciones, ¿cómo crees que será el color de la piel de los niños, en el momento del nacimiento?:

- Tendrán un color de la piel más moreno que el de los primeros individuos que llegaron a la región.

- Tendrán el mismo color de piel que el de los primeros individuos que llegaron a la región.
- Entre los descendientes puede haber individuos de color de piel blanco, negro o moreno.
- No estoy seguro de la respuesta.

Cuál piensas que podría ser la posible justificación:

- Ante el nuevo clima de la región a la que se han trasladado estos individuos, la alta radiación solar producirá cambios en la información hereditaria sobre el color de la piel.
- A pesar del nuevo clima de la región a la que se han trasladado estos individuos, la alta radiación solar no introducirá cambios en la información hereditaria sobre el color de la piel.
- Ante el nuevo clima de la región a la que se han trasladado estos individuos, la alta radiación solar producirá cambios en la información hereditaria sobre el color de la piel en unos individuos, pero no en otros.
- No sabría explicarlo

### **Causas de variabilidad**

13. Marca con una cruz todas las causas por las que creas que las personas somos diferentes:

- Las mutaciones, porque cambian la información hereditaria (genética) de los individuos.
- La adaptación al ambiente en el que viven, porque el cambiar el ambiente, las personas cambian para adaptarse y sobrevivir.
- La información hereditaria que reciben como consecuencia de la reproducción sexual.
- No conozco la respuesta.

### ANEXO III. Modelos de pensamiento sobre Herencia Biológica

Herencia Biológica	
Esquema I. Los hijos reciben más información del progenitor al que más se parecen.	Causa del mayor parecido a un progenitor es llevar más información hereditaria de éste.
Esquema II. La información hereditaria del progenitor más parecido predomina.	El mayor parecido a un progenitor se debe al predominio de su información hereditaria, sin mencionar que posee la misma cantidad de información hereditaria.
Esquema III. Los hijos reciben la misma cantidad de información hereditaria de cada progenitor.	El mayor parecido a un progenitor se debe al predominio de la información de éste. Cada individuo lleva la misma cantidad de información genética de cada progenitor.
Localización de la información hereditaria	
Esquema I. La localización hereditaria está en los cromosomas, en los genes y en el ADN.	No se consideran los gametos (falta de conexión con fecundación y formación de nuevo individuo), ni las células.
Esquema II. Localización de la información hereditaria en cromosomas, genes, ADN y gametos.	Sí marcan los gametos como células portadoras de información hereditaria, relacionándolos por tanto con la fecundación y formación de un nuevo individuo
Esquema III. Localización de la información hereditaria en células, cromosomas, genes, ADN y gametos.	Más completo y complejo, ya que se sitúa la información hereditaria no sólo en sus estructuras propias de organización, sino que se integran en el conjunto de la célula
Información hereditaria en diferentes tipos celulares	
Esquema I. La información hereditaria se encuentra solamente en células sexuales.	Esquema menos evolucionado al considerar que solamente los gametos son las células que llevan la información hereditaria.
Esquema II. Cada célula del cuerpo lleva la información hereditaria acorde a la función que realiza.	Se atribuye a cada tipo celular la información hereditaria necesaria para desarrollar una función determinada.
Esquema III. Cada célula del cuerpo lleva la información hereditaria acorde a la función que realiza y además, los gametos llevan toda la información hereditaria.	A pesar de que sólo se contempla para cada tipo celular, la información necesaria para realizar su función, sí se considera que los gametos llevan toda la información hereditaria, ya que darán lugar al nuevo individuo.
Esquema IV. Todas las células del cuerpo llevan la misma información hereditaria.	Es el esquema más complejo, ya que comprenden que todas las células del cuerpo poseen la misma información hereditaria y cada tipo celular expresa unos genes según la función que realiza.
Mutaciones y sus efectos	
Esquema I. Los animales o vegetales sufren mutaciones para sobrevivir.	Estas mutaciones son cambios observables, que les permiten adaptarse al ambiente. Además, si estos cambios son favorables, pasarán a la descendencia.
Esquema II. Todos los seres vivos sufren mutaciones para sobrevivir.	Consideran que los seres vivos sufren mutaciones para evitar su extinción. Según el ser vivo del que se trate, los cambios se apreciarán a simple vista o no.
Esquema III. Las mutaciones son perjudiciales para los seres vivos.	Los seres vivos, pueden sufrir mutaciones, que son cambios que unas veces se apreciarán a simple vista y otras no, pero provocan efectos negativos en el organismo que las sufre ya que generan enfermedades
Esquema IV. Los seres vivos sufren en ocasiones mutaciones, que son aleatorias.	Las mutaciones ocurren al azar en la información genética de los seres vivos y sus resultados pueden ser favorables o desfavorables.

Fuente: elaboración propia

#### **ANEXO IV. Cuestionario sobre nociones básicas de genética y su influencia en las aplicaciones de la biotecnología**

A continuación, presentamos un cuestionario con algunas preguntas relacionadas con técnicas y aplicaciones de la biotecnología. Por favor, indícanos:

Edad: \_\_\_\_\_ Género: H M  
Curso Académico: \_\_\_\_\_ Itinerario: \_\_\_\_\_

#### **Localización de la información hereditaria en los seres vivos y mecanismos de reproducción**

Indica, para los siguientes seres vivos si poseen 1. núcleo, 2. genes y 3. ADN. También, en tipo de 4. reproducción que tienen.

Ser vivo	Núcleo	Genes	ADN	Tipo de reproducción
Perro				
Araña				
Trucha				
Rosal				
Bacteria E.coli				

#### **Noción de gen, alelo y ADN**

5. Define los siguientes términos:

Gen:

Alelo:

ADN:

#### **Identificación de aplicaciones de biotecnología**

6. Escribe algunas aplicaciones biotecnológicas que conozcas en los ámbitos: medicina, alimentación, agricultura, industria y medio ambiente que tengan repercusión en la sociedad y en las personas.

#### **Grado de conocimiento de algunas aplicaciones de la biotecnología**

7. ¿Podrías explicar brevemente en qué consisten las siguientes aplicaciones? ¿Qué ventajas e inconvenientes piensas que pueden tener para las personas y/o la sociedad?

Aplicaciones	Grado de conocimiento <i>(nunca la he oído-1-, la he oído pero no sé lo que significa-2-, la he oído y sé lo que significa-3-)</i>	En qué consiste	Ventajas	Inconvenientes
Diagnóstico molecular preventivo				
Terapia génica				
Fermentación para producción de alimentos				
Alimentos transgénicos				
Utilización de plantas o bacterias en industria				
Utilización de microorganismos para tratamiento de residuos				
Pruebas de ADN en Ciencias Forenses				

### Valoración de afirmaciones sobre conocimientos básicos de la biotecnología

8. Indica Verdadero (V), Falso (F) o No lo sé (NS) en las siguientes afirmaciones relacionadas con la biotecnología:

a) El análisis de los genes de un individuo (screening genético) puede ayudar a saber a qué enfermedades será más propenso.

b) Sólo los microorganismos genéticamente modificados pueden producir antibióticos.

c) Las plantas transgénicas tienen genes, pero no tienen genes las plantas no transgénicas.

d) No es posible transferir genes de una especie a otra.

e) Las enzimas tienen una gran aplicabilidad en la industria en sectores como el alimentario, textil o papelero.

f) La biorremediación mediante microorganismos genéticamente modificados capaces de eliminar materiales que son difíciles de degradar naturalmente es un método de descontaminación utilizado por ejemplo en derrames de petróleo.

**ANEXO V. Diferencias significativas entre centros de 1º de Bachillerato**

Ser vivo	Centros	NÚCLEO			GENES			ADN		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
Perro	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2	0.117	-	-	0.027	-	-	0.123	-	-
	3	0.240	0.276	-	1	0.068	-	1	0.204	-
	4	0.320	0.053	1	1	0.122	1	1	0.283	1
Araña	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2	0.243	-	-	0.117	-	-	0.039	-	-
	3	0.146	0.276	-	0.240	0.023	-	0.410	0.023	-
	4	0.218	0.053	1	0.978	0.224	0.237	0.487	0.053	1
Trucha	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2	0.117	-	-	0.039	-	-	0.027	-	-
	3	0.240	0.276	-	0.410	0.023	-	1	0.068	-
	4	0.978	0.224	0.237	0.596	0.224	0.237	1	0.122	1
Rosal	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2	0.002	-	-	0.972	-	-	0.002	-	-
	3	0.146	0.008	-	0.084	0.113	-	0.034	0	-
	4	0.050	0.283	0.005	0.100	0.202	0.003	0.056	0.237	0.001
<i>E. coli</i>	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2	0.909	-	-	0.018	-	-	0.264	-	-
	3	0.498	0.727	-	0.131	0.001	-	0.011	0.001	-
	4	0.046	0.129	0.201	0.101	0.362	0.006	0.120	0.747	0

Ser vivo	Centros	REPRODUCCIÓN SEXUAL			REPRODUCCIÓN ASEJUAL		
		1	2	3	1	2	3
Perro	1	-	-	-	-	-	-
	2	1	-	-	1	-	-
	3	1	1	-	1	1	-
	4	1	1	1	1	1	1
Araña	1	-	-	-	-	-	-
	2	0.007	-	-	0.007	-	-
	3	0.134	0	-	0.518	0.004	-
	4	0.006	0.935	0	0.005	0.979	0.003
Trucha	1	-	-	-	-	-	-
	2	0	-	-	0.002	-	-
	3	0.686	0.001	-	0.800	0.004	-
	4	0	0.935	0.001	0.001	0.979	0.003
Rosal	1	-	-	-	-	-	-
	2	0.009	-	-	0.340	-	-
	3	0.335	0.002	-	0.443	0.149	-
	4	0.025	0.352	0.005	0.577	0.199	0.901
<i>E. coli</i>	1	-	-	-	-	-	-
	2	0.517	-	-	0.166	-	-
	3	0.410	1	-	0.711	0.120	-
	4	0.487	1	1	0.039	0.618	0.033

Categoría definición	Centros	1	2	3
A	1	-	-	-
	2	0.354	-	-
	3	0.240	1	-
	4	0.320	1	1
B	1	-	-	-
	2	0.005	-	-
	3	0.036	0.376	-
	4	0.013	0.710	0.612
C	1	-	-	-
	2	0.264	-	-
	3	0.126	0.853	-
	4	0.254	0.979	0.823
D	1	-	-	-
	2	0.128	-	-
	3	0.212	0.431	-
	4	0.377	0.352	0.808
NS/NC	1	-	-	-
	2	1	-	-
	3	0.032	0.160	-
	4	1	1	0.132

Nº de aplicaciones en biotecnología	Centros	1	2	3
	1	-	-	-
	2	0.204	-	-
	3	0.001	0	-
	4	0.009	0.001	0.691

Aplicaciones	Centros	1	2	3
<b>Diag. molecular preventivo</b>	<b>1</b>	-	-	-
	<b>2</b>	0.330	-	-
	<b>3</b>	0.000	0.000	-
	<b>4</b>	0.029	0.008	0.129
<b>Terapia génica</b>	<b>1</b>	-	-	-
	<b>2</b>	0.116	-	-
	<b>3</b>	0.000	0.000	-
	<b>4</b>	0.156	0.027	0.110
<b>Fermentación alimentos</b>	<b>1</b>	-	-	-
	<b>2</b>	0.171	-	-
	<b>3</b>	0.002	0.002	-
	<b>4</b>	0.000	0.000	0.874
<b>Alimentos transgénicos</b>	<b>1</b>	-	-	-
	<b>2</b>	0.328	-	-
	<b>3</b>	0.009	0.074	-
	<b>4</b>	0.001	0.010	0.806
<b>Industria</b>	<b>1</b>	-	-	-
	<b>2</b>	0.073	-	-
	<b>3</b>	0.008	0.003	-
	<b>4</b>	0.037	0.008	0.686
<b>Tratamiento de residuos</b>	<b>1</b>	-	-	-
	<b>2</b>	0.978	-	-
	<b>3</b>	0.000	0.000	-
	<b>4</b>	0.000	0.001	0.971
<b>ADN ciencias forenses</b>	<b>1</b>	-	-	-
	<b>2</b>	0.702	-	-
	<b>3</b>	0.001	0.004	-
	<b>4</b>	0.000	0.001	0.731

Afirmación	Centros	1	2	3
<b>A</b>	<b>1</b>	-	-	-
	<b>2</b>	0.311	-	-
	<b>3</b>	0.351	1	-
	<b>4</b>	0.330	1	1
<b>B</b>	<b>1</b>	-	-	-
	<b>2</b>	0.961	-	-
	<b>3</b>	0.961	1	-
	<b>4</b>	0.961	1	1
<b>C</b>	<b>1</b>	-	-	-
	<b>2</b>	0.227	-	-
	<b>3</b>	0.897	0.263	-
	<b>4</b>	0.964	0.246	0.942
<b>D</b>	<b>1</b>	-	-	-
	<b>2</b>	0.097	-	-
	<b>3</b>	0.512	0.435	-
	<b>4</b>	0.001	0.069	0.016
<b>E</b>	<b>1</b>	-	-	-
	<b>2</b>	0.080	-	-
	<b>3</b>	0.587	0.293	-
	<b>4</b>	0.929	0.206	0.725
<b>F</b>	<b>1</b>	-	-	-
	<b>2</b>	0.039	-	-
	<b>3</b>	1	0.186	-
	<b>4</b>	1	0.221	1

**ANEXO VI. Cuestionario sobre conocimiento, actitud e interés sobre biotecnología**

A continuación, presentamos un cuestionario con algunas preguntas relacionadas con técnicas y aplicaciones de la biotecnología. Por favor, indícanos:

Edad: Género: H M

Curso Académico: Itinerario:

**Grado de conocimiento sobre algunas aplicaciones en biotecnología**

1. ¿Podrías explicar brevemente en qué consisten las siguientes aplicaciones? ¿Qué ventajas e inconvenientes piensas que pueden tener para las personas y/o la sociedad?

Aplicaciones	Grado de conocimiento <i>(nunca la he oído-1-, la he oído pero no sé lo que significa-2-, la he oído y sé lo que significa-3-)</i>	En qué consiste	Ventajas	Inconvenientes
Diagnóstico molecular preventivo				
Terapia génica				
Fermentación para producción de alimentos				
Alimentos transgénicos				
Utilización de plantas o bacterias en industria				
Utilización de microorganismos para tratamiento de residuos				
Pruebas de ADN en Ciencias Forenses				

**Grado de acuerdo con algunas sentencias sobre biotecnología que requieren conocimiento básico en genética**

2. Indica Verdadero (V), Falso (F) o No lo sé (NS) en las siguientes afirmaciones relacionadas con la biotecnología:

a) El análisis de los genes de un individuo (screening genético) puede ayudar a saber a qué enfermedades será más propenso.

b) Sólo los microorganismos genéticamente modificados pueden producir antibióticos.

c) Las plantas transgénicas tienen genes, pero no tienen genes las plantas no transgénicas.

d) No es posible transferir genes de una especie a otra.

e) La biorremediación mediante microorganismos genéticamente modificados capaces de eliminar materiales que son difíciles de degradar naturalmente es un método de descontaminación utilizado por ejemplo en derrames de petróleo.

**Actitud hacia diferentes aplicaciones de la biotecnología**

3. Indica si estás de acuerdo con la puesta en práctica de las técnicas a las que se refieren las siguientes afirmaciones, siendo 1 totalmente en desacuerdo y 5 totalmente de acuerdo:

Aplicaciones		1	2	3	4	5	
Alimentación	Fermentación: utilizar bacterias y levaduras en producción de yogurt, pan, etc.						
	Alimentos transgénicos	Modificar levaduras para obtener mejor sabor del pan					
		Modificar animales para obtener alimentos en mayor cantidad o con características modificadas (carne, leche)					
		Objetivo nutricional: producción de variedades vegetales genéticamente modificadas como el arroz dorado					
		Objetivo comercial: cultivar vegetales genéticamente modificados con mejor aspecto, maduración tardía, etc.					
Medicina	Diagnóstico molecular preventivo: para ver a qué enfermedades puede ser susceptible una persona en el futuro						
	Terapia génica: alteración de genes en células tisulares humanas para tratar enfermedades						
	Modificar genéticamente animales para estudio de enfermedades humanas						

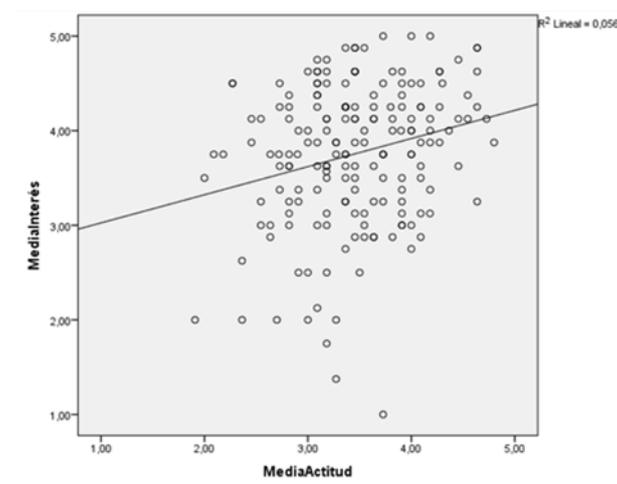
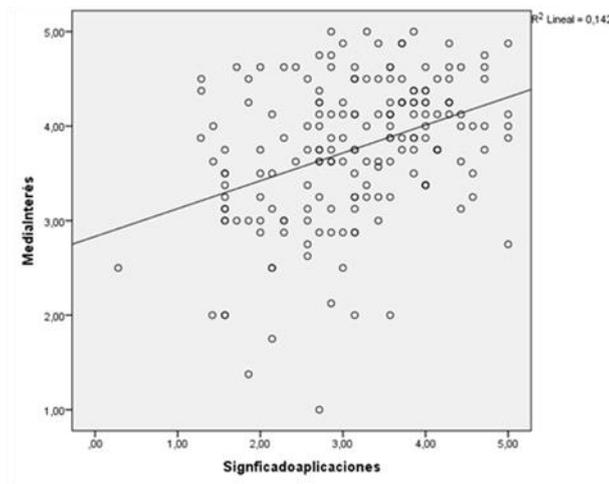
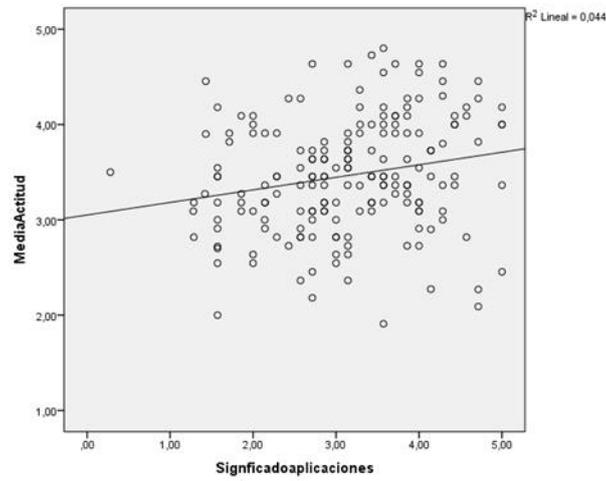
Industria	Producción de cosméticos, plásticos o combustibles utilizando plantas o bacterias					
	Utilización de fármacos, vacunas y hormonas obtenidos mediante procesos de Ingeniería genética					
Medio ambiente	Uso de biocombustibles (combustibles para motores de explosión o combustión elaborados a partir de materia prima de origen biológico o renovable) en lugar de los combustibles actuales en un futuro próximo					
	Uso de microorganismos en tratamiento de residuos					

**Interés hacia diferentes aplicaciones de la biotecnología**

4. Valora las siguientes afirmaciones, siendo 1 totalmente en desacuerdo y 5 totalmente de acuerdo:

Interés						
Frecuencia con la que escuchas, lees o ves noticias sobre biotecnología en radio, prensa, televisión o Internet.						
Me gustaría conocer sobre las técnicas y el trabajo en el laboratorio relacionado con la biotecnología.						
Me parece interesante conocer diferentes aplicaciones e implicaciones de la biotecnología en:	Medicina					
	Agricultura					
	Alimentación					
	Industria					
	Medio Ambiente					
Conocer sobre biotecnología me será útil en el futuro.						

## ANEXO VII. Gráficos de dispersión correlación conocimiento-actitud-interés



## ANEXO VIII. Entrevistas semiestructuradas sobre biotecnología

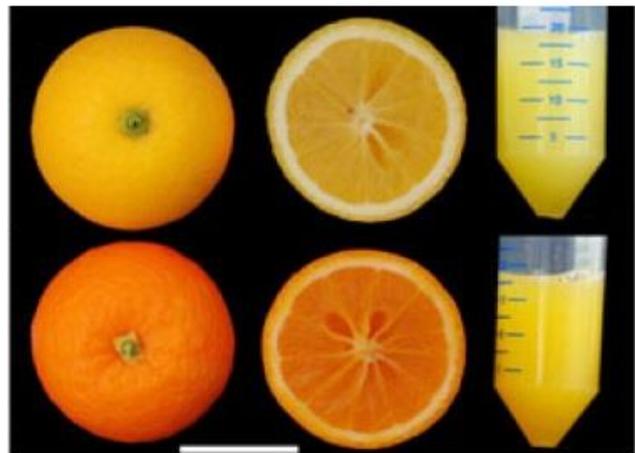
### Entrevista sobre conocimientos y actitudes hacia el consumo y etiquetado de alimentos transgénicos en Bachillerato

#### LA NARANJA DORADA

“Made in Spain, concretamente en Valencia. La investigación la han llevado a cabo tres grupos del IVIA, IATA y la empresa Biópolis, y acaba de ser publicada en *Plant Biotechnology Journal*.

El resultado de esta investigación ha sido la obtención de naranjas en *menos tiempo del habitual*, de color amarillo intenso (“golden“) y con un mayor contenido (hasta 36 veces más) en  $\beta$ -caroteno en la pulpa, precursor de la vitamina A.”

*Naukas.com 17 enero-2014*



1. ¿Las naranjas tienen genes? ¿Dónde? **Conocimiento**
2. ¿Qué dirías que son los alimentos modificados genéticamente? **Conocimiento**
3. ¿Cómo explicarías la relación existente entre modificar un gen y mostrar un nuevo carácter? **Conocimiento**
4. ¿Qué tipo ventajas tendrían estas naranjas (ámbito médico, nutricional, comercial, agrícola...)? **Actitud**
5. ¿Crees que tienen algún inconveniente? **Actitud**
6. ¿Compraría estas naranjas si estuvieran en el mercado? **Actitud**
7. ¿Sabrías citar algún ejemplo de alimento genéticamente modificado que esté en el mercado actualmente? **Conocimiento**
8. ¿Sabrías citar algún ejemplo de alimento producido mediante biotecnología? **Conocimiento**
9. ¿Consideras importante que los alimentos genéticamente modificados lleven una etiqueta que indique que lo son? **Actitud**  
*Muy importante      Importante      Poco importante      Nada Importante*
10. ¿Sueles leer la etiqueta de los alimentos que compras? **Actitud**  
*Siempre      Casi siempre      Alguna vez      Casi nunca      Nunca*
11. ¿Qué cuestiones no has entendido? **Conocimiento**
12. En general, ¿tu actitud frente a los alimentos transgénicos sería positiva o negativa? **Actitud**
13. ¿De qué manera has llegado a conocer acerca de los alimentos genéticamente modificados? **Conocimiento**

## Entrevista sobre conocimientos y actitudes hacia la biorremediación en Bachillerato

### LA BACTERIA QUE COME PLÁSTICO

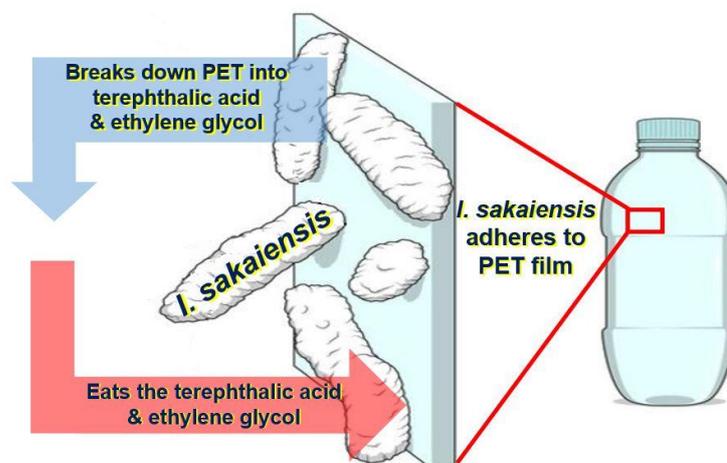
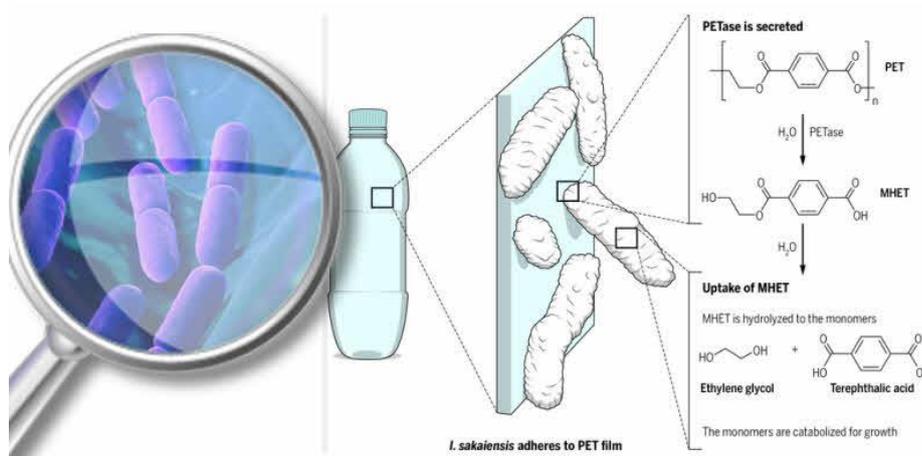
Un equipo científico del Instituto de Tecnología de Kioto (Japón) acaba de descubrir recientemente una bacteria desconocida hasta la fecha que puede vivir alimentándose de PET (Tereftalato de polietileno), uno de los plásticos más usados por la industria alimenticia para envasar agua mineral, refrescos, aceites o productos farmacéuticos, entre otros.

«La asimilación de PET por la bacteria *I. sakaiensis* puede ser **muy útil para eliminar este material derivado del petróleo del medio ambiente**», escribe el investigador Uwe T. Bornscheuer en un artículo que acompaña a la investigación.

"El trabajo es muy interesante y se suma a otros en la materia. Se han encontrado varios microorganismos capaces de degradar materiales plásticos, pero aún queda mucho por hacer para trasladar estos hallazgos a biorremediación a gran escala", asegura a este diario María José López, investigadora del Área de Microbiología de la Universidad de Almería.

*El Mundo* – *Ciencia* – 10/03/2016

<http://www.elmundo.es/ciencia/2016/03/10/56e1c141e2704e7a6a8b4629.html>



1. **Antes de leer la noticia preguntar:** ¿piensas que las bacterias son buenas o malas? *Conocimiento/ Actitud*
2. ¿Ha cambiado tu opinión sobre las bacterias después de leer la noticia? *Actitud*
3. ¿Qué quiere decir la expresión «La asimilación de PET por la bacteria *I. sakaiensis* puede ser muy útil para eliminar este material derivado del petróleo del medio ambiente»? *Conocimiento*
4. ¿Qué relación crees que guarda el término biorremediación con la biotecnología? *Conocimiento*
5. ¿Por qué crees que el artículo se titula “La bacteria que come plástico”? Ayúdate de las imágenes para explicarlo. *Conocimiento*
6. ¿Por qué es interesante que la bacteria degrade el plástico? ¿Qué tiene de especial este material? *Conocimiento/ Actitud*
7. ¿Crees que esto podría tener aplicación en un futuro no muy lejano? ¿Por qué? *Opinión*
8. ¿Tendría consecuencias negativas para el medio ambiente este proceso? *Actitud*
9. Si tuvieras que posicionarte, ¿estarías a favor o en contra de la biorremediación? *Actitud*
10. ¿Qué cuestiones no has comprendido? *Conocimiento*
11. ¿De qué manera has llegado a conocer lo que es la biorremediación? *Conocimiento*
12. En general, ¿tu actitud frente a la biorremediación sería positiva o negativa? *Actitud*

## Entrevista sobre conocimientos y actitudes hacia la obtención de fármacos y hormonas mediante procesos de ingeniería genética en Bachillerato

Lee el texto que te presentamos sobre cómo han cambiado las fuentes para la obtención de la insulina en personas diabéticas a lo largo de los años.

*La insulina, es una hormona producida por el páncreas que regula los niveles de glucosa en la sangre. Las personas diabéticas, no producen insulina o lo hacen en muy pequeñas cantidades, por lo que deben administrarla de fuentes externas.*

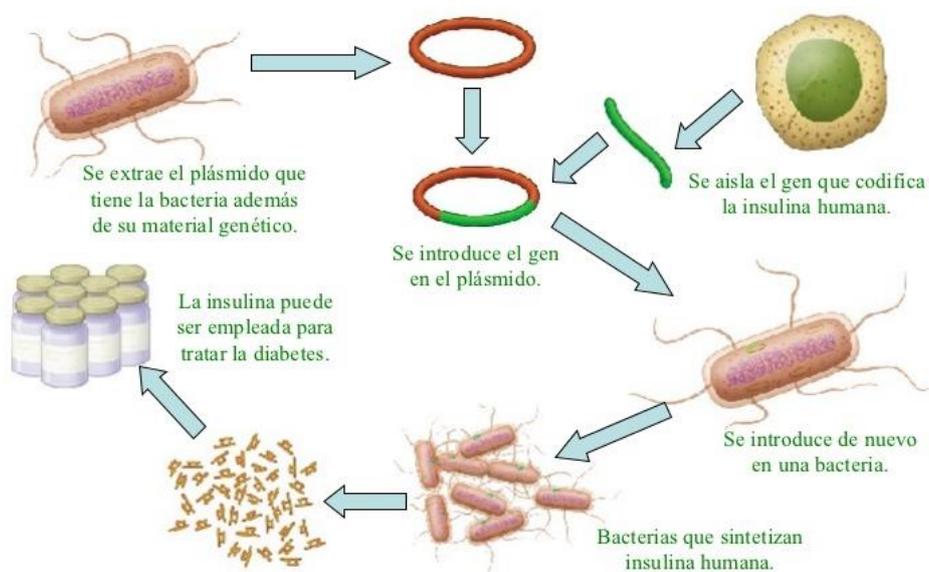
*El proceso de fabricación de la insulina se fue perfeccionando y alrededor de los años ochenta, las personas diabéticas usaban insulina que provenía de animales como cerdos o vacas. Pero esta insulina, aunque similar a la humana, no era exactamente la misma.*

*Más tarde, se descifró la estructura química de la insulina, pero los científicos no tuvieron mucha suerte para producirla en grandes cantidades si sólo usaban procesos químicos.*

*Finalmente, por procesos de Ingeniería genética, el gen de la insulina fue cortado, editado e introducido en la bacteria *E. coli*. Nació así una pequeñísima fábrica de insulina, que se multiplicaba cada vez que se alimentaba la colonia bacteriana, produciendo luego miles de otras fábricas de las que brotaban ríos de insulina. Hoy, al igual que la cerveza, la insulina se obtiene por fermentación en tanques enormes llamados “biorreactores”.*

Adaptado de: <http://ciencias.com/ciertaciencia/2014/10/01/insulina-y-biotecnologia/>

Ahora, fíjate en la imagen que te presentamos y que mostraría el proceso por el cual se obtiene insulina humana a partir de bacterias.



1. Ayudándote de la imagen, ¿sabrías explicar de qué manera se obtiene insulina humana de una bacteria? **Conocimiento**
2. Esta insulina, ¿será exactamente igual a la de los humanos o estará modificada, ya que la produce una bacteria? **Conocimiento**
3. La insulina que se produce, ¿qué tipo de biomolécula es? Pista: glúcido, lípido, proteína, ácido nucleico... **Conocimiento**
4. ¿Qué proceso relaciona el ADN con las proteínas? **Conocimiento**
5. ¿Consideras peligroso que la molécula de inulina proceda de procesos de Ingeniería genética? **Actitud**
6. ¿Es mejor tomar insulina que produce una bacteria que insulina que procede de un cerdo, por ejemplo? ¿Por qué? **Actitud**
7. ¿Qué opinión tienes acerca de la necesidad de modificar los genes de una bacteria para producir una hormona deseada como la insulina? **Actitud**
8. ¿Podrías indicar algunas ventajas e inconvenientes de esta técnica? **Conocimiento/Actitud**
9. ¿Qué cuestiones no has entendido? **Conocimiento**
10. ¿De qué manera has llegado a conocer lo que es la Ingeniería genética? **Conocimiento**
11. En general, ¿tu actitud frente a esta aplicación sería positiva o negativa? **Actitud**

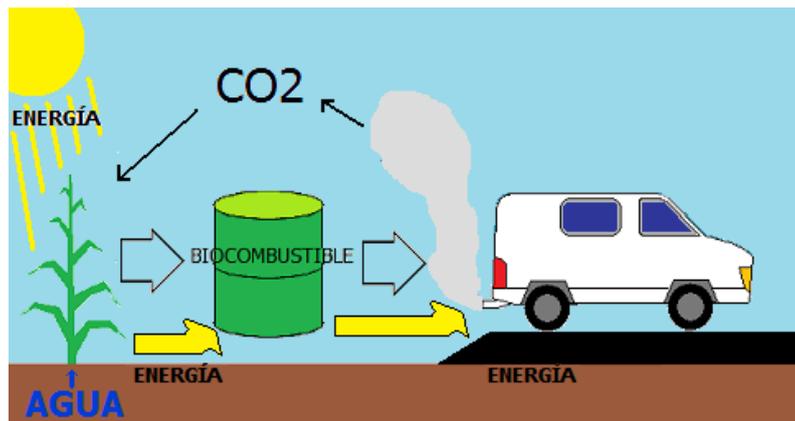
## Entrevista sobre conocimientos y actitudes hacia la biotecnología industrial en Bachillerato

Lee y observa los ejemplos que se presentan:

*Fermentación de la leche para producir yogurt*



*Biocombustibles como el bioetanol y biodiesel, obtenidos a partir de la actuación de microorganismos sobre diferentes cosechas vegetales como por ejemplo maíz*



*Enzimas celulasas que sustituyen el lavado a piedra de la ropa.*



*Enzimas lactasas para el blanqueado del papel.*

Consulta: <http://www.biotechmagazine.es/reportajes-biotech/la-biotecnologia-industrial-una-realidad-hoy-una-necesidad-manana/>

1. Todos los ejemplos anteriores, son productos que pueden obtenerse mediante la biotecnología. ¿Has oído hablar de ellos? ¿De cuáles sí y de cuáles no? **Conocimiento**
2. Comenzando por el yogurt, ¿es un alimento que consideras moderno o tradicional? **Conocimiento**
3. ¿Sabrías describir de qué manera se produce el yogurt? **Conocimiento**
4. Prueba a hacerlo utilizando las palabras: azúcares, bacterias, fermentación, ácido láctico. **Conocimiento**
5. ¿Piensas que las bacterias u hongos del tipo levadura tienen alguna influencia en la salud de las personas que consumen el alimento que han producido? **Actitud**
6. En el caso de los biocombustibles, ¿cómo piensas que los microorganismos pueden producirlos? **Conocimiento**
7. ¿Por qué llevan delante el prefijo BIO? **Conocimiento**
8. ¿Crees que los biocombustibles podrían sustituir a los combustibles actuales (fósiles)? ¿Por qué? **Opinión-Intereses**
9. Si tuvieras oportunidad de utilizar biocombustibles, ¿lo harías, aunque su precio fuera mayor que el de los combustibles tradicionales? **Opinión-Intereses**
10. Define con tus palabras qué es una enzima. **Conocimiento**
11. ¿Estarías de acuerdo con que se modifiquen genéticamente algunos microorganismos para que produzcan una gran cantidad de enzimas que luego puedan utilizarse en procesos industriales? **Actitud**
12. ¿Compraría unos pantalones “lavados a la piedra” en los que hayan intervenido enzimas procedentes de microorganismos transgénicos? **Actitud**
13. ¿Qué preguntas no has entendido? **Conocimiento**
14. ¿Conocías los ejemplos que te hemos presentado? ¿De qué manera has tenido conocimiento de ellos? **Conocimiento**

**ANEXO IX. Codificación de las entrevistas semiestructuradas con Atlas.Ti versión 8**

**Codificación entrevista sobre conocimientos y actitudes hacia el consumo y etiquetado de alimentos transgénicos en Bachillerato**

Nº	Pregunta	Afirmación	Pro	Contra	Indefinido	Conocimiento de contenido			No fundamentado	Valor			
						A	B	C		Fundamentado			
										Salud	Económico	Ambiental	Ético
1	P1												
	P2												
	P3												
4	P1												
	P2												
	P3												
5	P1												
	P2												
	P3												
7	P1												
	P2												
	P3												
8	P1												
	P2												
	P3												
10	P1												
	P2												
	P3												
15	P1												
	P2												
	P3												
17	P1												
	P2												
	P3												
18	P1												
	P2												
	P3												
19	P1												
	P2												
	P3												

**Codificación entrevista sobre conocimientos y actitudes hacia la biorremediación en Bachillerato**

Nº	Pregunta	Afirmación	Pro	Contra	Indefinido	Conocimiento de contenido			No fundamentado	Vabr				
						A	B	C		Fundamentado				
										Salud	Económico	Ambiental	Ético	Desarrollo
1	P1													
	P2													
	P3													
	P4													
4	P1													
	P2													
	P3													
	P4													
5	P1													
	P2													
	P3													
	P4													
7	P1													
	P2													
	P3													
	P4													
8	P1													
	P2													
	P3													
	P4													
9	P1													
	P2													
	P3													
	P4													
10	P1													
	P2													
	P3													
	P4													
13	P1													
	P2													
	P3													
	P4													
17	P1													
	P2													
	P3													
	P4													
19	P1													
	P2													
	P3													
	P4													

### Codificación entrevista sobre conocimientos y actitudes hacia la obtención de fármacos y hormonas mediante procesos de Ingeniería genética en Bachillerato

Nº	Pregunta	Afirmación	Pro	Contra	Indefinido	Conocimiento de contenido			No fundamentado	Valor					
						A	B	C		Fundamentado					
										Salud	Económico	Ambiental	Ético	Desarrollo	Científico
2	P1														
	P2														
	P3														
	P4														
	P5														
3	P1														
	P2														
	P3														
	P4														
	P5														
6	P1														
	P2														
	P3														
	P4														
	P5														
7	P1														
	P2														
	P3														
	P4														
	P5														
11	P1														
	P2														
	P3														
	P4														
	P5														
12	P1														
	P2														
	P3														
	P4														
	P5														
14	P1														
	P2														
	P3														
	P4														
	P5														
16	P1														
	P2														
	P3														
	P4														
	P5														
20	P1														
	P2														
	P3														
	P4														
	P5														
21	P1														
	P4														

**Codificación entrevista sobre conocimientos y actitudes hacia la biotecnología industrial en Bachillerato**

Nº	Pregunta	Afirmación	Pro	Contra	Indefinido	Conocimiento de contenido			No fundamentado	Valor				
						A	B	C		Fundamentado				
										Salud	Económico	Ambiental	Ético	Desarrollo
2	P1													
	P2													
	P3													
	P4													
	P5													
	P6													
3	P1													
	P2													
	P3													
	P4													
	P5													
	P6													
6	P1													
	P2													
	P3													
	P4													
	P5													
	P6													
7	P1													
	P2													
	P3													
	P4													
	P5													
	P6													
11	P1													
	P2													
	P3													
	P4													
	P5													
	P6													
12	P1													
	P2													
	P3													
	P4													
	P5													
	P6													
14	P1													
	P2													
	P3													
	P4													
	P5													
	P6													
16	P1													
	P2													
	P3													
	P4													
	P5													
	P6													
20	P1													
	P2													
	P3													
	P4													
	P5													
	P6													
21	P1													
	P2													
	P3													
	P4													
	P5													
	P6													

## LISTADO DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Desarrollo de la biotecnología. Fuente: Elaboración propia .....	10
<i>Figura 2.</i> Los colores de la biotecnología. Fuente: Elaboración propia.....	18
<i>Figura 3.</i> Mapa conceptual sobre aplicaciones de la biotecnología. Fuente: Elaboración propia.....	22
<i>Figura 4.</i> Esquema del diseño de la investigación sobre conocimientos en genética. Fuente: Elaboración propia a partir de McMillan y Schumacher (2005).....	63
<i>Figura 5.</i> Mapa conceptual sobre conceptos de genética. Fuente: elaboración propia (utilizando la herramienta Cmaptools).....	65
<i>Figura 6.</i> Procesos de mitosis y meiosis. Fuente: elaboración propia.....	90
<i>Figura 7.</i> Efecto de las radiaciones solares en el color de piel y justificación. Fuente: elaboración propia .....	94

## LISTADO DE TABLAS

Tabla 1 Principales hitos científico-biotecnológicos de los últimos 100 años ...	13
Tabla 2 Cuadro resumen actitud hacia biotecnología en la bibliografía.....	47
Tabla 3 Población objeto de estudio .....	67
Tabla 4 Población objeto de estudio.....	70
Tabla 5 Estudiantes que realizaron entrevistas semiestructuradas sobre biotecnología .....	74
Tabla 6 Características de los guiones para las entrevistas sobre biotecnología	75
Tabla 7 Causas del parecido y diferencia entre personas. ....	82
Tabla 8 Causas del mayor parecido a un progenitor que a otro.....	83
Tabla 9 Información hereditaria en diferentes seres vivos .....	85
Tabla 10 Localización de la información hereditaria .....	86
Tabla 11 Distribución de la información hereditaria en las células.....	87
Tabla 12 Información hereditaria en diferentes tipos de células .....	88
Tabla 13 Ideas sobre las mutaciones.....	91
Tabla 14 Organismos en los que pueden producirse mutaciones .....	92

Tabla 15 Efectos de las mutaciones en los organismos .....	93
Tabla 16 Causas de variabilidad .....	95
Tabla 17 Núcleo, genes y ADN en seres vivos (estudiantes/centro).....	97
Tabla 18 Mecanismos de reproducción (estudiantes/centro).....	98
Tabla 19 Definiciones de los conceptos de gen, alelo y ADN (estudiantes/centro) .....	99
Tabla 20 Aplicaciones citadas (estudiantes/centro).....	99
Tabla 21 Estudiantes que conocen la naturaleza de las aplicaciones .....	100
Tabla 22 Valoraciones sobre aplicaciones de la biotecnología .....	101
Tabla 23 Grado de conocimiento sobre las aplicaciones (media de la categorización).....	103
Tabla 24 Conocimientos básicos de genética básica para comprender la biotecnología (% de preguntas respondidas correctamente) .....	104
Tabla 25 Actitud hacia diferentes aplicaciones de la biotecnología (valores medios en escala Likert y desviación típica) .....	106
Tabla 26 Interés hacia diferentes aplicaciones de biotecnología (valores medios en escala Likert y desviación típica) .....	107
Tabla 27 Correlación entre constructos: conocimiento, actitud e interés .....	108
Tabla 28 Enraizamiento de códigos de las entrevistas analizadas con Atlas.ti 8 .....	110
Tabla 29 Respuestas a la pregunta ¿las naranjas tienen genes?.....	111
Tabla 30 Interacción profesor-estudiante sobre presencia de genes en la naranja 1 .....	111
Tabla 31 Interacción profesor-estudiante sobre presencia de genes en la naranja 2 .....	112
Tabla 32 Significado de alimento transgénico y relación entre nuevo gen y nuevo carácter.....	112
Tabla 33 Definiciones de alimentos transgénicos y relación entre genes y caracteres .....	113
Tabla 34 Ejemplos de alimentos transgénicos que piensan los estudiantes que son comercializados en España .....	113

Tabla 35 Transcripciones sobre ventajas de los alimentos transgénicos.....	114
Tabla 36 Ejemplo codificación sobre ventajas de los alimentos transgénicos .	114
Tabla 37 Transcripciones sobre inconvenientes de los alimentos transgénicos	115
Tabla 38 Ejemplo codificación sobre inconvenientes de los alimentos transgénicos .....	115
Tabla 39 Transcripciones sobre si comprarían alimentos transgénicos.....	116
Tabla 40 Ejemplo codificación sobre si comprarían alimentos transgénicos..	116
Tabla 41 Transcripción sobre beneficios y perjuicios de las bacterias.....	117
Tabla 42 Ejemplo codificación sobre beneficios y perjuicios de las bacterias	117
Tabla 43 Transcripciones sobre el interés de degradar plásticos con bacterias	118
Tabla 44 Ejemplo codificación sobre el interés de degradar plásticos con bacterias .....	118
Tabla 45 Transcripciones sobre la aplicación futura de la biorremediación ....	119
Tabla 46 Ejemplo codificación sobre la aplicación futura de la biorremediación .....	119
Tabla 47 Transcripciones sobre la aplicación futura de la biorremediación ....	120
Tabla 48 Ejemplo codificación sobre la aplicación futura de la biorremediación .....	120
Tabla 49 Transcripciones sobre la insulina producida por ingeniería genética	121
Tabla 50 Ejemplo codificación sobre la insulina producida por ingeniería genética.....	121
Tabla 51 Transcripciones sobre los riesgos de la insulina producida por ingeniería genética.....	122
Tabla 52 Ejemplo codificación sobre los riesgos de la insulina producida por ingeniería genética.....	122
Tabla 53 Transcripciones sobre el valor biológico de la insulina producida por ingeniería genética.....	123
Tabla 54 Ejemplo codificación sobre el valor biológico de la insulina producida por ingeniería genética.....	123
Tabla 55 Transcripciones sobre la necesidad de la biofarmacología.....	124
Tabla 56 Ejemplo codificación sobre la necesidad de la biofarmacología.....	124

Tabla 57 Transcripciones sobre las ventajas/inconvenientes de la biofarmacología .....	125
Tabla 58 Ejemplo codificación sobre las ventajas/inconvenientes de la biofarmacología .....	125
Tabla 59 Entrevistas sobre la relación entre el proceso de la fermentación estudiado y su aplicación en la fabricación del yogur .....	126
Tabla 60 Transcripciones sobre la influencia en la salud de bacterias/levaduras .....	127
Tabla 61 Ejemplo codificación sobre la influencia en la salud de bacterias/levaduras.....	127
Tabla 62 Transcripciones sobre opiniones acerca del futuro de los biocombustibles .....	128
Tabla 63 Ejemplo codificación sobre opiniones acerca del futuro de los biocombustibles .....	128
Tabla 64 Definición de enzima.....	128
Tabla 65 Transcripciones sobre la utilidad de la biotecnología industrial .....	129
Tabla 66 Ejemplo codificación sobre la utilidad de la biotecnología industrial .....	129
Tabla 67 Transcripciones sobre la actitud ante la biotecnología industrial.....	130
Tabla 68 Ejemplo codificación sobre la actitud ante la biotecnología industrial .....	130