



Universidad Internacional de La Rioja
Facultad de Educación

Trabajo fin de máster

**Estudio exploratorio sobre
preconcepciones en el área
de Genética en alumnos de
Secundaria italianos y
españoles**

Presentado por: Denise Argento
Línea de investigación: Pedagogía experimental
Director/a: Lourdes Jiménez Taracido

Ciudad: Madrid
Fecha: Enero 2013

Resumen

La gran importancia de la genética molecular y su enorme desarrollo en la investigación en las últimas décadas hacen imprescindible esta rama de la ciencia para lograr una buena formación del individuo en la perspectiva de un desarrollo personal eficaz. Muchos científicos han investigado sobre los conocimientos que jóvenes y adultos poseen sobre la genética y los resultados han evidenciado que la formación respecto a estos temas resulta carente y/o incorrecta. Por tanto, es necesario adoptar en las escuelas diferentes estrategias metodológicas, innovadoras respecto al tradicional modelo de enseñanza-aprendizaje de trasmisión–recepción, que permitan a los alumnos de aprender ciencias de manera significativa.

Este trabajo se basa en una primera fase de investigación donde, a través de un cuestionario, se han detectado las ideas previas sobre la genética de alumnos italianos y españoles, y en una segunda fase donde se propone una secuencia de actividades basadas en los principios del constructivismo. Dicha secuencia tiene en consideración las ideas de los estudiantes, tiene una cuenta las propuestas de los investigadores en Didáctica de la Genética y consta de diferentes actividades que permiten al alumnado ir construyendo y dando sentido a los conceptos relacionados con la estructura, función y localización del material hereditario.

Palabras claves: **constructivismo, didáctica, ciencias, genética, preconcepciones**

Abstract

The high importance of molecular genetics and its huge development in the research in recent decades have made this branch of science necessary for a good education of the individual in the context of an effective personal development.

Many scientists have investigated the understanding that young people and adults have about genetics and the results have shown that the information is too lacking and / or incorrect.

Therefore it is necessary to adopt different methodological strategies in schools, innovative with respect to the traditional teaching –learning model of transmission-reception, which will allow students to learn science significantly.

This work is based on a first phase of research where, through a questionnaire, the preconceptions of Italian and Spanish students about genetics were detected, and in a second phase which proposes a sequence of activities based on the principles of constructivism.

This sequence takes into account the students' ideas, proposals from researchers in didactics of genetics and consists of different activities that allow students to construct and give meaning to the concepts related to the structure, function and location of the hereditary material.

Keywords: **constructivism, didactic, science, genetic, misconception**

Índice de contenidos

1. Introducción al Trabajo fin de Máster	pág. 4
2. Planteamiento del problema	pág. 7
3. Marco teórico	pág. 13
3.1 El paradigma constructivista en la educación	pág. 13
3.2 El modelo conductista y el modelo constructivista	pág. 14
3.3 Los precursores del constructivismo	pág. 15
3.4 Aplicación didáctica de las teorías constructivistas	pág. 17
3.5 El paradigma constructivista en la enseñanza de las ciencias	pág. 18
3.6 Preconcepciones espontáneas	pág. 19
3.7 Principales enfoques y tendencias en Didáctica de las Ciencias	pág. 23
4. Materiales y métodos	pág. 29
4.1 Características de los centros educativos y de la muestra	pág. 29
4.2 Instrumento de recogida de datos	pág. 30
4.3 Tratamiento estadístico de los datos	pág. 31
5 Resultados y análisis	pág. 32
6 Propuesta práctica	pág. 42
7. Conclusiones	pág. 54
8. Líneas de investigación futuras	pág. 55
9. Referencias bibliográficas	pág. 56
10. Bibliografía complementaria	pág. 61
11. Anexos	pág. 62

1. Introducción al Trabajo fin de Máster

El sistema educativo español se rige según la Ley Orgánica 2/2006, de 3 de mayo, de Educación (en lo sucesivo LOE). Entre los principios que establece esta ley está la calidad, equidad y compromiso con los objetivos europeos, siendo uno de ellos mejorar la calidad y eficacia de los sistemas de educación y de formación, lo que implica mejorar la capacitación de los docentes.

En los artículos 94, 95 y 100 de la LOE, se establece que para ejercer la docencia en las diferentes enseñanzas reguladas en la presente Ley, será necesario estar en posesión de las titulaciones académicas correspondientes y tener la formación pedagógica y didáctica de nivel de postgrado que garantice su capacitación adecuada para afrontar los retos del sistema educativo y adaptarse a las nuevas necesidades formativas.

De acuerdo con lo establecido por normativa vigente, Real Decreto 1393/2007 y Orden Ministerial ECI/3858/2007, el Máster Universitario en Formación del Profesorado de Educación Secundaria Obligatoria y Bachillerato, Formación Profesional y Enseñanzas de Idiomas garantiza la formación necesaria para ejercer las profesiones de profesor tanto en centros públicos como privados, en cumplimiento con la LOE. Su objetivo es formar profesionales capaces de desarrollar su trabajo en los ámbitos de la orientación y la enseñanza.

La Universidad Internacional de La Rioja (UNIR), de pleno derecho, ofrece estas enseñanzas en la modalidad de e-learning. Dentro de los planes de estudios conducentes al título, y según la normativa vigente, es necesario la elaboración y defensa pública del Trabajo fin de Máster (TFM en adelante), con una carga lectiva de 6 créditos ETC, cuya finalidad es la de compendiar la formación adquirida a lo largo del Máster.

Entre las líneas prioritarias que ofrece la UNIR para la elaboración del TFM, esta memoria se enmarca dentro del epígrafe *El proceso de enseñanza-aprendizaje*, bajo la especialidad de Biología-Geología. En concreto, versa sobre el estudio de preconcepciones erróneas y aplicación de enfoques alternativos para el abordaje de los contenidos de genética molecular en cuarto de Educación Secundaria Obligatoria.

Para ello en primer lugar, se describirá la problemática relacionada con el aprendizaje-enseñanza de las ciencias en alumnos de secundaria tales como la falta de capacidades

metacognitivas y la existencia de preconcepciones erróneas en los alumnos o el uso de una metodología propedéutica por parte del profesorado, entre otros.

Tras definir los objetivos de la investigación, se hará un estudio bibliográfico sobre el estado de la cuestión, aprendizaje constructivista, así como, revisión de diferentes enfoques alternativos al modelo tradicional, haciendo especial énfasis en el cambio conceptual.

A continuación, se realizará un estudio exploratorio a alumnos de secundaria sobre preconcepciones erróneas en relación a genética y biología molecular que permita establecer hipótesis para líneas de investigación futuras.

Finalmente, se elaborará una propuesta de intervención didáctica para el 4º curso de la ESO para abordar los contenidos curriculares referentes a biología molecular a través de la aplicación del modelo constructivista mediante cambio conceptual y aprendizaje significativo, con la finalidad de introducir a los alumnos en el conocimiento de la genética molecular empezando por la información genética para proseguir con contenidos curriculares como la célula y las bases moleculares de la herencia. Se pondrá particular atención al desarrollo de una propuesta didáctica sobre la información genética que consolide las bases para alcanzar el aprendizaje significativo de esta rama de la ciencia.

La elección de esta temática surge a raíz de la experiencia adquirida en el Practicum de Intervención. He podido observar que los alumnos no relacionaban de manera constructiva los conocimientos que se iban añadiendo a lo largo de las clases. Creo que la gran importancia de la genética molecular y su enorme desarrollo en la investigación en las últimas décadas hacen imprescindible esta rama de la ciencia para lograr una buena formación del individuo en la perspectiva de un desarrollo curricular eficaz. Además, el uso de términos específicos que pertenecen a este campo de la biología se ha extendido en el léxico común, y es también patrimonio, a menudo impropio en los niños; frases como "lo tiene en el ADN", "está escrito en los genes", enfermedades genéticas, biodiversidad, se utilizan con frecuencia en ámbitos alejados de esta disciplina, con la posibilidad de desarrollar preconcepciones erróneas. El problema didáctico que se plantea es presentar los aspectos más destacados de las estructuras y de los mecanismos moleculares responsables de la transmisión de la información. Es impensable enseñar la genética clásica sin la genética molecular, mientras que una

ofrece explicaciones a nivel molecular/celular, la otra es capaz de explorar los fenómenos biológicos (enfermedades genéticas y su transmisión).

Se trata de crear una fuerte red conceptual inicial, sentando las bases y/o reforzando el conocimiento del ADN y su funcionamiento para luego añadir e integrar otras cuestiones clave. Por ello se propone un camino que va desde el aspecto molecular hasta el celular. Creo que primero se deben presentar los aspectos más destacados de las estructuras y de los mecanismos moleculares responsables del funcionamiento y de transmisión de la información en los seres vivos favoreciendo una relación lógica entre los componentes y los procesos analizados hasta los efectos sobre los seres vivos.

2. Planteamiento del problema

Al establecer cualquier discusión sobre la enseñanza hay que tener en cuenta la complejidad de las estructuras cognitivas de los que aprenden, es decir, de la manera en la que los conocimientos se forman, se separan, se estabilizan y cambian con el tiempo.

Los teóricos comparten la idea de que la cabeza del alumno no es un recipiente vacío que se llena de conocimiento (Novak y Gowin, 1988) y de que aprender supone un proceso de construcción de cogniciones (Resnick, 1983; Driver, 1989). No se sabe mucho acerca de las formas en que cada persona selecciona y desarrolla con sus propios criterios la variedad de experiencias, de informaciones, de hipótesis con que en cada momento de la vida interactúa.

Pero ¿porqué los alumnos no aprenden ciencia de forma significativa? Redfield (2012), en su artículo "Why Do We Have to Learn This Stuff?"—A New Genetics for 21st Century Students" (¿Por qué tenemos que aprender estas cosas? - Una genética nueva para los estudiantes del siglo 21) reporta que, en el caso de la genética, son los profesores los que se equivocan enseñando una asignatura que los estudiantes nunca utilizarán. Hace cincuenta años, esto no habría sido un descuido muy grande, pero ahora los genes están en todas partes con fuertes implicaciones en la vida pública y personal. Por tanto, es necesario experimentar una nueva forma de enseñanza de la genética liberándonos de la vieja y pedante estructura de los libros de texto, enriqueciendo los cursos con temas de actualidad, como por ejemplo: ¿Los animales clonados son éticos? ¿Los alimentos transgénicos son malos? o ¿Tiene sentido hablar de razas?

Sin embargo, varios estudios revelan que los estudiantes no logran entender críticamente el conocimiento de la genética que se enseña en el aula, y esta falta de comprensión se traduce en la imposibilidad de aplicar los conocimientos básicos para la vida cotidiana (Lewis y Kauttmann, 2004; Lewis y Wood-Robinson, 2000). Las razones por las que no aprenden son diversas y complejas. Una de las principales es su falta de motivación hacia las ciencias y hacia el aprendizaje de las ciencias. Estudios recientes muestran que el número de estudiantes de ciencias, en particular, el número de mujeres es bajo (Vázquez y Manassero 2008). Algunos autores defienden la hipótesis de que los jóvenes piensan que la ciencia es algo poco atractivo y están de acuerdo en que se trata de un fenómeno complejo debido a múltiples causas (Solbes,

2011). El tema de la motivación es percibido por los docentes como un problema crucial, por ello, numerosas investigaciones se centran en este tema.

Los resultados de la prueba PISA 2006 (Programme for International Student Assessment-Programa para la Evaluación Internacional de los Alumnos) proporcionan un marco útil y detallado a escala mundial del nivel de preparación de los estudiantes frente a los retos de la sociedad del conocimiento. Cada ciclo de evaluación PISA monitorea el rendimiento de los estudiantes en las principales áreas del currículo: lectura, matemáticas y ciencias, pero cada uno se centra en particular en un área. Las ciencias fueron el objetivo en el año 2006, las matemáticas en 2003 y la lectura, en 2000 y en 2009.

PISA 2006 mostró que la confianza de los alumnos en saber gestionar eficazmente las tareas y superar las dificultades (habilidades personales en la ciencia) se relacionaba directamente con un mejor rendimiento. En definitiva, los resultados indican que los estudiantes con mayor interés por la ciencia se comprometen más en el esfuerzo que se requiere para hacerlo bien (OECD, 2007) demostrando una clara relación entre el placer en el estudio de la ciencia y los resultados conseguidos en el ámbito escolar.

El estudio incluye cuestiones relacionadas con las actitudes de los estudiantes en la ciencia y su conocimiento de las oportunidades de trabajo disponibles para personas con competencias científicas. El mismo informe, afirma que una mayoría de los estudiantes se definen motivados a estudiar la ciencia, sin embargo, sólo un porcentaje muy bajo desea seguir una carrera de ciencias.

Las causas de esta situación que Pozo y Gómez Crespo (1998) han denominado “crisis de la educación científica”, son complejas, entre ellas podemos destacar:

En relación a los **contenidos conceptuales**:

- Los alumnos tienen dificultades conceptuales (Tabla 1), aprenden "fórmulas hechas" a expensas de reflexiones personales, acumulan conocimientos, detalles, pero no entienden verdaderamente y la causa reside principalmente en los que se denominan preconcepciones erróneas¹.

¹ Debido a esta investigación se centra en el estudio de las ideas previas se le dedicará un apartado en el marco teórico

- Creen que se aprende la ciencia por sí misma. Tal enseñanza responde a preguntas que no son sus preguntas. La enseñanza de la ciencia es considerada "demasiado oscura", es una ciencia que está fuera del contexto real, que no desarrolla una forma de pensar que puede ser útil para enfrentarse el mundo de mañana.

En relación a los **contenidos procedimentales**:

- La adquisición del método científico se coloca en segundo lugar con respecto al aprendizaje de definiciones y procedimientos estandarizados. Los estudiantes tienen la impresión de que la enseñanza no da mucha importancia al campo experimental y al trabajo de laboratorio, no da la posibilidad a los alumnos de descubrir por si mismos el porqué de los fenómenos sino ofrece explicaciones hechas que parecen estar fuera de la realidad y de las condiciones físicas reales en que se producen (Giordan, s.f). Además, se utilizan estrategias de razonamiento y solución de problemas inadecuadas así que los alumnos tienen dificultades para aplicar lo aprendido a situaciones nuevas (Campanario y Otero, 2000).

En relación a los **contenidos actitudinales**:

- Muchos adolescentes ven la enseñanza científica sólo como un factor que se utiliza para seleccionar, a través del fracaso, a los mejores estudiantes (Giordan, s.f), según autores como Pozo y Gómez Crespo (1998) la insistencia en el uso de metodologías tradicionales donde se utilizan tareas repetitivas de escaso sentido científico trae como consecuencia la adquisición de actitudes y creencias en el alumnado poco compatibles con el discurso científico, actitudes como “aprender ciencia consiste en repetir de la mejor forma posible lo que dice el profesor”, (...), “consideran la ciencia como un conocimiento neutro, desligado de sus repercusiones sociales” (p. 21).

Por otro lado, los alumnos tienen **falta de capacidades metacognitivas** según Campanario y Otero (2000). Los estudiantes deben tener presentes tanto los puntos fuertes como los límites de su conocimiento y sus estrategias, de esta forma podrán utilizar de manera eficaz, tanto uno como otras. Las dos partes principales de la metacognición son la conciencia del propio conocimiento y la regulación de los procesos cognitivos. La regulación se refiere a la capacidad del estudiante para

comprobar su aprendizaje. El alumno es capaz de autorregularse si sabe utilizar tan los conocimientos cuanto las estrategias relacionadas y posee la voluntad de utilizarlos, en definitiva, si está muy motivado (Valitutti, s.f). Ser conscientes de su propio conocimiento es tener una cognición explícita de su memoria, de los saberes de base, del repertorio de sus estrategias así como el conocimiento acerca el cómo, cuándo y por qué utilizar el conocimiento. El problema sucede cuando, el alumno no sabe que no sabe, ya que tal como afirman Campanario y Otero (2000) “¿Qué dudas se pueden contestar o resolver a alguien que «cree» que no tiene dudas?” (p.164).

Además de estas dificultades que presenta el alumnado, existen otros factores directamente relacionados con estos. Entre ellos, destaca el **currículo de ciencias** el cual según afirman autores, profesores y alumnos es demasiado amplio, con contenidos con escasa conexión Ciencia-Tecnología-Sociedad y cada vez mas desviado de las requerimientos formativos que demandan los jóvenes. Según “Eurydice, the information network on education in Europe” (2006) es prioritario reflexionar sobre los contenidos y los programas de enseñanza, ¿cuáles son los conocimientos que tienen que disponer los jóvenes para poder afrontar un mundo complejo, inseguro e incierto? La ciencia debe proporcionar a los estudiantes las herramientas para entender mejor el mundo que les rodea. Debe fomentar la curiosidad y el espíritu crítico enfatizando la relación entre el hombre y la naturaleza y tiene que recordarnos que los recursos naturales no son ilimitados. La ciencia es también una parte integral del mundo de hoy, estamos rodeados de sus productos: desde reproductores de MP3, instrumental médicos, ordenadores. La sociedad depende cada vez más de la ciencia. Los "expertos" asesoran sobre temas de interés general, tales como el cambio climático o los OGM en los alimentos. Si se quiere apreciar lo que dicen y comprender sus razonamientos, se necesita una "cultura científica": se debe ser capaces de evaluar lo que se nos dicen. Además, Europa necesita de jóvenes científicos capaces de innovación en una sociedad competitiva basada en el conocimiento. Aumentar la matriculación en los institutos científicos y técnicos es uno de los objetivos que los Ministros de Educación se fijaron en el año 2001 al proceso de Lisboa. La adquisición por parte de los jóvenes europeos de habilidades y conocimientos científicos es un desafío crucial para Europa.

El otro factor fundamental para el logro de una educación científica de calidad son los **profesores**, los cuales según afirma Pozo y Gómez (2009) están desorientados ante tanta demanda formativa que incluye nuevas asignaturas, nuevo planes, alumnos diversos, nuevos métodos, clases numerosas, excesiva carga de responsabilidad,

burocracia que prevale sobre la didáctica, etc... Muchos profesores se limitan a adoptar una metodología de enseñanza tradicional a través de la cual los estudiantes sólo deben hacer lo que la mente humana no sabe hacer bien: "repetir o reproducir las cosas con exactitud" (Pozo y Gómez, 1998).

Una estrategia que puede tener un impacto en la comprensión del estudiante de una disciplina específica es estimular el pensamiento profundo y crítico sobre esa disciplina (Mills Shaw, Van Horner, Zhang, Boughman, 2008). Debido a que los estudiantes suelen aprender de manera pasiva, el desarrollo de habilidades de pensamiento crítico es necesario para garantizar un nivel de alfabetización y la capacidad eventual para aplicar los conocimientos (Connally y Vilardi 1989; Keys 1999; Rivard 1994; Campanario y Otero, 2000).

A pesar de que la ciencia y el conocimiento científico son la base de la sociedad de hoy, los estudiantes no están motivados para estudiar las asignaturas de ciencias, no logran encontrar una relación entre lo que se enseña en la escuela y la vida real lo que se traduce en una disminución de los estudiantes que planean seguir una carrera de ciencias. Los jóvenes aprenden fórmulas y conceptos, pero no conectan esta información significativamente utilizando el pensamiento científico.

Para resolver esta problemática resulta necesaria una reforma en el tratamiento de conceptos, procedimientos y actitudes en las escuelas, así como también cambios profundos en los currículos.

• Objetivo general

Reflexionar acerca la enseñanza usual y la problemática asociada al aprendizaje de los contenidos referentes a genética en Educación Secundaria Obligatoria (en adelante ESO).

• Objetivos específicos

- ✓ Describir las características principales del paradigma constructivista y sus principales enfoques en la enseñanza de las ciencias.
- ✓ Identificar la importancia de los contenidos curriculares sobre genética en la sociedad actual y los obstáculos para su aprendizaje
- ✓ Detectar las ideas erróneas de una muestra incidental de estudiantes sobre el tema de la genética molecular y formular hipótesis para futuras líneas de investigación.

- ✓ Elaborar una propuesta didáctica para los contenidos curriculares de genética de 4º curso de la ESO mediante el modelo de cambio conceptual.

- **Justificación de la metodología**

Para llevar a cabo la elaboración de la memoria en primer lugar se ha realizado una revisión de la bibliografía en castellano, inglés e italiano. Para el estudio empírico se ha llevado a cabo un estudio exploratorio con recogida de datos en una muestra incidental de alumnos que estudian educación secundaria obligatoria tanto en España como en Italia.

Ha sido utilizado el cuestionario como instrumento de recogida de datos, por la facilidad para recopilar la información, concentrar y obtener datos útiles a partir de las respuestas, y por la posibilidad que nos da de proyectar los datos y hacer gráficas.

En las investigaciones sobre Didáctica de las Ciencias se utiliza tanto la metodología cuantitativa como la cualitativa. En este estudio han sido combinadas ambas metodologías de manera que la comprensión global de los resultados se hace necesaria cuando se observan los dos enfoques, ya que no quedan desligados uno del otro.

- **Justificación de la bibliografía**

Para el desarrollo de este trabajo se realizó primeramente un estudio bibliográfico para recoger informaciones sobre los trabajos de los autores considerados los máximos exponentes del constructivismo como Piaget, Vigotskij y Ausubel. Esta ha sido después ampliada con artículos o libros de otros autores que se ocupan principalmente de investigación en didáctica en el ámbito de las ciencias, principalmente españoles e italianos. Han sido consultadas también páginas web y revistas de didáctica de reconocido prestigio escritas por profesores /o investigadores especializados en educación para la escuela secundaria.

3. Marco teórico

Las investigaciones han demostrado en repetidas ocasiones que los estudiantes de todos los niveles, traen consigo una gran cantidad de estructuras cognitivas de cómo funciona el mundo : en el caso de la ciencia, se trata muy a menudo de concepciones erróneas causadas por la forma en que la mente ve e interpreta el medio ambiente(Pozo y Gómez Crespo, 1997). Un profesor debe entonces convencer al estudiante de que lo que ya "sabe" es un modelo de la realidad menos eficaz y meno coherente del nuevo que se propone.

El constructivismo es una teoría del conocimiento que trata de explicar la manera general en que las personas aprenden. La didáctica constructivista que se basa en estas teorías, cambia el significado del aprendizaje, del papel del profesor, de su relación con el alumno y de los alumnos entre sí.

Para el constructivismo el aprendizaje consiste en la construcción del conocimiento, que cada uno forma mediante la evaluación de las informaciones que obtiene del mundo de acuerdo a sus esquemas de conocimiento, para decidir si desea o no modificarlos. Para la ciencia el conocimiento espontáneo está formado muy a menudo por esquemas que no son congruentes con los de los conocimientos científicos.

3.1. El paradigma constructivista en la educación

La didáctica constructivista es uno de los paradigmas pedagógicos más recientes e innovadores, cuyos principios fundamentales se inspiran en la psicología constructivista, que a su vez es una expresión de la filosofía homónima. En el paradigma constructivista las informaciones carecen de validez objetiva. Esto significa que cualquier noción recibida por el alumno está construida de una manera muy única y personal, por lo que una enseñanza basada en la transmisión de información no resulta eficiente. Por el contrario, en la didáctica constructivista, el objetivo principal es el desarrollo de habilidades, y sólo en segundo lugar la transmisión de información. Aprender significa entonces hacer una construcción subjetiva y consciente del significado, a partir de una revisión interna de los conocimientos, creencias y emociones.

3.2. El modelo conductista y el modelo constructivista

Los principales métodos de aprendizaje que inspiran la enseñanza de las disciplinas científicas (desde la segunda mitad del siglo pasado hasta la actualidad) derivan de dos teorías muy diferentes: el conductismo y el constructivismo.

Según Cohen (1987) la idea central del conductismo es que nuestro comportamiento es el resultado de nuestro condicionamiento y no actuamos de manera consciente, sino que reaccionan a los estímulos.

Las aplicaciones didácticas del conductismo se basan en la teoría de Skinner (1953), según la cual la mente puede ser entendida como un recipiente vacío, una tabula rasa, que se debe llenar con informaciones, un recipiente donde guardar las ideas que provienen de la experiencia.

El modelo de enseñanza que se deriva del conductismo está destinado sólo a producir cambios en el comportamiento y no se preocupa de los cambios en el conocimiento "interno" de los estudiantes ni de los procesos que conectan el estímulo a la respuesta. Vistas estas premisas el papel del profesor es predisponer las condiciones y los estímulos que permitan a los estudiantes cambiar sus comportamientos. La enseñanza que sigue es por lo tanto una didáctica de tipo transmisión-recepción, es lo que se denomina comúnmente "modelo tradicional de enseñanza". No obstante, aunque el modelo conductista ha mostrado claramente sus limitaciones en la enseñanza de las disciplinas científicas, este enfoque está todavía muy arraigado en las aulas.

Bruner (1966) afirma que, en marcado contraste con el modelo conductista, el modelo de aprendizaje que proviene de constructivismo, asume que el aprendizaje es un proceso de construcción de conocimientos que provienen de las experiencias externas y que se produce mediante la interacción con el medio ambiente. Aprender, por lo tanto, consiste en la construcción de nuevos conocimientos y habilidades y/o en la modificación de los conocimientos y habilidades ya existentes. Además, los conocimientos verdaderamente construidos o modificados están influenciados por los que ya los alumnos poseen.

En este modelo, el papel del profesor no es transmitir conocimientos, sino más bien crear las condiciones que puedan facilitar el proceso de construcción de los conocimientos. El profesor pierde su papel de depositario indiscutible del conocimiento universal, abstracto e independiente de un marco de referencia, ya que el conocimiento

es visto como estrechamente relacionado con una situación concreta y como resultado de una colaboración social y de una comunicación interpersonal.

En esta perspectiva, no hay conocimientos "adecuados" y conocimientos "erróneos", como no existen estilos y ritmos de aprendizaje óptimos. El conocimiento es una operación de construcción personal de significados que el sujeto activa cada vez que quiera entender la realidad que le rodea. El objetivo final no es la adquisición completa de datos específicos invariables sino la interiorización de una metodología de aprendizaje que rinda progresivamente el sujeto autónomo en su aprendizaje.

Piaget, Vygotskij y Ausubel son los estudiosos cuyas ideas influyeron mayormente en las aplicaciones didácticas del constructivismo. Piaget se dedica principalmente en el desarrollo de las relaciones entre el conocimiento y el mundo de la experiencia; Vygotskij se centra en el papel de la mediación social en el proceso de aprendizaje; la teoría propuesta por Ausubel (1960) del *advance organizer* (organizador propedéutico) se basa en la idea de que el aprendizaje se facilita si el estudiante puede añadir significado a las nuevas informaciones.

3.3. Los precursores del constructivismo

El modelo de aprendizaje individual propuesto por Piaget se basa en dos principios generales (organización y adaptación) que guían el desarrollo biológico y cognitivo del individuo y en algunos conceptos clave relevantes para la comprensión de los mecanismos por los que estos principios se realizan.

En particular Piaget sugiere la idea de que la mente está organizada en estructuras complejas e integradas. La estructura de nivel más sencillo es el esquema, definido por Piaget como una representación mental de un conjunto definido de percepciones, ideas y / o acciones. En otras palabras, los esquemas son los componentes de una estructura más general acerca de los conocimientos que permiten relacionar el conocimiento del individuo con el mundo (Piaget, 1964).

Según Piaget, para que las personas puedan sobrevivir es necesario un proceso de adaptación entre la representación del medio ambiente (esquemas) y el mismo medio ambiente. El proceso de construcción de nuevos conocimientos, por lo tanto, coincide con el proceso de modificación de los esquemas preexistentes inadecuados. Por lo tanto, para Piaget el aprendizaje tiene una función adaptativa.

La adaptación se produce a través de dos procesos: la asimilación y la acomodación. La asimilación ocurre cuando un nuevo conocimiento se incorpora a un esquema preexistente sin una reorganización sustancial de las estructuras mentales. La asimilación a menudo consiste en tratar de entender algo nuevo con los conocimientos preexistentes. En algunos casos, esto puede implicar una distorsión de la nueva información con el fin de encajarla en los esquemas existentes. Cuando la información nueva no puede ser asimilada en los esquemas preexistentes se produce un desequilibrio. En este caso se habla del término en inglés *misperception* que en español se traduce como errores conceptuales y/ o ideas previas y que requieren de una substancial modificación de los esquemas que implica una reorganización de las estructuras mentales a través del proceso de acomodación. Los errores conceptuales no son siempre un obstáculo para el aprendizaje de los estudiantes, a menos que no se conviertan en modelos fuertes y estables de un concepto (Sbaragli, 2005). Más fuerte es el modelo intuitivo, más difícil es romperlo para asimilar y adaptar una comprensión nueva del concepto. El proceso de adaptación de los esquemas mentales introduce la idea de cambio conceptual que es una de las premisas fundamentales de la enseñanza constructivista.

Para Vygotskij (1978) el aprendizaje se deriva directamente de las interacciones sociales. Uno de los conceptos clave introducidos por Vygotskij es el concepto de *zona de desarrollo proximal*, que es el área que separa las cosas que el alumno ya sabe o puede hacer solo, por las cosas que él no puede aprender (incluso con la ayuda de un instructor). Si en relación con una determinada tarea, el alumno se encuentra dentro de la zona de desarrollo proximal, será capaz de realizar la tarea con la ayuda de un instructor y luego de interiorizarla. En términos didácticos este apoyo educativo es el conjunto de actividades de mediación, materiales, herramientas, artefactos preparados por el profesor con el fin de promover el aprendizaje. A través del concepto de zona de desarrollo proximal Vygotskij llega a la definición de un entorno de aprendizaje que incluye no sólo los alumnos y el material didáctico sino también el material didáctico y la comunicación. La obra de Vygotskij sugiere, por tanto, que los entornos de aprendizaje deben incluir una interacción guiada, permitiendo a los estudiantes reflexionar sobre la inconsistencia de sus ideas previas y combinar sus representaciones gracias también al lenguaje y a la comunicación.

La piedra angular de la teoría de Ausubel es el concepto de aprendizaje significativo, en contraposición con el aprendizaje memorístico. Para aprender significativamente, los individuos deben ser capaces de conectar la nueva información con los conceptos y

proposiciones relevantes que ya posean. El conocimiento se lleva a cabo a través del procesamiento del significado: el alumno atribuye al material de aprendizaje un significado psicológico, o sea, personal. Si se puede establecer una correlación entre las nuevas informaciones y los conocimientos previamente adquiridos, la experiencia del aprendizaje será más significativa para el estudiante. Se puede llamar significativo el tipo de aprendizaje en el que el alumno identifica los conceptos clave y los vincula a los conceptos ya aprendidos.

Resulta necesario crear un ambiente educativo en el que el conocimiento individual venga fácilmente a la luz, de manera explícita y también indirectamente (como funcional para discutir cuestiones o asuntos relacionados), y finalmente, en forma permanente, consciente y social. El cambio de las concepciones implica un impacto continuo con puntos de vistas divergentes o contradictorios con los propios y requiere de un esfuerzo personal importante e insustituible. La creación de un ambiente educativo fértil, alegre y social, en el que muchas opiniones diferentes son continuamente discutidas y negociadas entre iguales, sin duda favorece este proceso de asimilación (Ausubel, 1968).

3.4. Aplicación didáctica de las teorías constructivistas

Cada uno de los puntos de vista del constructivismo analizados en los párrafos precedentes se centra en aspectos diferentes pero igualmente importantes de la enseñanza-aprendizaje. Las características más obvias son: el reconocimiento de la importancia del aprendizaje activo y el hecho de que la construcción de nuevos conocimientos se ve influida por los conocimientos que ya se poseen.

Según las ideas de Vygotskij (1978) la zona de desarrollo proximal es la distancia entre el conjunto de conocimientos y habilidades iniciales de los estudiantes y el conjunto de conocimientos y habilidades que pueden desarrollarse gracias a la guía de un mediador. Conseguir una representación clara y detallada del nivel cognitivo inicial de cada estudiante es por lo tanto una cuestión crítica.

En cuanto a la contribución de Piaget, la traducción pedagógica de los mecanismos espontáneos de asimilación y acomodación que caracterizan la adaptación según Piaget, sugiere estrategias didácticas eficaces, en particular el conflicto cognitivo.

La estrategia del conflicto cognitivo quiere inducir en los estudiantes la conciencia de la inadecuación de sus conocimientos y ponerlos en disposición de reconsiderar sus puntos de vista.

Resulta entonces muy importante hacer una planificación cuidadosa de las intervenciones educativas que deben basarse en un análisis de la situación de los conocimientos iniciales de los alumnos.

Ausubel, que fue un seguidor de Piaget, refiriéndose a la práctica docente, cree que es más útil antes de la explicación de una unidad didáctica compleja, elaborar un marco más general y abstracto de la misma, de modo tal que este contenido serviría como un organizador para ayudar al estudiante a relacionar los nuevos conocimientos con los que ya posee. Los organizadores son por lo tanto principalmente una estrategia de enseñanza que se basa en el principio de que el factor más importante en el proceso de aprendizaje está representado por los pre-conocimientos. La consecuencia lógica de este enfoque es que el diseño de planes de formación deberán basarse en el análisis de estos conocimientos previos.

3.5. El paradigma constructivista en la enseñanza de las ciencias

El constructivismo no ha desarrollado un modelo de enseñanza único, sino que se limita a señalar una serie de condiciones que deben cumplirse para que la actividad educativa realmente satisfaga las necesidades contingentes. Especialmente en la enseñanza de las ciencias es crucial poner mucho cuidado para asegurarse de que el entorno de formación sea diseñado para que se pueda ofrecer una variedad de estímulos y un camino personalizado de acceso a los contenidos.

Se debe permitir al estudiante una **exploración activa**, de acuerdo con sus propios intereses y / o motivaciones para aprender nuevos conocimientos. Esto no quiere decir que se promueve un proceso de auto-aprendizaje, sino que es la misma estructura de los materiales ofrecidos y de las actividades educativas promovidas, la experiencia de aprendizaje sea un proceso de reajuste flexible del conocimiento existente de acuerdo con las necesidades que plantea la nueva situación formativa. En este sentido, los estudios de casos, la resolución de problemas y las simulaciones son estrategias óptimas de aprendizaje ya que no están diseñadas para el almacenamiento de definiciones, sino que hacen interiorizar un concepto aplicándolo a una actividad práctica. Presentar unos factores importantes en una situación problemática desarrolla en el alumno la producción de decisiones eficaces. La revisión de los conocimientos de acuerdo a las nuevas necesidades promueve el **pensamiento creativo**. En un grupo de trabajo poder intercambiar ideas y opiniones, a través de la **puesta en común** de diferentes habilidades, aumenta la capacidad de encontrar soluciones óptimas en el

menor tiempo posible. El proceso de diseño didáctico debe ser lo más abierto y flexible para adaptarse a las nuevas necesidades (Giaconi, 2008).

El constructivismo hoy está consiguiendo un gran éxito porque la sociedad del conocimiento exige cada vez más que cada individuo se convierta en el protagonista responsable de una formación continua a lo largo de su vida. Proporcionar al sujeto una metodología cognitiva para desarrollar progresivamente habilidades metacognitivas y pensamiento crítico resulta imprescindible en la sociedad de hoy. (Pozzi, 2011).

3.6. Preconcepciones espontáneas

El término *misperception* (Novak, 1977; Viennot, 1979) se refiere a los conocimientos de los estudiantes considerados erróneos ya que entran en conflicto con el conocimiento científico. Tales alternativas de conocimiento son a menudo fuertes y difícil de cambiar, por lo menos por las prácticas tradicionales de enseñanza.

El uso del término *misperception* sin embargo esconde la idea de que los conocimientos que los estudiantes escondan en sí mismos algo “malo” y que la principal tarea del profesor es de reemplazarlos con los “buenos” conocimientos científicos. Esta idea ignora la base constructivista del aprendizaje por la cual estas son el producto de una manera razonable y personal de dar sentido a las cosas y que pueden evolucionar y cambiar (acerca al conocimiento científico) si los profesores predisponen estrategias de enseñanza que tengan en cuenta tal conocimiento y lo utilicen como punto de partida para la educación. Por estas razones la tendencia reciente es la de hacer referencia a estas habilidades con términos más neutros como conocimientos espontáneos, preconcepciones alternativas, ideas previas, e incluso ciencia de la alumnado.

Como se ha descrito anteriormente una de las principales dificultades de los alumnos en el aprendizaje conceptual es la existencia de estas preconcepciones. Se definen como ideas previas que “los alumnos desarrollan sobre su mundo, construyen significados para las palabras que se usan en ciencia y despliegan estrategias para conseguir explicaciones sobre cómo y por qué las cosas se comportan como lo hacen” (Osborne y Wittrock, 1983, p. 16).

Las principales características que presentan estas preconcepciones según Merino (2007) y Campanario (2000) son:

- Casi siempre son científicamente incorrectas.
- Son propias de cada sujeto y con una gran coherencia interna, sin embargo, son comunes a la mayoría de las personas, por tanto presentan cierta universalidad. En la tabla 1 se muestra algunos ejemplos.
- A veces son inconexas y contradictorias
- Son muy resistentes y de difícil erradicación mediante una enseñanza tradicional.

La investigación sobre el aprendizaje en los estudiantes sugiere que los conceptos erróneos sirven como barreras para el aprendizaje de los estudiantes. Estas ideas erróneas a menudo se basan en sus experiencias personales y son difíciles de desmantelar para lograr una comprensión significativa de los contenidos (Gelman y Gallistel 1986; Wellman 1990). Incluso después de haber estudiado contenidos diseñados especialmente para corregir las ideas erróneas, muchos estudiantes no logran reconstruir su pensamiento. Sólo los estudiantes capaces de deconstruir y reconstruir sus conocimientos utilizando el pensamiento crítico y el razonamiento lógico parecen tener un menor número de falsas ideas (Lawson y Thompson 1988). El cambio conceptual en general sólo se produce si una experiencia de aprendizaje puede demostrar de tal forma que la explicación del estudiante le resulte insuficiente y, por tanto, la explicación alternativa sea más aplicable (Posner, Strike, Hewson y Gertzog, 1982).

Tabla 1. Algunas dificultades que los alumnos encuentran en la comprensión de conceptos del Área de Ciencias de la Naturaleza (Adaptado de Pozo y Gómez Crespo 1997)

GEOLOGIA
Considerar que la formación de una roca y un fósil que aparece en su superficie no son procesos sincrónicos. Para muchos alumnos la roca existe antes que el fósil (Pedrinaci, 1996). El relieve terrestre y las montañas son vistas como estructuras muy estables que cambian poco o muy poco, excepto por la erosión (Pedrinaci, 1996).
BIOLOGÍA
Para muchos alumnos la adaptación biológica se basa en que los organismos efectúan conscientemente cambios físicos en respuesta a cambios ambientales, de tal forma que el mecanismo evolutivo se basaría en una mezcla de necesidad, uso y falta de uso (Grau y De Manuel, 1996).

<p>Algunos alumnos piensan que el tamaño de los organismos viene determinado por el tamaño de sus células (Grau y De Manuel, 1996).</p>
<p>FÍSICA</p> <p>El movimiento implica una causa y, cuando es necesario, esta causa está localizada dentro del cuerpo a modo de fuerza interna que se va consumiendo hasta que el objeto de detiene (Varela, 1996).</p> <p>Interpretan el término energía como sinónimo de combustible, como algo “casi” material almacenado, que puede gastarse y desaparecer (Hierrezuelo y Montero, 1991).</p>
<p>QUÍMICA</p> <p>El modelo corpuscular de la materia se utiliza muy poco para explicar sus propiedades y cuando se utiliza se atribuyen a las partículas propiedades del mundo macroscópico (Gómez Crespo, 1996).</p> <p>En muchas ocasiones no distinguen entre cambio físico y cambio químico, pudiendo aparecer interpretaciones del proceso de disolución en términos de reacciones y, estas últimas interpretarse como si se tratara de una disolución o un cambio de estado (Gómez Crespo, 1996).</p>

Con respecto a la temática objeto de estudio en el Trabajo fin de Máster, en la literatura hay descrito ideas previas relacionadas con la genética, fundamentalmente relacionadas con las tecnologías genéticas, los modelos de herencia, la naturaleza determinista de la genética, la naturaleza de los genes y del material genético, las bases genéticas de las enfermedades, la investigación genética y la tecnología reproductiva.

Tabla 2. Preconcepciones erróneas en los conceptos de Genética (Adaptado de Mills Shaw et. al, 2008)

Argumento	Preconcepciones	Concepto correcto
Tecnologías genéticas	Los órganos usados para potenciales transplantes se cultivan en diferentes especies entonces las tecnologías genéticas permitirán el crecimiento de embriones humanos en otras especies como incubadoras.	Los estudios actuales de genética no tienen este enfoque.
	La clonación viene referida a la reproducción asexuada de los seres vivos.	La clonación se refiere realmente a la transferencia nuclear de células somáticas y no se refiere a una técnica de reproducción asexual de organismos.
	La posibilidad de añadir nuevos genes, en el tiempo de un par de décadas permitirá al hombre de seleccionar determinados	La práctica de la eugenesia como una tecnología aceptable en la tecnología humana reproductiva puso fin a décadas atrás. Además, esto no tiene

Argumento	Preconcepciones	Concepto correcto
	caracteres para producir "niños personalizados".	en cuenta el papel del medio ambiente y otros factores epigenéticos en el desarrollo de atributos específicos
	Si se va a tener tres cromosomas en lugar de los dos normales, se tiene síndrome de Down".	Los seres humanos tienen 23 pares de cromosomas. Sólo una copia extra del cromosoma 21 produce el síndrome de Down.
	Un gran parecido con uno de los padres se debe a haber heredado la mayoría de los genes que determinan el fenotipo de este y que del otro se han heredado probablemente genes que intervienen en características difíciles de percibir sensorialmente.	Cada célula del cuerpo contiene dos copias de cada cromosoma, y por lo tanto todos los genes, una copia de la madre y otra del padre. Ambos alelos pueden contribuir a todos los atributos / características que están controlados genéticamente. Por otra parte, la mayoría de los productos génicos (proteínas) interactúan con otros genes y no actúan de manera aislada.
Modelos de herencia	<p>Los estudiantes no describen correctamente los desordenes heredados de tipo recesivo. Un ejemplo es lo del Adenosine deaminase deficiency (ADA). Ellos piensan que:</p> <ul style="list-style-type: none"> - si ninguno de los padres es portador del gen hay una probabilidad del 25% de tener un hijo con deficiencia de ADA; - hay un 50% de probabilidades de tener un hijo con esta enfermedad si por lo menos uno de los padres es portador del gen; - hay un 100% de probabilidad de tener al menos un hijo con deficiencia de ADA si ambos padres son ADA positivo. <p>Dos personas con deficiencia de ADA tendrán seguramente al menos un niño que sufre de esta enfermedad. Los hijos de un parente con la enfermedad se convertirán por lo menos en portadores aunque si no muestran ninguna síntoma y podrán tener hijos portadores o enfermos.</p>	<p>El ADA es causada por una mutación en un gen en el cromosoma 20 y es autosómica recesiva. Para tener el trastorno, la persona debe heredar una mutación en este gen, tanto de la madre como del padre. Las posibilidades de que a un niño con padres que no llevan la mutación sea diagnosticado el ADA es extremadamente rara, << del 25%. Si uno de los padres es portador, sólo existe una probabilidad del 50% que la descendencia también sea portadora. Un portador no experimenta ningún síntoma de un paciente ADA.</p>
	La dependencia química se salta una generación y entonces el gen para la dependencia química es recesivo. Esto significa que si un genetista psiquiátrico haría un cuadrado de Punnett para dos padres cuyos padres tuvieron la dependencia química, el cuadrado de Punnett diría que 3 de cada 4 de sus hijos serían químicamente dependientes.	La dependencia química es un rasgo complejo que no puede explicarse por un simple cuadrado de Punnett.
Naturaleza determinista de la genética	<p>Los genes determinan todo, desde el sexo hasta el color de pelo, como también las enfermedades y la estatura.</p> <p>Si todos los componentes de una familia son altos los hijos seguramente serán altos; si uno</p>	<p>Los genes no determinan todo los caracteres. Con más frecuencia, las influencias ambientales junto con el genotipo determinan el fenotipo.</p> <p>La idea de un gen-un carácter es muy difundida, en la realidad caracteres como la altura son</p>

Argumento	Preconcepciones	Concepto correcto
	de los padres es alto y el otro es bajo los hijos podrán ser altos o bajos con una probabilidad del 50% aunque tendrán también la probabilidad de estar en el medio.	determinados por múltiples genes y también la nutrición y el medio ambiente juegan un papel importante.
Naturaleza de los genes y del material genético	Todos los seres humanos tienen el ADN, al igual que los animales, las plantas y la mayoría de las bacterias y los hongos.	Todos los organismos vivos, incluyendo bacterias y hongos tienen ADN.
	Como el yodo se añade con frecuencia a la sal que consumimos, en la misma manera se pueden añadir a nuestras frutas y verduras substancias que pueden hacer nuestras vidas más largas".	La modificación genética de organismos es un proceso extenso y prolongado y no es análoga a las adiciones simples de un producto químico.
Bases genéticas de las enfermedades	En el futuro, el conocimiento sobre la genética podría ayudar a detener las enfermedades mortales y el cáncer. Sin embargo, esto sólo ayudará a las enfermedades que son hereditarias	La mayoría de las enfermedades tienen un componente genético, sin ser hereditario. Por lo tanto, el conocimiento de la genética podría tener un alcance mucho más lejos que el estudiante reconozca. En efecto, el conocimiento de la genética de virus diferentes, por ejemplo, ha dado lugar a las vacunas para cepas de la gripe (Webby et al. 2004).
La investigación genética	Uno de los mayores problemas de la humanidad es la enfermedad y a través del estudio del ADN y las moléculas que lo componen, algunas de estas podrían ser detenidas.	Muchos genetistas estudian la genética molecular centrándose en un proceso en particular, un gen u otro aspecto. Además, a menudo hay una gran brecha entre la investigación básica en genética molecular y la prevención de las enfermedades humanas, el tratamiento y la cura.
Tecnología reproductiva	La genética puede crear un ser perfecto, cambiando los genes. Lo que podemos tener es gente brillante, inteligente con ojos, nariz y labios perfectos.	El objetivo de la genética, de la investigación genética y de la tecnología reproductiva no de naturaleza eugenésica. Los científicos y los médicos en realidad quieren identificar mutaciones que dan lugar a enfermedades humanas para el posterior desarrollo de tratamientos eficaces (y curas potenciales).

Estas preconcepciones de los estudiantes no constituyen el único factor que puede dificultar el cambio conceptual. Algunos obstáculos se derivan de una falta de tangibilidad sobre algunos conceptos. En relación a la genética, por ejemplo, el aprendizaje puede ser difícil porque los conceptos involucrados son abstractos y sus relaciones con la experiencia perceptible de los estudiantes son pocas o ausentes.

3.7. Principales enfoques y tendencias en Didáctica de las Ciencias

Tal como se ha revelado en apartados anteriores, la investigación en Didáctica de las Ciencias en los últimos años ha identificado diversos obstáculos en el aprendizaje de las ciencias, entre otros, falta de habilidades metacognitivas, pautas de razonamiento superficiales en los alumnos o la existencia de estas ideas previas; tal como afirman Campanario y Moya (1999) “ante esta realidad parece claro que las estrategias tradicionales de enseñanza de las ciencias son poco eficaces para promover el aprendizaje significativo” (p. 180), ello ha suscitado una proliferación de enfoques alternativos que tienen como punto de partida “descartar el modelo de aprendizaje por transmisión (unánimemente combatido por especialistas e investigadores en enseñanza de las ciencias)” (p.180) con el objetivo de tratar de paliar, con mayor o menor éxito, estos obstáculos que los alumnos poseen para aprender ciencias. Entre los principales enfoques alternativos aportados por la Didáctica de la Ciencias están:

- El aprendizaje por descubrimiento.
- La resolución de problemas, como base de la enseñanza y el aprendizaje.
- El cambio conceptual como punto de partida de las ideas constructivistas.
- El aprendizaje como un proceso de investigación dirigida.
- **El aprendizaje por descubrimiento**

El aprendizaje por descubrimiento es una estrategia de aprendizaje con el que se van creando las condiciones para que el alumno descubra los principios básicos y las relaciones conceptuales de un determinado dominio de conocimientos sin necesidad de que sean presentados de forma explícita. De esta manera, el aprendizaje es más significativo porque el alumno no se limita a acoger pasivamente los conocimientos. Este modelo ha sido criticado en relación con la imposibilidad evidente de cada alumno puede construir lo esencial del conocimiento científico a partir de observaciones individuales.

- **La resolución de problemas, como base de la enseñanza y el aprendizaje**

Con la expresión "didáctica por resolución de problemas", se denota una estrategia educativa basada en la presentación a los estudiantes de problemas significativos, complejos –extraídos del mundo real o construidos de una manera realista- estructurados de tal manera que no sea posible una sola respuesta correcta o un

resultado predeterminado. De acuerdo con este enfoque, los estudiantes trabajan en pequeños grupos, con roles, procedimientos y etapas de la actividad definidos claramente con el propósito de negociar un entendimiento común del problema, identificar las áreas a profundizar, formular hipótesis y llegar a la solución final. Este enfoque permite que los alumnos sean los protagonistas, que establezcan en primera persona los objetivos de aprendizaje (útiles para resolver la situación problema). De esta manera, la adquisición del conocimiento se convierte en un medio para un fin y no un fin en sí mismo.

A través de esta estrategia, se puede aumentar la capacidad de relacionarse con los demás, desarrollar el espíritu creativo (a causa de la ausencia de una respuesta única correcta), así como el mantenimiento de un alto nivel de motivación, ya que la forma de aprendizaje que se adopta es más significativa y atractiva que las tradicionales. Asimismo, promueve la adquisición y consolidación de los conocimientos, permite tener una percepción más positiva para limitar el fracaso y para centrarse más en el proceso por el cual se llega a una solución.

Algunos investigadores de la Didáctica de las Ciencias consideran que las investigaciones deben ser la actividad central en la enseñanza de las ciencias. Por ejemplo, el proyecto APWIS (Gott, Welford y Foulds, 1988) propone basar el aprendizaje de la ciencia en el planteamiento de problemas que requieran para su solución la comprensión conceptual de los fenómenos y la comprensión de los procedimientos implicados en las técnicas de investigación utilizadas para resolver el problema. Por el contrario otros investigadores de la didáctica de las ciencias dudan de que este tipo de actividades prácticas sean la forma más adecuada para aprender los contenidos teóricos, pero consideran que sí pueden ser muy útiles como complemento de la teoría para el aprendizaje de los procedimientos propios de la ciencia (Pozo y Gómez, 2009).

- **El cambio conceptual como punto de partida de las ideas constructivistas**

La expresión “cambio conceptual” se utiliza para referirse a la revisión de las concepciones originarias de los estudiantes, que a menudo son abandonadas después de experiencias didácticas significativas (Murphy & Mason, 2006). Estos autores están de acuerdo con Duit (2002) de que el cambio conceptual sugiere líneas de aprendizaje que

los estudiantes pueden seguir para pasar de concepciones intuitivas a concepciones científicas. Desde un punto de vista constructivista, el aprendizaje de la ciencia misma puede ser considerada como un proceso de aprendizaje mediante cambio conceptual, ya que requiere una revisión de los conocimientos con el fin de integrar con éxito los nuevos conceptos en la estructura cognitiva preexistente del individuo (Duit, 1999).

Suponiendo un paralelismo con la teoría de Piaget, Posner et al., (1982) analiza las razones por las que, en el curso de la historia de la ciencia, a veces algunos científicos hayan admitido nuevas teorías (por ejemplo, la teoría heliocéntrica de Copérnico), y otros hayan permanecido en las antiguas (al geocéntrica de Tolomeo): comparando los estudiantes y los científicos, tales razones podrían servir de indicador de los factores que impiden o favorecen el cambio conceptual en los alumnos. Los resultados de sus investigaciones ha llevado a estos autores al desarrollo de uno de los modelos más influyentes para facilitar el cambio conceptual en el ámbito científico, llamado el modelo de cambio conceptual (Conceptual Change Model, CCM).

El CCM incluye cuatro condiciones (figura 1) que determinan una reestructuración del conocimiento y que también representan fuentes potenciales de resistencia al cambio. Primero, se debe haber una cierta insatisfacción con la antigua concepción, ya que no parece capaz de explicar un fenómeno, o tiene consecuencias manifiestamente falsas, o es incompatible con otros conocimientos que posee una persona. En segundo lugar, una nueva concepción debe ser inteligible. Su amplitud permite al individuo para construir una representación coherente. En tercer lugar, la nueva concepción debe aparecer inicialmente plausible, de una fuente creíble y consistente con los otros conceptos que el individuo ya posee, en caso contrario será rechazada. Por último, un nuevo concepto debe ser fructuoso, debe sugerir la posibilidad de ser útil para explicar muchos acontecimientos y fenómenos.



Figura 1. Condiciones que deben ocurrir para que se produzca el cambio conceptual (elaboración propia)

Dentro de la investigación en la educación científica, el CCM se ha convertido en una guía importante para poner en práctica una enseñanza constructivista en la enseñanza de las ciencias, que pueda estimular y permitir a los estudiantes de explicar y revisar las concepciones mantenidas por ellos en fenómenos observados (Hennessey, 2003). En este sentido, el conflicto cognitivo puede ser considerado como una estrategia de enseñanza válida para promover la reestructuración de los conocimientos de los estudiantes (Guzzetti, Snyder, Glass y Gamas, 1993).

Pero el modelo de cambio conceptual presenta algunas limitaciones que en Marín (1999, p. 110) se resumen como sigue:

- a) no contempla los cambios procesuales ni los referidos a aspectos generales de la cognición, relevantes para las adquisiciones conceptuales;
- b) sugiere un modo de aprendizaje basado en la simple permuta de ideas, que es bastante cuestionable;
- c) posee un campo de aplicación restrictivo y su validez es discutible;
- d) carece de una visión analítica del proceso de adquisición de nuevos conocimientos.

Oliva (1999) afirma que existe “más de un mecanismo de cambio conceptual” (p. 97) y “que la mayoría de las críticas vertidas tienen en su origen la escasa capacidad de estos modelos para esclarecer cuáles son los procesos internos que se producen durante el cambio de una idea por otra, dado que se han centrado en las condiciones del cambio

pero han aclarado poco acerca de los mecanismos que a través del mismo operan.”(p. 104).

Según Marín (1999) “la fuerte difusión de la propuesta de cambio conceptual facilita caer en el tópico usual de considerarlo como sinónimo de aprendizaje; de ahí se sigue que tipos de cambio conceptual sean usados como sinónimos de tipos de aprendizaje”(p. 110).

- **El aprendizaje como un proceso de investigación dirigida**

De acuerdo con Caamaño (2003) la educación por medio de investigaciones dirigidas crea la oportunidad para los estudiantes de participar en un aprendizaje activo, centrado en las preguntas y en la curiosidad. Según Gil (1993) citado por Campanario y Moya (1999) a diferencia del aprendizaje por descubrimiento no se trata de reducir todo al aprendizaje de un método científico “como conjunto de reglas perfectamente definidas que se aplican mecánicamente” sino de “descargar los programas de ciencias de contenidos puramente conceptuales y prestar más atención a los aspectos metodológicos, al estudio de la naturaleza del conocimiento científico, a los procesos de construcción del mismo y a la relación ciencia-tecnología-sociedad (p. 186).

Investigar es una modalidad para conseguir el aprendizaje, que implica un proceso de exploración del mundo natural o material y se lleva a cabo por la proposición de preguntas y la búsqueda de respuestas para la nueva comprensión.

Las investigaciones se refieren a las actividades de los estudiantes, durante las cuales se desarrollan el conocimiento y la comprensión de las ideas científicas, así como la comprensión de cómo los científicos estudian el mundo natural.

En cuanto a los inconvenientes de esta metodología Campanario y Moya (1999) subrayan la gran cantidad de tiempo que exige, la excesiva simplificación de las situaciones planteadas, las dificultades conceptuales y de procedimiento por parte de los alumnos, la actitud no siempre favorable de los mismos con respecto a los nuevos enfoques innovadores.

Una vez mostrada la problemática y el marco teórico, a continuación se aborda el estudio empírico con el propósito de establecer si esa realidad aportada en la literatura se manifiesta en una muestra incidental de alumnos.

4. Materiales y métodos

Uno de los propósitos del presente trabajo es investigar sobre los conocimientos de los jóvenes sobre la localización y la estructura del material hereditario.

El sistema escolar italiano prevé, según el decreto legislativo del 19 febrero 2004, n. 59, así titulado: «Definición de las normas generales relativas a la escuela de la infancia y al primo ciclo de la instrucción, según el artículo 1 de la ley 28 marzo 2003, n. 53» que en esta fase los alumnos aprendan las nociones básicas de genética y de la reproducción de los seres vivos.

En el caso de la normativa educativa española, estos contenidos son abordados en diferentes materias y diferentes cursos. En la tabla 3 se muestra la normativa.

Tabla 3. Distribución de los contenidos curriculares referentes a genética en Secundaria

Curso	materia	Obligatoriedad	Contenidos	Normativa
4º ESO	Biología-Geología	Optativa	Bloque 3: <i>La evolución de la vida</i>	Real Decreto 1631/2006 de Enseñanzas mínimas de la ESO
1º Bach	Ciencias del Mundo Contemporáneo	Común	Bloque 3: <i>Vivir más, vivir mejor</i>	Real Decreto 1467/2007 de Enseñanzas mínimas de Bachillerato
2º Bach	Biología	Modalidad Ciencia y Tecnología	Bloque 3: <i>la herencia. Genética molecular</i>	

Para ello se utilizó un cuestionario de 15 preguntas modificado parcialmente por Iñiguez Porras (2005). El cuestionario consta de siete preguntas abiertas y ocho preguntas cerradas y ha sido entregado a 32 estudiantes italianos de catorce años y a 46 estudiantes españoles de 4º de la ESO, 1º y 2º de Bachillerato.

4.1. Características de los centros educativos y de la muestra

Los alumnos italianos que han hecho el cuestionario cursan el tercer y último año de la escuela secundaria de primer grado (terza media) en el instituto “R. Fucini” en Pisa.

Las tres clases de alumnos españoles pertenecen al “Colegio Fundación Caldeiro”, un centro concertado que se sitúa en Madrid en el barrio de las Ventas. El Centro tiene tres líneas por curso, desde primero de Infantil a cuarto de Secundaria y dos líneas en el Bachillerato. Los alumnos del cuarto curso de la ESO han elegido la asignatura optativa

de Biología y Geología (formando una terna con otras dos) y los alumnos de Bachillerato pertenecen a la modalidad Ciencias y Tecnologías.

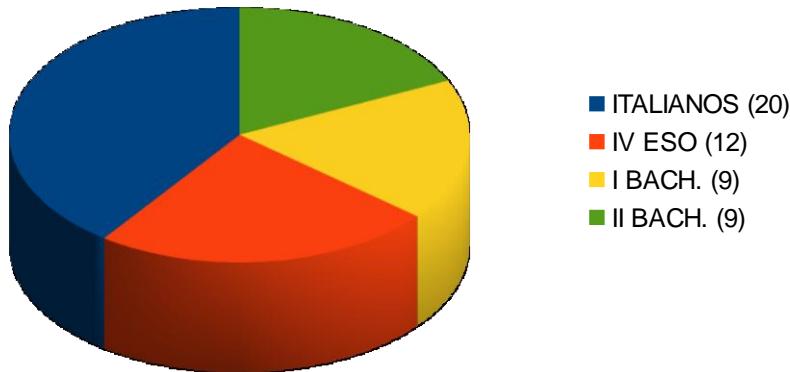


Figura 2. Distribución de alumnos italianos y españoles que han llenado el cuestionario divididos según el curso al que asisten durante el curso lectivo (2012-13)

4.2. Instrumento de recogida de datos

El cuestionario se elaboró a través de la plataforma en línea de Google Docs y el enlace (anexos I y II) fue enviado por correo electrónico.

La decisión de proponer el cuestionario de Iñiguez Porras (2005) se basa en el hecho de que se compone de preguntas abiertas y de preguntas cerradas y se basa por tanto en un análisis cuantitativo y cualitativo.

Iñiguez Porras (2005) cita Whandersee et al. (1987) que realizaron un estudio de las preconcepciones de los estudiantes y afirmaron que los métodos más comúnmente utilizados para este tipo de estudio son: entrevista, solución de problemas, cuestionarios con preguntas abiertas o cerradas.

Acorde con Lewis et al. (2000), Mills Shaw et al. (2008) e Iñiguez Porras (2005) las preguntas han sido clasificadas en cinco áreas curriculares (Tabla 4).

Tabla 4. Dimensiones del cuestionario

Área curricular	Items
Estructura celular de los seres vivos	1, 2
Concepto de información hereditaria	3, 4, 5
Función de los cromosomas	6, 7, 8
Estructura y localización de los cromosomas	9, 10, 11, 12
Localización y estructura de los genes	13, 14, 15

4.3. Tratamiento estadístico de los datos

Los resultados se han expresado en porcentajes. Para la expresión de los resultados se han utilizado gráficos de columna que se utilizan para comparar los diferentes valores de cada variable estudiada.

En las investigaciones sobre Didáctica de las Ciencias se utiliza tanto la metodología cuantitativa como la cualitativa. En este estudio han sido combinadas ambas metodologías de manera que la comprensión global de los resultados se hace necesaria cuando se observan los dos enfoques, ya que no quedan desligados uno del otro.

5. Resultados y análisis

Este estudio fue diseñado para investigar la comprensión de los jóvenes y sus actitudes hacia la genética. Se supone que este será el conocimiento y la comprensión que se llevarán con ellos a la vida adulta.

En ese capítulo se muestran los resultados obtenidos lo largo de la investigación divididos en las diferentes áreas curriculares ilustradas en la tabla 4.

Estructura celular de los seres vivos

En este párrafo mostramos los resultados obtenidos con las preguntas 1 y 2 sobre las concepciones del alumnado acerca de la estructura celular de los seres vivos y la localización de los cromosomas. Los resultados obtenidos coinciden con aquellos de otros estudios realizados sobre este ámbito para poner de manifiesto la dificultad que tienen los alumnos en conocer la ubicación de los cromosomas (Lewis y Wood-Robinson, 2000; Lewis, Leach y Wood-Robinson, 2000). Como se muestra en la figura 3 el 98% de los alumnos (56% españoles y 42% italianos) afirma que todos los animales están formados por células mientras que el porcentaje baja hasta el 90% por las plantas (50%españoles y 40% italianos) y al 76% por las setas (40%españoles y 36% italianos). De hecho, como revelan estudios como lo de Wood-Robinson y Lewis, Leach & Driver (1998), muchos alumnos creen que los animales son los principales poseedores de células y que las plantas, las setas y todas las especies menos cercanas a ellos carecen de células.

El trabajo de Banet y Ayuso (1995) aparece un porcentaje importante de alumnos que considera que los humanos no tenemos cromosomas y esto se manifiesta también en el presente trabajo donde el 14% de los alumnos (8%españoles y 6% italianos) afirma que solo algunos animales tienen cromosomas. La pregunta 2 en particular muestra una de las preconcepciones erróneas de los alumnos descritas en la tabla 2 , la creencia que no todos los seres vivos tienen información genética. Respectivamente el 16% (12%españoles y 4% italianos) y el 12% (8%españoles y 4% italianos) de los alumnos creen que solo algunas plantas y setas tienen cromosomas mientras que el 50% (28%españoles y 22% italianos) afirma que las setas no lo tienen. El otro 6% (4%españoles y 2% italianos) no ha sabido responder.

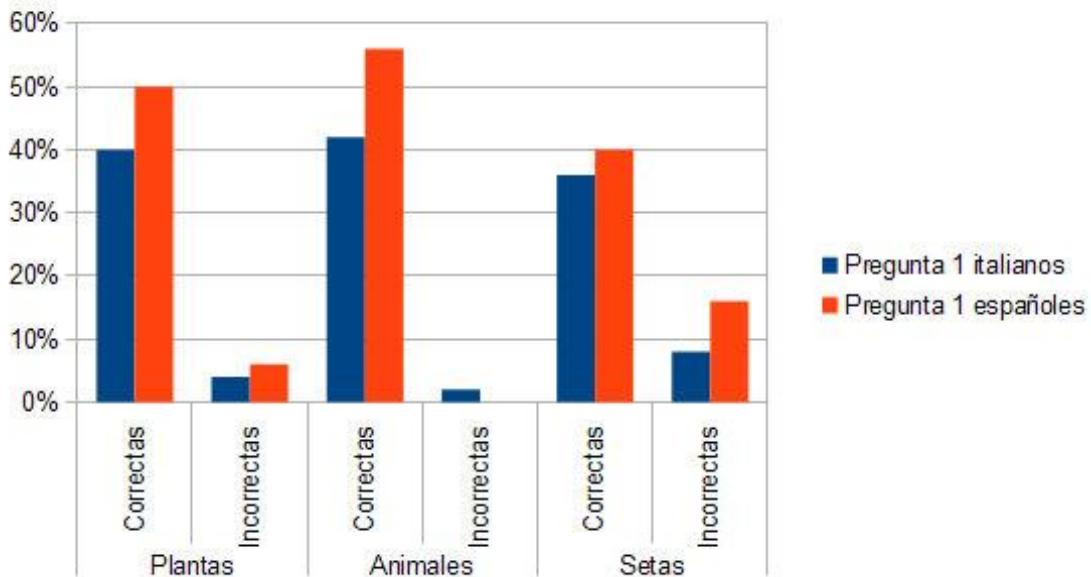


Figura 3. Porcentajes de aciertos y errores de alumnos italianos y españoles relativos a la pregunta 1
“Indica con una cruz los organismos del cuadro que creas que tienen células”

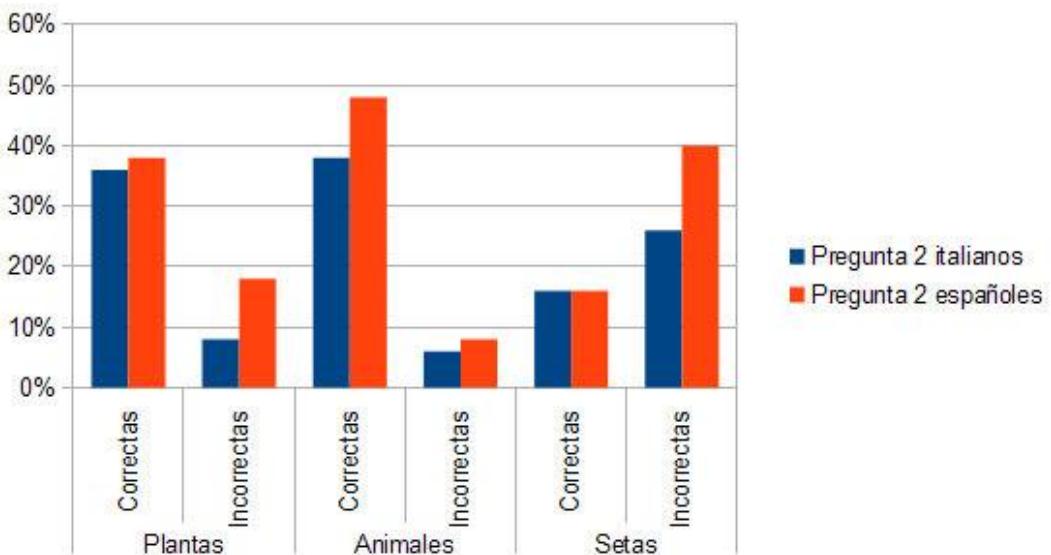


Figura 4. Porcentajes de aciertos y errores de alumnos italianos y españoles relativos a la pregunta 2
“Indica con una cruz los organismos del cuadro que creas que tienen cromosomas”

Concepto de información hereditaria

Las preguntas 3, 4 y 5 han permitido detectar las ideas del alumnado sobre la naturaleza de los genes y del material genético. De las respuestas hemos detectado errores conceptuales sobre la estructura del material hereditario, como se trasmite la información hereditaria y la organización jerárquica del material hereditario. De

acuerdo con cuanto afirman Mills Shaw et. al. (2008) los alumnos a menudo no son capaces de definir correctamente ADN, cromosomas y genes y a veces utilizan los tres términos de manera intercambiable.

Como mostrado en la figura 5 a la pregunta 3 ¿Que células tienen ADN? solo el 68% (30%españoles y 38% italianos) de los alumnos ha respondido que todas tienen ADN. Otro 16% (12%españoles y 4% italianos) piensa que el ADN solo se encuentra en las células sexuales y el 14% (todos españoles) hace referencia a las células eucariotas. El restante 2% (todos italianos) ha resultado completamente incorrecto por hacer referencia a orgánulos de la célula como mitocondrias y cloroplastos.

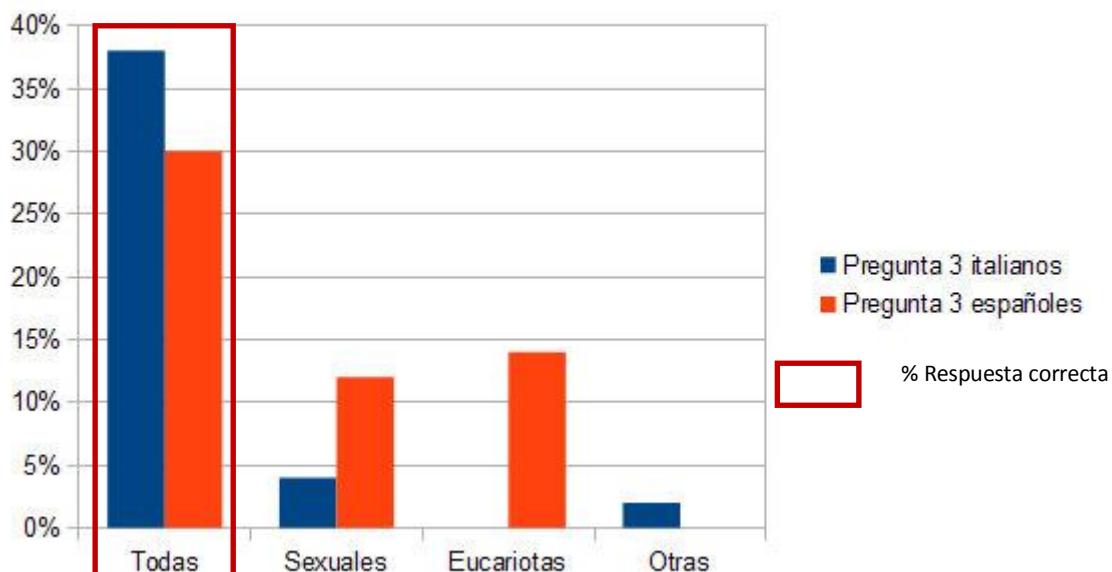


Figura 5. Porcentajes de alumnos italianos y españoles relativos a la pregunta 3 “¿Que células tienen ADN?” (respuesta correcta “Todas”)

Siguiendo el esquema propuesto en la tabla 5 la pregunta 4 ha sido valorada con el siguiente índice numérico.

Tabla 5. Evaluación de la pregunta 4

Categoría	Cuantificación	Categoría	Cuantificación
Hace referencia a información	2	No utiliza conceptos científicos	0
No hace referencia a información	1	Conceptualmente correcta	3
Utiliza conceptos científicos	1	Conceptualmente incorrecta	0

Sobre una valoración máxima posible de 7 la media calculada para la respuesta 4 ha sido de 4,8 para los alumnos españoles y 4,6 para los alumnos italianos. De hecho en el 64% de las respuestas los alumnos relacionaban la información hereditaria con la transferencia de los caracteres pero en la mayoría de los casos no han especificado el cómo.

Los resultados obtenidos con la pregunta 5 ¿Que células contienen información hereditaria? coinciden con los trabajos de Hackling y Treagus (1984), Banet y Ayuso (1995) e Iñiguez Porras (2005). La mayor parte de los alumnos (60% total, 34% españoles y 26% italianos) consideran que la información hereditaria se encuentra en las células sexuales. Aunque esta respuesta no sea estrictamente incorrecta se trata de un error conceptual porqué entre las opciones se ofrecía la posibilidad de decidir que todas las células tienen información hereditaria.

Función, estructura y localización de los cromosomas

Las preguntas 6, 7 y 8 han permitido detectar las ideas previas de los alumnos acerca la función de los cromosomas y las preguntas 9, 10, 11 y 12 cerca su estructura y situación.

Como ya se ha descrito anteriormente los alumnos no tienen definiciones correctas acerca del ADN, cromosomas y genes. De hecho a la pregunta ¿Que son los cromosomas? el 82% de los alumnos (50% españoles y 32% italianos) ha sido capaz de relacionarlos con el ADN pero en muchos casos no correctamente por considerar ellos mismos los componentes del ADN. De acuerdo con Lewis y Wood-Robinson (2000) en los resultados obtenidos el 10% de los alumnos (4% españoles y 6% italianos) confunde los términos célula y cromosoma.

La figura 6 muestra los resultados obtenidos con la pregunta 7 ¿Qué función tienen los cromosomas?. El 68% de los alumnos (38% españoles y 30% italianos) ha sido capaz de relacionarlos con la determinación de las características aunque se puedan encontrar errores conceptuales o informaciones incompletas. El 12% (10% españoles y 2% italianos) por ejemplo hace referencia solo a la mitosis y el 14% (6% españoles y 8% italianos) solo a la determinación del sexo. El restante 6% (2% españoles y 4% italianos) solo menciona la transferencia de información.

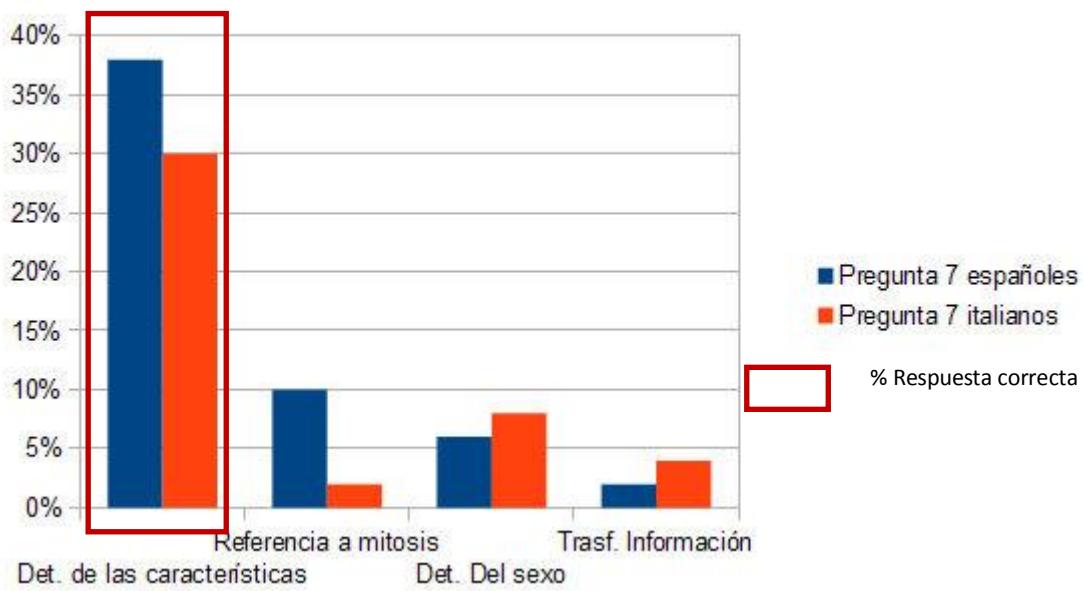


Figura 6. Porcentajes de alumnos italianos y españoles relativos a la pregunta 7 “*¿Qué función tienen los cromosomas?*” (Respuesta correcta “Determinación de los caracteres hereditarios”)

Los resultados de las respuestas 8 y 9 confirman lo que ya se ha detectado con la pregunta 5, la concepción errónea que las células sexuales son las únicas portadoras de la información hereditaria. Esta idea desemboca en la concepción de que solo en algunas células los cromosomas son realmente funcionales. A la pregunta 9 (figura 7) de hecho solo el 42% ha respondido que los cromosomas hacen su función en todas las células mientras un 46% hace referencia exclusivamente a las células sexuales. El porcentaje sube hasta el 74% y el 84% respectivamente cuando se pregunta de localizar los cromosomas sexuales (Figura 8) y donde hacen su función (Figura 10).

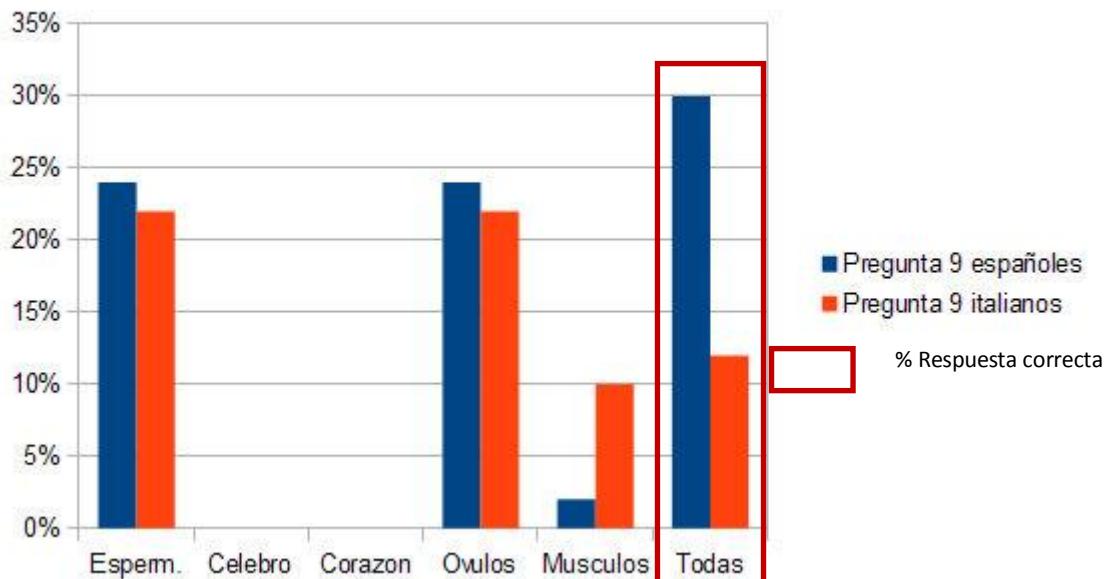


Figura 7. Porcentajes de alumnos italianos y españoles relativos a la pregunta 9 “*Indica que células tienen cromosomas*” (Respuesta correcta “Todas”)

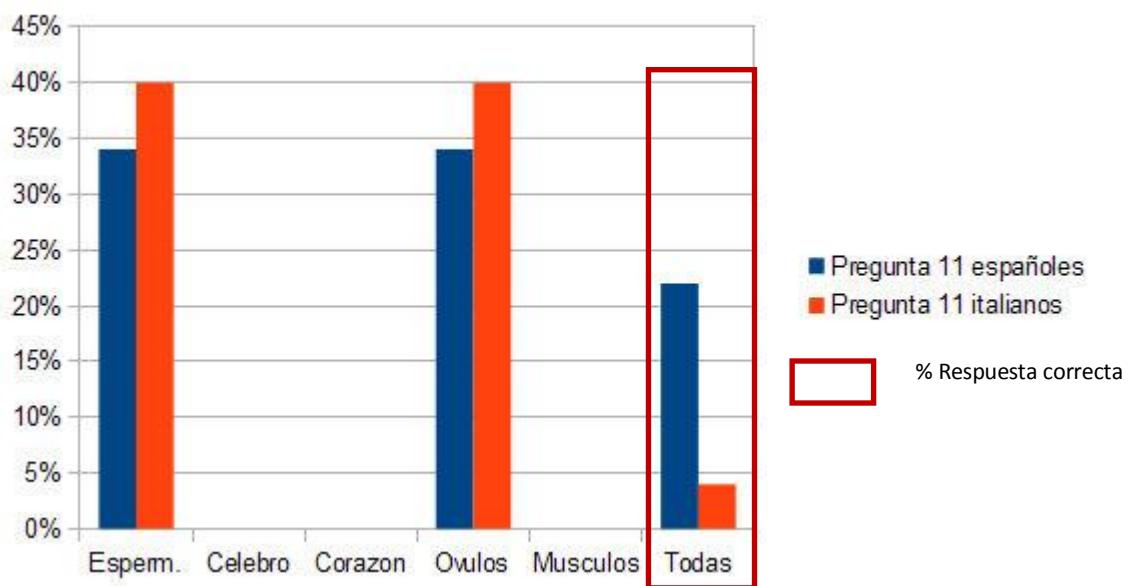


Figura 8. Porcentajes de alumnos italianos y españoles relativos a la pregunta 11 “*¿Qué células tienen cromosomas sexuales?*” (Respuesta correcta “Todas”)

A la pregunta 10 (Figura 9) ¿Dónde se encuentran los cromosomas? El 64% (30% españoles y 34% italianos) de los alumnos ha respondido que los cromosomas están en la célula (sin especificar de qué tipo) o en el núcleo (20%, 16% españoles y 4%

italianos). Se ha encontrado un 12% de alumnos (8% españoles y 4% italianos) que han respondido que los cromosomas se encuentran en los genes.

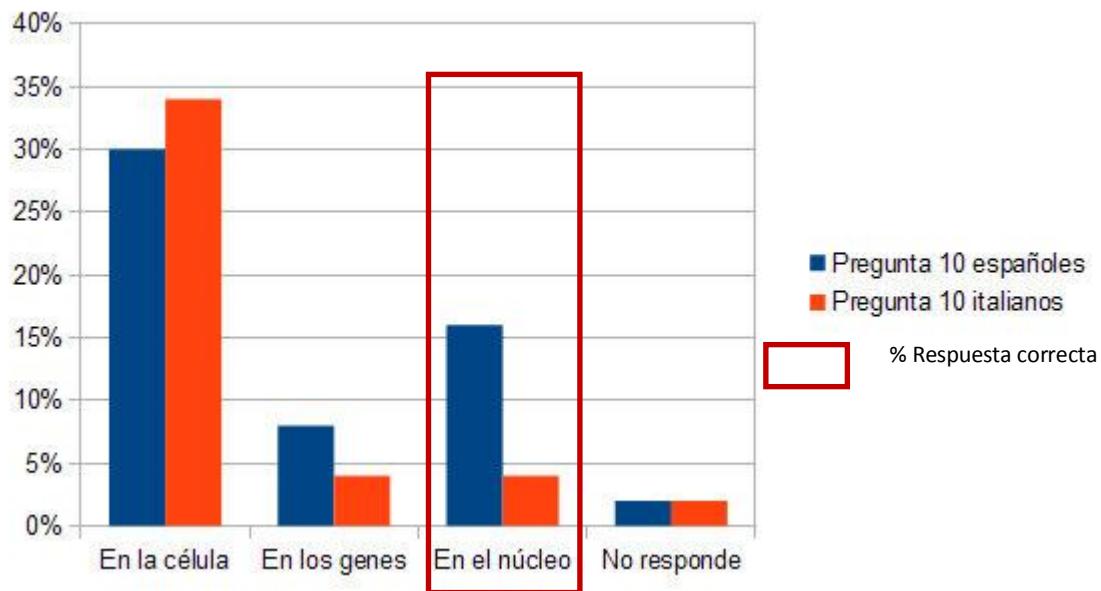


Figura 9. Porcentajes de alumnos italianos y españoles relativos a la pregunta 10 “*¿Dónde se encuentran los cromosomas?*” (Respuesta correcta “En el núcleo”)

Localización y estructura de los genes

Diversos estudios (Lewis y Wood-Robinson, 2000; Lewis et. al., 2000; Iñiguez Porras, 2005) han detectado la dificultad que presentan los alumnos en conocer la estructura y ubicación de los genes. A menudo los genes son considerados más grandes de los cromosomas (Lewis y Wood-Robinson, 2000) y a veces los términos resultan intercambiables.

A la pregunta 12 (figura 10) sobre en qué células hacen su función los cromosomas sexuales sólo un 15% de alumnos han contestado correctamente, el resto de alumnos se ha dividido entre los espermatozoides y los óvulos.

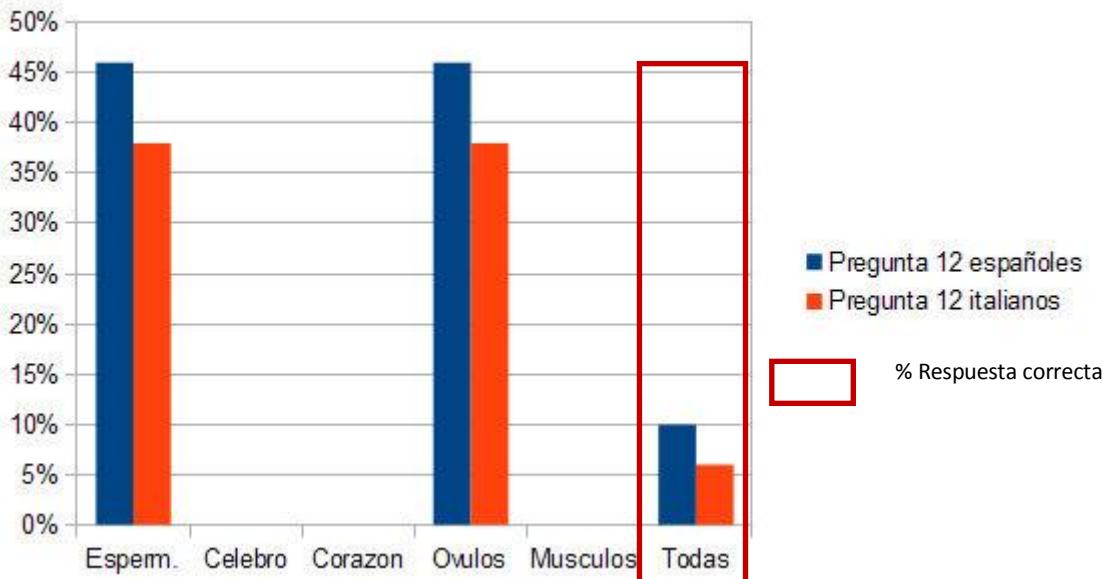


Figura 10. Porcentajes de alumnos italianos y españoles relativos a la pregunta 12 “*¿En qué células hacen su función los cromosomas sexuales?*” (Respuesta correcta “Todas”)

A la pregunta 13 (Figura 11) ¿Que son los genes? La mayoría ha identificado los genes como fuente de la información pero solo pocos tienen una clara comprensión de su localización física con una específica posición en los cromosomas.

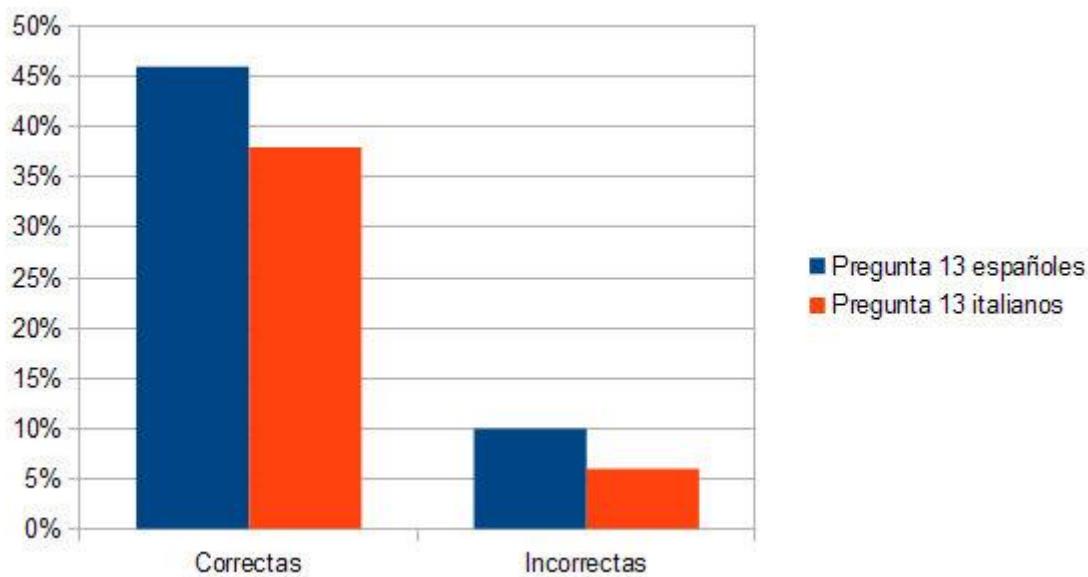
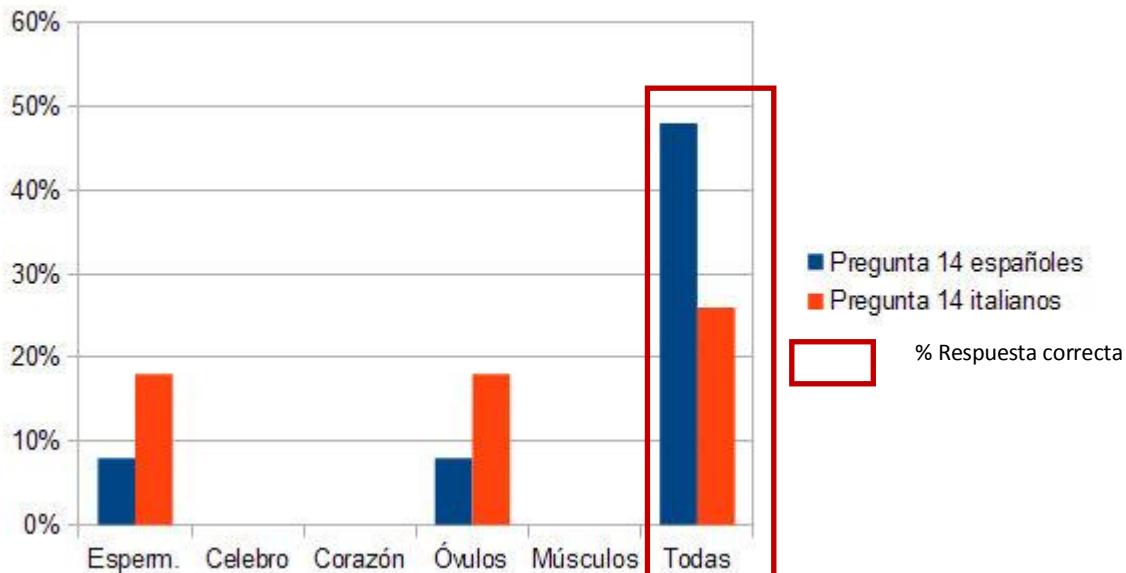


Figura 11. Porcentajes de aciertos y errores de alumnos italianos y españoles relativos a la pregunta 13 “*¿Que son los genes?*”

A la pregunta 14 ¿Qué células contienen genes?" (Figura 12) el 48% de los españoles y el 26% de los italianos ha respondido exactamente mientras queda un 8% de españoles y



un 18% de italianos que piensan que solo las células sexuales contienen genes.

Figura 12. Porcentajes de alumnos italianos y españoles relativos a la pregunta 14 “¿Qué células contienen genes?” (Respuesta correcta “Todas”)

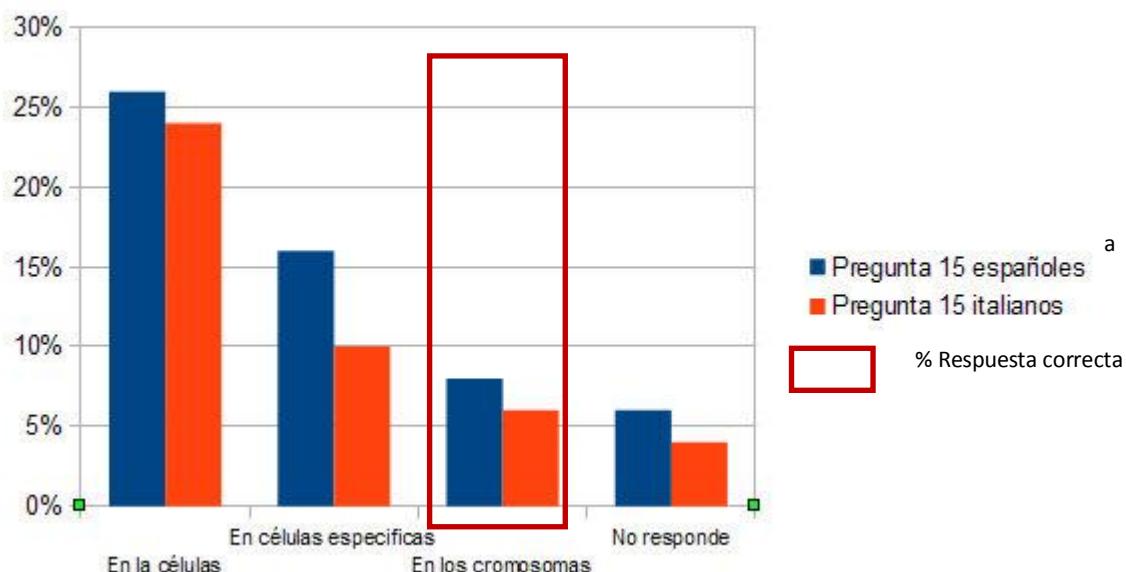


Figura 13. Porcentajes de alumnos italianos y españoles relativos a la pregunta 15 “¿Dónde se encuentran los genes?” (Respuesta correcta “En los cromosomas”)

Finalmente, a la pregunta 15 (figura 13) ¿Dónde se encuentran los genes? el 50% de los alumnos (26% españoles y 24% italianos) ha respondido de manera general “En la célula” y solo el 14% (8% españoles y 6% italianos) ha respondido correctamente especificando que se encuentran en los cromosomas.

6. Propuesta práctica

Tras el análisis de los datos se presenta una propuesta didáctica con la finalidad de favorecer el aprendizaje significativo de los contenidos curriculares referentes a genética de 4º ESO.

En la tabla 6 se muestran contenidos, criterios de evaluación y la contribución a la adquisición de las competencias básicas que se pueden lograr a través de ésta propuesta según el Anexo II del RD de Enseñanzas mínimas de Educación Secundaria Obligatoria.

Tabla 6. Contenidos, criterios de evaluación y competencias básicas que se abordan en la propuesta práctica

4º ESO de Ciencias de la Naturaleza (Real Decreto 1631/2006)	
Contenidos	Estudio del ADN: composición, estructura y propiedades. Valoración de su descubrimiento en la evolución posterior de las ciencias biológicas. Aproximación al concepto de gen. El código genético. Las mutaciones.
Criterios de evaluación	Conocer que los genes están constituidos por ADN y ubicados en los cromosomas, interpretar el papel de la diversidad genética (intraespecífica e interespecífica) y las mutaciones a partir del concepto de gen. Se pretende comprobar si el alumnado explica que el almacenamiento de la información genética reside en los cromosomas (...) y conoce el concepto molecular de gen, así como la existencia de mutaciones y sus implicaciones en la evolución y diversidad de los seres vivos.
Competencias básicas	Competencia en el conocimiento y la interacción con el mundo físico. Esta competencia está intrínsecamente ligada al estudio de la Biología y la Geología. Las actividades propuestas contribuyen al reconocimiento de la naturaleza, fortalezas y límites de la actividad investigadora como construcción social del conocimiento como al estudio de los fenómenos naturales generados o no por la acción humana, de modo tal de posibilitar la comprensión de sucesos, la predicción de consecuencias y la actividad dirigida a la mejora y preservación de las condiciones de vida propia, de las demás personas y del resto de los seres vivos. Competencia en el tratamiento de la información y competencia digital. En la propuesta didáctica propuesta se trabajará esta competencia en su aspecto no digital mediante la elaboración de esquemas, dibujos rotulados, resúmenes, tablas, gráficos, etc. Además se trabaja su aspecto digital a través del uso de ordenadores conectados en la red, contribuyendo a la enseñanza transversal de la tecnología de la información y la comunicación. Competencia en autonomía e iniciativa personal. En la unidad didáctica

	<p>propuesta se ofrece a los alumnos la posibilidad de presentar libremente, previa consulta con el profesor, trabajos u otro tipo de materiales sobre aspectos relacionados con los contenidos de la materia que les interesen especialmente. Estos trabajos se valorarán para subir la calificación en el caso de los alumnos que libremente los presenten, no siendo obligatorios para todos los alumnos.</p> <p>Competencia cultural y artística. Los conocimientos científicos básicos pueden considerarse como componente esencial de la cultura actual. El estudio de la genética contribuye a la adquisición de esta competencia de forma indudable. En cuanto a la faceta artística, en los dibujos o modelos propuestos debe prevalecer el aspecto descriptivo de los mismos sobre su aspecto artístico, por lo que la contribución de nuestra materia a dicha faceta es limitada.</p> <p>Competencia en comunicación lingüística. Se trabajará ejercitando la lectura (los alumnos leerán en voz alta durante las clases las respuestas que hayan elaborado correspondientes a los ejercicios realizados y lectura en silencio para estudiar la materia y entender cuestiones y ejercicios, principalmente como trabajo para casa) y la escritura (resolución de cuestiones, realización de resúmenes, esquemas y pruebas escritas). Además se avanzará en la adquisición por los alumnos de la terminología científica específica.</p>
--	--

En el campo de la didáctica escolar las finalidades de este trabajo son:

- Crear ciudadanos preparados para hacer frente a la realidad;
- Contribuir a la formación de un pensamiento crítico y racional;
- Formar individuos autónomos que dispongan de las herramientas culturales necesarias para la comprensión de los hechos de la naturaleza (conocimientos y habilidades);
- Promover una mentalidad de tipo científico en el pensamiento, en el razonamiento y en la curiosidad y fomentar el placer del conocimiento desconectados de las actividades de estudio, para entender las nuevas situaciones y tener más herramientas de interpretación.

Objetivos de aprendizaje

Conceptuales

- Identificar los componentes, la estructura primaria y tridimensional del ADN;
- Reconocer la función del ADN como una fuente de información para los seres vivos;

- Describir la secuencialidad de la transmisión de la información genética (replicación, transcripción, traducción);
- Distinguir el proceso de replicación del ADN;
- Identificar el concepto de gen y las características necesarias para su funcionamiento;
- Describir la relación entre el ADN, el ARN y las proteínas;
- Expresar el mecanismo de síntesis de proteínas a través de sus principales componentes moleculares;
- Entender las principales características de los cromosomas;
- Diferenciar por lo menos tres tipos de mutación genética y algunos efectos que pueden producir;

Procedimentales

- Aplicar correctamente las reglas de la hibridación de cadenas de ADN en escribir una secuencia complementaria;
- Asociar las características relativas al ADN, ARNm, ARNt y ribosomas;
- Describir el flujo de la información en los seres vivos;

Actitudinales

- Utilizar un lenguaje científico de una manera apropiada;
- Reflexionar sobre la relación entre las mutaciones y las substancias mutágenas;
- Argumentar sobre las ventajas y los puntos críticos inherentes a las células madre y a la biotecnología;
- Ser conscientes de que el respeto por la naturaleza es la única manera de preservar la biodiversidad como un patrimonio genético universal;
- Apoyar las propias opiniones con razonamientos científicos;
- Saber trabajar en equipo con eficacia

Secuenciación de contenidos

En el bloque 3, “La evolución de la vida”, de los contenidos de biología y geología del cuarto curso de la ESO del Real Decreto 1631/2006, por el que se establecen las enseñanzas mínimas correspondientes a la Educación Secundaria, se dan una serie de contenidos a desarrollar. Estos contenidos empiezan desde “La célula” hasta llegar al gen y al ADN. Aunque no sea obligatorio para los profesores seguir esta línea, esto es lo que normalmente suele pasar. Las explicaciones van desde el más grande hasta el más pequeño. Se explican la mitosis y la meiosis, por ejemplo, antes de explicar el ADN.

La actividad didáctica propuesta en este trabajo se basará en la introducción de los alumnos al conocimiento de la genética molecular empezando de la información genética para hablar en seguida de la célula y de la herencia.

Metodología

- Se basará en la concepción constructivista del proceso de enseñanza-aprendizaje, considerando las ideas previas de los alumnos para cambiarlas o utilizarlas como anclaje para nuevos conocimientos, según sea necesario.
- Se propiciará la participación activa del alumno en su aprendizaje, reduciéndose a lo esencial el aprendizaje memorístico (términos científicos, algunos conceptos, etc.). El modelo de trabajo habitual será la combinación de breves explicaciones del profesor seguidas de realización de actividades por los alumnos.
- Se potenciará la funcionalidad del aprendizaje, es decir se aplicará lo aprendido a situaciones reales habituales en la vida cotidiana, siempre que sea posible.
- Se desarrollará la capacidad para el aprendizaje autónomo.
- Se favorecerá el desarrollo de la capacidad para el trabajo en equipo. Algunas actividades se realizarán en grupo y otras de forma individual.
- Se atenderá a la diversidad del alumnado realizando actividades de varios niveles de dificultad.

La metodología se desarrollará mediante una secuencia de actividades, que está planteada como un calendario de trabajo en el que se indican las actividades a realizar en cada sesión de clase.

Recursos didácticos

Para realizar las actividades los alumnos deberán contar con el cuaderno de prácticas, fotografías de hombres y mujeres que pertenecen a diferentes áreas geográficas, pizarra digital, template de ADN (anexo III); instrucciones (anexo IV), fichas 1 y 2, tabla de aminoácidos y recursos informáticos (ordenadores con conexión a internet).

Tipos de actividades

N. SESIÓN	ACTIVIDAD	TIPO DE ACTIVIDAD	RECURSOS
1	1. Brainstorming	Motivación	Pizarra, cuaderno del alumno
2	2. Modelo de papel de ADN	Iniciación	Template de ADN (anexo III); instrucciones (anexo IV);
3	3. Un poquito de historia	Desarrollo	Ordenador conectado a internet, cuaderno de práctica de los alumnos
4	4. Hablamos de genes	Desarrollo	Aula de informática con ordenadores conectados a internet, cuaderno de práctica de los alumnos, imágenes de ADN y ARN
5	5. Todos diferentes, todos iguales	Ampliación	Fotografías de hombres que pertenecen a diferentes áreas geográficas, cuaderno de práctica de los alumnos.
6 7	6. Exploramos la duplicación del ADN y el código genético	Consolidación	Fichas 1 y 2, tabla de aminoácidos

A continuación se indica la distribución temporal de los contenidos y las actividades a realizar en cada sesión de clase, así como algunas precisiones metodológicas concretas. Se han diseñado 6 actividades que para su descripción siguen el siguiente formato:

- Descripción de la actividad
- Objetivos de aprendizaje
- Estrategia de aprendizaje, por ejemplo: aprendizaje orientado a proyectos, juegos-simulación, aprendizaje cooperativo,...
- Recursos didácticos
- Temporalización

- Agrupamiento
- Desarrollo de la actividad
- Evaluación

ACTIVIDAD 1: Brainstorming

• Descripción y finalidad de la actividad

Se mostrará el vídeo Bionodo I - Introducción. Historia de la Genética <http://www.youtube.com/watch?v=MIootoosXwM> y a continuación se repartirá a los alumnos un cuestionario inicial que se muestra en el Anexo II y tras ser completado por cada alumno serán recogidos. A continuación se iniciará una lluvia de ideas que estará orientada a tratar de detectar si las preconcepciones erróneas recogidas en la literatura se manifiesta en el aula. Las ideas aportadas por los alumnos (acertadas o no) se irán anotando en la pizarra, así como, las posibles correcciones a medida que avance el debate. Finalmente, se devolverá los cuestionarios a cada alumno para que, utilizando un bolígrafo de diferente color, pueda hacer las correcciones oportunas y así pueda tener lugar el conflicto cognitivo que pueda originar un cambio conceptual y además pueda contribuir a favorecer sus estrategias metacognitivas.

• Objetivo de la actividad

Detectar las ideas previas de los alumnos en relación a la información genética

• Objetivos de aprendizaje

- Conceptuales:
 - ✓ Definir correctamente los términos de gen, cromosoma, ADN, ARN, proteínas.
- Procedimentales:
 - ✓ Participar activamente en la actividad de brainstorming
 - ✓ Anotar las definiciones de los términos científicos antes y después de la actividad
- Actitudinales:

- ✓ Reconocer los errores propios y ajenos cometidos como una posibilidad de aprendizaje
- ✓ Valorar la importancia del trabajo cooperativo
- **Estrategia de aprendizaje:** aprendizaje cooperativo
- **Recursos didácticos:** Cuestionario inicial de detección de ideas previas
- **Temporalización:** 1 sesión
- **Agrupamiento:** grupal
- **Evaluación:** se evaluará la participación activa

ACTIVIDAD 2: Modelo de papel de ADN

- **Descripción y finalidad de la actividad**

Generalmente la estructura del ADN se ilustra como una escalera de caracol. Para demostrar que, de hecho, la comparación no es exacta será construido por los estudiantes un modelo de papel (origami) que reproduce fielmente la estructura del ADN.

- **Objetivos de aprendizaje**

- Conceptuales:

- ✓ Comprender la estructura del ADN

- Procedimentales:

- ✓ Desarrollar destreza manual en la realización del modelo de ADN y elaborar el modelo de ADN

- Actitudinales:

- ✓ Reconocer el valor de los materiales utilizados

- **Estrategia de aprendizaje:** trabajo práctico

- **Recursos didácticos:** molde de ADN (anexo III); instrucciones (anexo IV);

- **Temporalización:** 1 sesión

- **Agrupamiento:** individual
- **Evaluación:** se evaluará la comprensión por parte de los estudiantes de la estructura del ADN y la precisión en la construcción del modelo;

ACTIVIDAD 3. Un poquito de historia

- **Descripción y finalidad de la actividad**

Esta actividad se realizará en el aula de informática. Se facilitará a los alumnos, agrupados por tríos, los nombres de importantes científicos/as que han contribuido al descubrimiento del ADN para que busquen acerca de los hitos conseguidos por ellos. Posteriormente, se realizará una puesta en común en clase, en la que todos los alumnos participaran.

- **Objetivos de aprendizaje**

- Conceptuales:

- ✓ Reconstruir las etapas de la historia de la ciencia que han llegado al descubrimiento del ADN;

- Procedimentales:

- ✓ Manejar con destreza el material informático y buscar información adecuada;
 - ✓ Poner cuidado a la calidad de los contenidos de la presentación;
 - ✓ Realizar una exposición oral

- Actitudinales:

- ✓ Asumir que la ciencia es un proceso continuo y fruto de la colaboración y aportaciones de muchas personas.

- **Estrategia de aprendizaje:** aprendizaje cooperativo
- **Recursos didácticos:** aula de informática con ordenadores conectados en la red; cuaderno de práctica de los alumnos.

- **Temporalización:** 1 sesión
- **Agrupamiento:** grupos de 3 alumnos
- **Evaluación:** se evaluará la calidad de las fuentes seleccionadas por los alumnos, la calidad de la exposición y la atención y participación durante la exposición de los otros grupos.

ACTIVIDAD 4: Hablamos de genes

- **Descripción y finalidad de la actividad**

Se plantea una situación hipotética en la que los alumno son especialistas forenses, que utilizan las "huellas genéticas" para identificar a los delincuentes y a las víctimas de actos violentos, deben llevar a cabo una búsqueda en Internet sobre lo que son las "huellas genéticas", como se detectan y en qué otros ámbitos de la ciencia se utilizan.

- **Objetivos de aprendizaje**

- Conceptuales:

- ✓ describir la estructura y la función de los genes y cromosomas;
 - ✓ identificar las estructuras de ADN y ARN y explicar sus funciones;
 - ✓ distinguir el código genético y explicar cómo funciona;

- Procedimentales:

- ✓ desarrollar la alfabetización digital y buscar información útil en la red.

- Actitudinales:

- ✓ valorar la importancia de la genética en diferentes ámbitos de aplicación;
 - ✓ entender que todos los genes de un individuo constituyen su patrimonio genético único.

- ✓ desarrollar conductas que suelen asociarse al trabajo científico tales como la búsqueda de información exhaustiva, la capacidad crítica, la necesidad de verificación de los hechos, el cuestionamiento de lo obvio y la apertura ante nuevas ideas.
- **Estrategia de aprendizaje:** aprendizaje cooperativo y simulación
- **Recursos didácticos:** Aula de informática con ordenadores conectados a internet, cuaderno de práctica de los alumnos, imágenes de ADN y ARN
- **Temporalización:** 1 sesión
- **Agrupamiento:** grupos de 3 alumnos
- **Evaluación:** El alumno deberá ser capaces de:
 - explicar con términos simples, que cada cromosoma se compone de una serie de genes, y que estos están constituidos por porciones de ADN;
 - distinguir en las imágenes propuestas por el profesor la doble hélice de la estructura del ADN y la estructura del ARN

ACTIVIDAD 5. Todos diferentes, todos iguales

- **Descripción y finalidad de la actividad**

Los alumnos serán guiados a entender que las características de un individuo se determinan por el tipo de genes localizados en los cromosomas contenidos en sus células. Por ejemplo, los que aparecen grandes diferencias entre los grupos humanos, como el color de la piel, son el resultado de pequeños cambios en los genes: por lo tanto, entre un africano y un japonés no existen importantes diferencias genéticas. Por esta razón, es más correcto hablar de "grupos étnicos" en lugar de razas.

- **Objetivos de aprendizaje**
 - Conceptuales
 - ✓ Entender el concepto de variabilidad genética
 - Procedimentales
 - ✓ Elaborar informes sobre las actividades realizadas

- ✓ Exponer oralmente el trabajo realizado
- Actitudinales
 - ✓ Comprobar la inconsistencia científica de los estereotipos raciales
 - ✓ Respectar las ideas y propuestas de los demás
- **Estrategia de aprendizaje:** juego didáctico
- **Recursos didácticos:** Fotografías de hombres que pertenecen a diferentes áreas geográficas, cuaderno de práctica de los alumnos.
- **Temporalización:** 1 sesión
- **Agrupamiento:** grupos de 3-4 alumnos
- **Desarrollo de la actividad:** Los alumnos, divididos en pequeños grupos, serán involucrados en un juego de cartas sobre las poblaciones del mundo, en el cual cada equipo, seleccionando e identificando unos criterios, debe clasificar los rostros de personas de todo el mundo en grupos homogéneos. Cada grupo va a utilizar diferentes criterios de agrupación y el resultado será que los individuos pueden caer en grupos muy diferentes unos de otros. Esto demuestra el hecho que no se puede clasificar a los hombres en razas humanas.
- **Evaluación:** se valorará la atención y la participación así como la adquisición del concepto de variabilidad genética

ACTIVIDAD 6 : “Exploramos la duplicación del ADN y el código genético ”

● Descripción y finalidad de la actividad

Los alumnos comprenderán cómo las características de una célula son escritas en el lenguaje de las bases nitrogenadas constitutivas de los genes, mientras que las proteínas, que constituyen las células y activan las reacciones que hacen posible la vida, están escritas en el lenguaje de los aminoácidos. Comprenderán también que el código genético se basa sobre la correspondencia entre una o más secuencias de tres bases nitrogenadas y un solo aminoácido y como el lector del código sea la molécula de ARN.

- **Objetivos de aprendizaje**

- Conceptuales:

- ✓ Distinguir las diferentes funciones de los tres tipos de ARN
 - ✓ Entender que el código genético es la correspondencia entre los diferentes tripletes y los aminoácidos

- Procedimentales:

- ✓ Rellenar la ficha correspondiente (Anexos V y VI)

- Actitudinales:

- ✓ Utilizar técnicas para la resolución de problemas

- **Estrategia de aprendizaje:** aprendizaje basado en problemas
- **Recursos didácticos:** fichas suministradas por el profesor, una tabla de aminoácidos con el código genético del ARNm
- **Temporalización:** 2 sesiones
- **Agrupamiento:** individual
- **Desarrollo de la actividad:** Los estudiantes deben completar las ficha suministradas
- **Evaluación:** se evaluará la aplicación de estrategias propias del trabajo científico en la resolución de problemas.

7. Conclusiones

Tras la revisión bibliográfica realizada se considera que:

- Los principales aspectos que definen el constructivismo son: relacionar los conocimientos previos de los alumnos con los nuevos conocimientos mediante el uso de actividades que refuerzen la participación activa, la autonomía, reflexión y creatividad para así lograr un aprendizaje significativo de los contenidos.
- El estudio de la genética molecular en secundaria obligatoria es de gran importancia en la sociedad actual debido a los avances ocurridos en las últimas décadas. El uso de términos específicos se ha extendido en el léxico común y a menudo de forma inadecuada entre los jóvenes. Estos posibilitan el desarrollo de preconcepciones erróneas que resultan difíciles de detectar y corregir a través de un modelo de enseñanza de tipo transmisión-recepción.

Con respecto al estudio exploratorio sobre una muestra incidental se concluye que:

- ✓ la muestra de estudiantes italianos y españoles no han logrado aprender los conocimientos básicos de genética y siguen manteniendo las concepciones erróneas típicas de esta área de la ciencia.
- ✓ Las concepciones detectadas en los alumnos se refieren principalmente a:
 - estructura, localización y función de cromosomas, genes y ADN
 - organización jerárquica del material hereditario
 - trasmisión del material hereditario

Finalmente, se ha aportado una propuesta didáctica que bajo un enfoque constructivista incide en las deficiencias conceptuales aportadas en la literatura y detectas en la muestra, por tanto se considera que se ha logrado alcanzar el objetivo general de reflexionar acerca la enseñanza usual y la problemática asociada al aprendizaje de los contenidos referentes a genética en el tramo de enseñanza obligatorio.

8. Líneas de investigación futuras

A la luz de los resultados obtenidos es necesario seguir investigando en los mecanismos y procesos necesarios para lograr un cambio conceptual en los alumnos sobre:

- La presencia de la información hereditaria en todas las células
- La estructura y función de los cromosomas
- Los procesos de trasmisión del material hereditario

9. Referencias bibliográficas

- Ausubel, D.P. (1960). The use of advance organizers in the learning and retention of meaningful verbal material. *Journal of Educational Psychology*, Vol 51(5), 267-272. doi: [10.1037/h0046669](https://doi.org/10.1037/h0046669)
- Ausubel, D. P. (1968). *Educational Psychology. A cognitive view*. New York: Holt, Rinehart & Winston.
- Banet, E. & 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.
- Bruner, J. (1996). *Toward a Theory of Instruction*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Caamaño A. (2003) Los trabajos prácticos en ciencias, en Jiménez Aleixandre M^a. P., Caamaño A., Oñorbe A., Pedrinaci E., de Pro A. *Enseñar ciencias* (pp. 95-118). Barcelona: Graó.
- Campanario, J.M. & Moya, A. (1999). ¿Cómo enseñar ciencias? Principales tendencias y propuestas. *Enseñanza de las Ciencias*, 17, 179-192.
- Campanario, J.M. & Otero, J. (1998). Más allá de las ideas previas como dificultades de aprendizaje: las pautas de pensamiento, las concepciones epistemológicas y las estrategias metacognitivas de los alumnos de ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 18(2), 155 – 169.
- Cohen, D. (1987). Behaviourism. In R. L. Gregory (Ed), *The Oxford Companion to the Mind* (pp. 71-74). New York: Oxford University Press.
- Connolly, P. & Vilardi, T. (1989). *Writing to learn mathematics and science*. New York: Teachers College Press.
- D'Amore B. (1999). *Elementi di didattica della matematica*. Bologna: Pitagora.
- D'Amore B. (2001). Un contributo al dibattito su concetti e oggetti matematici: la posizione “ingenua” in una teoria “realista” vs il modello “antropologico” in una teoria “pragmatica”. *La matematica e la sua didattica*. 1, 4-30.

D'Amore B., Fandiño Pinilla M.I., Marazzani I., Santi G., Sbaragli S. (2009). Il ruolo dell'epistemologia dell'insegnante nelle pratiche d'insegnamento. *L'insegnamento della matematica e delle scienze integrate*, 32B (2), 171-192.

Driver, R. (1989). Students' conceptions and the learning of Science. *International Journal of Science Education*, 11, 481-490.

Duit, R., (1999). Conceptual change approaches in science education. En W. Schnottz, M. Carretero, S. Vosniadou (Eds), *New perspectives on conceptual change* (pp.263-282). Amsterdam: Pergamon/Elsevier.

Eurydice, the information network on education in Europe (2006). Science teaching in schools in Europe. Policies and research. *Eurydice European Unit*

Flavell, J.H. (1976). Metacognitive aspects of problem solving. En Resnick L.B. (ed.), *The nature of intelligence*, Hillsdale, N.J: Lawrence Erlbaum Associates.

Giaconi, C. (2008). *Le vie del costruttivismo*. Roma: Armando Editore.

Gil, D. (1993). Contribución de la historia y de la filosofía de las ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza-aprendizaje como investigación. *Enseñanza de las Ciencias*, 11, pp. 197-212.

Gil, D. (1994). Relaciones entre conocimiento escolar y conocimiento científico. *Investigación en la Escuela*, 23, 17-32.

Giordan. A. (s.f.). *Le scienze a scuola. Un saggio di André Giordan a margine di PISA 2006*. Recuperado de http://ospitiweb.indire.it/adi/Giordan/aG7_frame.htm

Gelman, R. & Gallistel, C. R. (1986). *The child's understanding of number*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

Gómez Crespo, M. A. (1996). Ideas y dificultades en el aprendizaje de la química. *Alambique: Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 7 (3), 37-44.

Gott, R., Welford, G., Foulds, K. (1988). *APWIS: Assessment of Practical Work In Science*. Oxford: Blackwell.

Grau, R. & De Manuel, J. (2002). Enseñar y aprender evolución: una apasionante carrera de obstáculos. *Alambique: Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 32, 56-64.

Guzzetti B.J., Snyder T.E., Glass, G.V. & Gamas, W.S. (1993). Promoting conceptual change in science: a comparative meta-analysis of instructional interventions from reading education and science education. *Reading Research Quarterly*, 28 (2), 116-59.

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

Hennessey, M.G. (2003). Metacognitive aspects of students' reflective discourse: Implications for intentional conceptual change teaching and learning. En G. M. Sinatra & P.R. Pintrich (Eds), *Intentional conceptual change* (pp. 105-134). Taylor & Francis e-Library.

Hierrezuelo, J.M. & Montero, A. M. (1989). *La ciencia de los alumnos. Su utilización en la didáctica de la física y de la química*. Madrid: Laia, D.L.

Iñiguez Porras, F. J. (2005). La enseñanza de la genética: Una propuesta didáctica para la educación secundaria obligatoria desde una perspectiva constructivista. (Tesis doctoral). Universitat de Barcelona, Barcelona. Recuperado de <http://www.tesisenred.net/handle/10803/31760>

Keys, C. W. (1999). Revitalizing Instruction in Scientific Genres: Connecting Knowledge Production with Writing to Learn in Science. *Science Education*, 83 (2), 115-130.

Lawson, A. E. & Thompson, L. D. (1988). Formal reasoning ability and misconceptions concerning genetics and natural selection. *Journal of Research in Science Teaching*, 25 (9), 733-746.

Lewis, J. & Kattmann, U. (2004). Traits, genes, particles and information: re-visiting students' understandings of genetics. *International Journal of Science Education*, 26 (2), 195-206.

Lewis, J; Leach J. & Wood-Robinson, C. (2000). All in the genes? What young people's understanding of the nature of genes. *Journal of Biological Education*, 34 (2), 74-79.

Lewis, J. & Wood-Robinson, C. (2000). Genes, chromosomes, cell division and inheritance- do students see any relationship? *International Journal of Science Education*, 22(2), 177-195.

Marín, N. (1999). Del cambio conceptual a la adquisición de conocimientos: Algunas reflexiones sobre las concepciones alternativas y el cambio conceptual de J.M. Oliva. *Enseñanza de las Ciencias*, 17 (1), 109-114.

Merino, J.M. (2007). Desarrollo curricular de las Ciencias experimentales. *Grupo Editorial Universitario*.

Mills Shaw, K.R., Van Horner, K., Zhang, H. & Boughman J. (2008). Essay contest reveals misconceptions of high school students in genetics content. *Genetics*, 178(3), 1157–1168

Murphy & Mason (2006) Changing knowledge and beliefs. En P. A. Alexander, P. H. Winne (Eds) *Handbook of Educational Psychology* (pp.305- 324). Washington, D.C.: American Psychological Association.

Novak, J. D. & Gowin, D. B. (1988). *Aprendiendo a aprender*. Barcelona: *Ediciones Martínez Roca*.

OECD (2007). PISA 2006: Science competencies for tomorrow's world. *Analysis*, 1, p. 22. Paris: OECD Publishing.

Oliva, J.M. (1999). Algunas reflexiones sobre las concepciones alternativas y el cambio conceptual. *Enseñanza de las Ciencias*, 17(1), 93-107.

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

Pedrinaci, E. (1996). Sobre la persistencia o no de las ideas del alumnado en geología. *Alambique: Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 7 (3), 27-36.

Posner, G. J., Strike, K. A., , Hewson, P. W. & Gertzog, W. (1982). Accomodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66 (2), 211-227.

Pozo, J.I. y Gómez Crespo, M.A. (1997). ¿Qué es lo que hace difícil la comprensión de la ciencia? Algunas explicaciones y propuestas para la enseñanza. En L. Del Carmen (Coord.), *La enseñanza y aprendizaje de las ciencias de la naturaleza en educación secundaria* (pp. 73-105). Cuadernos de Formación del Profesorado, 9. Barcelona: ICE Universitat de Barcelona – Horsori.

Pozo, J. I. & Gómez Crespo, M.A. (1998). *Aprender y enseñar ciencia. Del conocimiento cotidiano al conocimiento científico* (5). Madrid: Ediciones Morata, S.L..

Pozzi, M. (2011). *La ri-mediazione digitale nell'esperienza museale scientifica*. Trento: Ed. Tangram

Redfield, R. J. (2012). "Why do we have to learn this stuff?"—A new genetics for 21st century students. *PLOS Biology*, Vol. 10 (7). doi:10.1371/journal.pbio.1001356

Resnick, L.B. (1983). Mathematics and science learning: a new conception. *Science*, 220 (4596), 477-478. doi: [10.1126/science.220.4596.477](https://doi.org/10.1126/science.220.4596.477)

Rivard, L. P. (1994). A review of writing to learn in science: Implications for practice and research. *Journal of Research in Science Teaching*, 31 (9), 969-983.

Sbaragli S. (2005). Misconcezioni "inevitabili" e misconcezioni "evitabili". *La matematica e la sua didattica*, 2, 139-163.

Solbes, J. (2011). ¿Por qué disminuye el alumnado de Ciencias? *Alambique: Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 67 (17), 53-61.

Valitutti, G. *L'insegnamento efficace.* Recuperado de <http://www.apprendimentocooperativo.it/img/valitutti.pdf>

Varela Nieto, M.P. (1996). Las ideas del alumnado en física. *Alambique: Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 7 (3), 45-52.

Vázquez, Á. & Manassero, M. A. (2008). El declive de las actitudes hacia la ciencia de los estudiantes: Un indicador inquietante para la educación científica. *Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias*, 5 (3), 274-292.

Webby, R., D. Perez, J. Coleman, Y. Guan, J. Knight *et al.*, 2004. Responsiveness to a pandemic alert: use of reverse genetics for rapid development of influenza vaccines. *Lancet* 363 (9415), 1099–1103. [PubMed]

Wellman, H. M. (1990). *The child's theory of mind*. Cambridge, MA: MIT Press

Wood-Robinson, C.; Lewis, J.; Leach, J. & Driver, R. (1998). Genética y formación científica: resultados de un proyecto de investigación y sus implicaciones sobre los programas escolares y la enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*, 16 (1), 43-61

10. Bibliografía complementaria

Cornoldi C. (1995), *Metacognizione e apprendimento*. Bologna: Il Mulino.

11. Anexos

Anexo I

Cuestionario en italiano

<https://docs.google.com/spreadsheet/viewform?formkey=dGZfZmxtdE8xeDV4YU9qcG9ZcUZMNVE6MQ#gid=0>

1. Indica con una croce quali organismi contengono cellule.

Tutti Alcuni Nessuno Non so

Piante

Animali

Funghi

2. Indica con una croce quali organismi contengono ereditarietà.

Tutti Alcuni Nessuno Non so

Piante

Animali

Funghi

3. Quali cellule contengono DNA?

4. Che intendi per informazione ereditaria?

5. Indica quali cellule contengono informazione ereditaria.

- Spermatozoi
- Cellule del cervello
- Cellule del cuore
- Ovuli
- Cellule muscolari
- Tutte

6. Cosa sono i cromosomi?

7. Che funzione hanno?

8. In quali cellule operano?

- Spermatozoi
- Cellule del cervello
- Cellule del cuore
- Ovuli
- Cellule muscolari
- Tutte

9. Quali cellule contengono cromosomi?

- Spermatozoi
- Cellule del cervello
- Cellule del cuore
- Ovuli
- Cellule muscolari
- Tutte

10. Dove si trovano i cromosomi?

11. Quali cellule contengono i cromosomi sessuali?

- Spermatozoi
- Cellule del cervello
- Cellule del cuore
- Ovuli
- Cellule muscolari
- Tutte

12. In quali cellule operano i cromosomi sessuali?

- Spermatozoi
- Cellule del cervello
- Cellule del cuore
- Ovuli
- Cellule muscolari
- Tutte

13. Cosa sono i geni?

14. Quali cellule contengono i geni?

- Spermatozoi
- Cellule del cervello
- Cellule del cuore
- Ovuli
- Cellule muscolari
- Tutte

15. Dove si trovano i geni?

Anexo II

Cuestionario en español

<https://docs.google.com/spreadsheet/ccc?key=oAqntvoB4i6j9dHlLanLYQS1XbGZIModRSEUzbzhORFE#gid=0>

1. Indica con una cruz los organismos del cuadro que creas que tienen células

a. Indica con una cruz los organismos del cuadro que creas que tienen células

Todos Algunos Ninguno No lo se

Plantas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Animales	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Setas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

2. Indica con una cruz los organismos del cuadro que creas que tienen cromosomas

a. Indica con una cruz los organismos del cuadro que creas que tienen cromosomas

Todos Algunos Ninguno No lo se

Plantas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Animales	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Setas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

3. ¿Qué células tienen ADN?

4. ¿Qué entiendes por información hereditaria?

5. Indica que células contienen información hereditaria.

- Espermatozoides
- Células del cerebro
- Células del corazón
- Óvulos
- Células musculares
- Todas

6. ¿Qué son los cromosomas?

7. ¿Qué función tienen los cromosomas?

8. ¿En qué células hacen su función los cromosomas?

- Espermatozoides
- Células del cerebro
- Células del corazón
- Óvulos
- Células musculares
- Todas

9. Indica que células tienen cromosomas

- Espermatozoides
- Células del cerebro
- Células del corazón
- Óvulos
- Células musculares
- Todas

10. ¿Dónde se encuentran los cromosomas?

11. ¿Qué células tienen cromosomas sexuales?

- Espermatozoides
- Células del cerebro
- Células del corazón
- Óvulos
- Células musculares
- Todas

12. ¿En qué células hacen su función los cromosomas sexuales?

13. ¿Qué son los genes?

14. ¿Qué células contienen genes?

- Espermatozoides

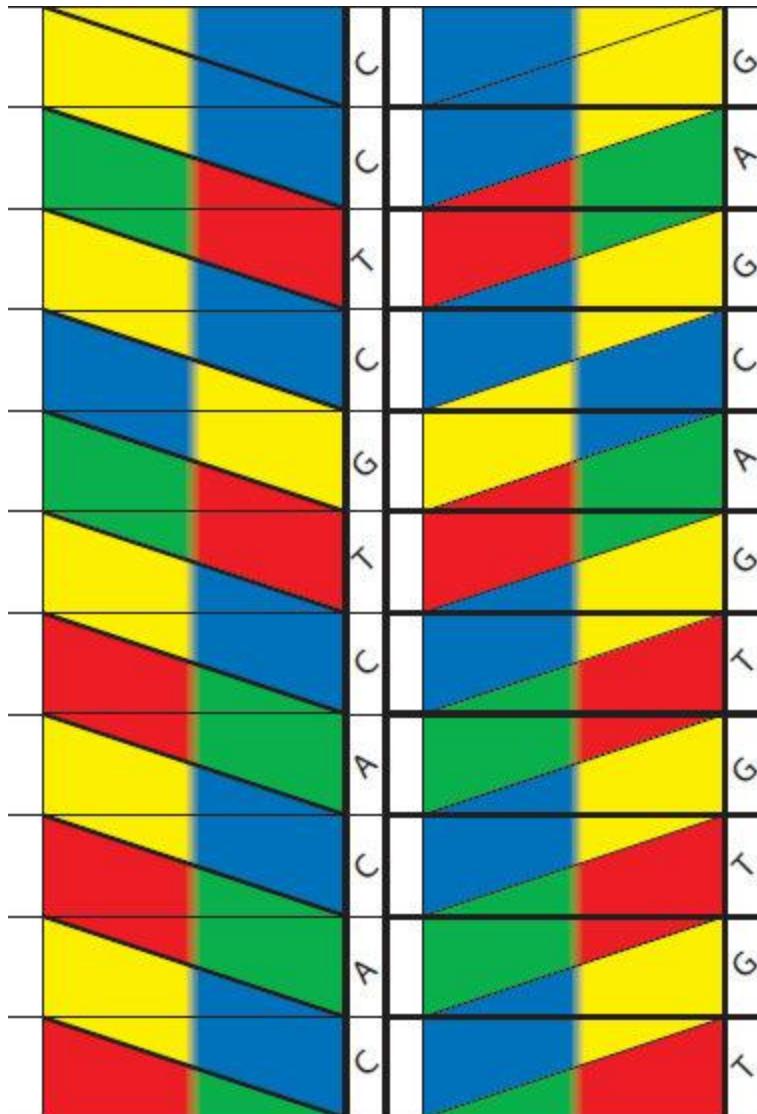
- Células del cerebro
- Células del corazón
- Óvulos
- Células musculares
- Todas

15. ¿Dónde se encuentran los genes?

Anexo III

Template ADN

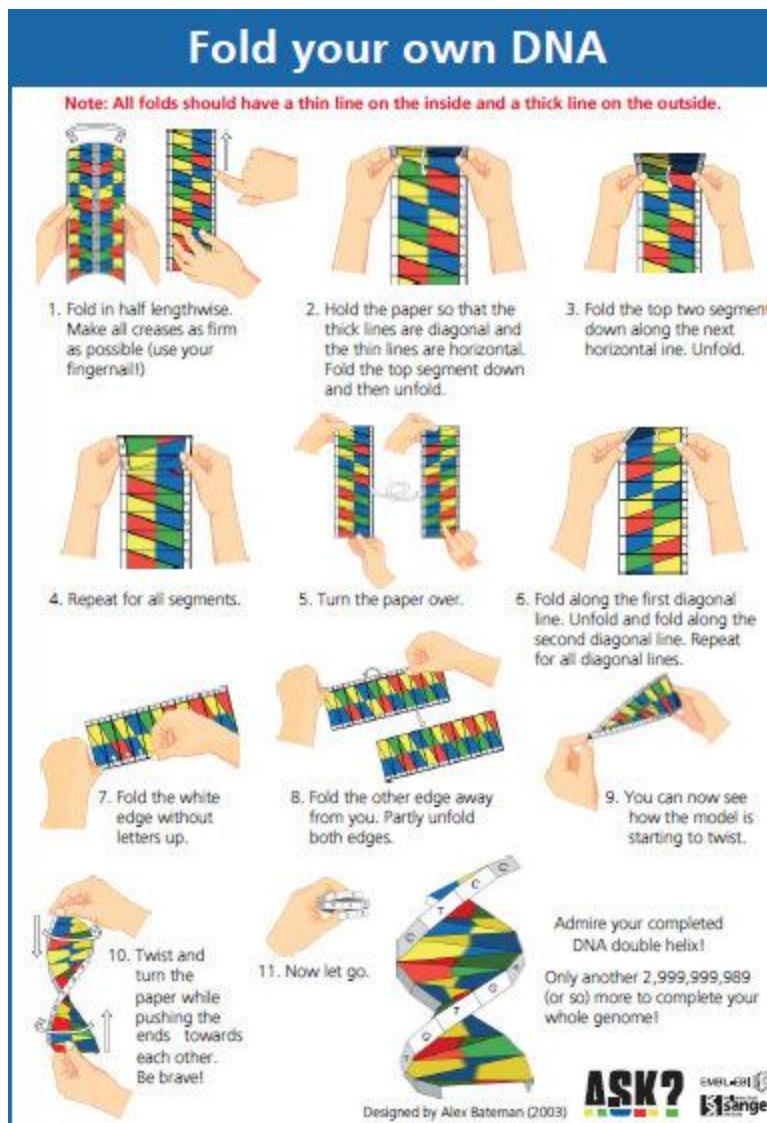
http://www.yourgenome.org/downloads/DNA_origami_temp_coloured.pdf



Anexo IV

Instrucciones origami ADN

http://www.yourgenome.org/downloads/DNA_origami_inst_A4.pdf



Anexo V

Ficha 1

Sabiendo que para codificar un aminoácido es necesaria la combinación de tres nucleótidos (un triplete):

- Construir el código genético utilizando las cuatro letras A, C, G, T correspondientes a las bases nitrogenadas que se encuentran en los nucleótidos, considerando que se tienen que conseguir por lo menos veinte combinaciones posibles (los veinte aminoácidos naturales). Completa la tabla y contesta las preguntas.
- 1. ¿Cuántas combinaciones de una sola letra se pueden formar?

Se puede observar que no es posible que un solo nucleótido codifique para un aminoácido, ya que existirían en la naturaleza cuatro tipos de aminoácidos solamente.

- 2. ¿Cuántas combinaciones de dos letras se pueden obtener?

	A	T	C	G
A				
T				
C				
G				

Incluso en este caso no es posible porque con las combinaciones de dos nucleótidos se pueden lograr sólo dieciséis aminoácidos ($4^2 = 16$)

- 3. ¿Cuántas combinaciones de tres letras se pueden lograr?

	A	T	C	G	
A	AAA				A C G T

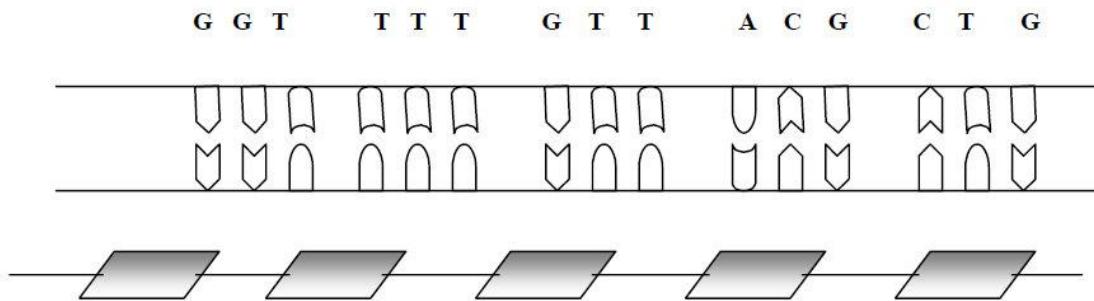
	AAC				
	AAG				
	AAT				
T					A C G T
C					A C G T
G					A C G T

En este caso, se obtienen 64 aminoácidos ($4^3 = 64$). En la naturaleza, sin embargo, esto no sucede debido a que algunos tripletes sirven como una señal para comenzar o terminar la proteína y muchos codifican por el mismo aminoácido.

Anexo VI

Ficha 2

Observar la secuencia de tripletes en un trozo de ADN.



- Anotar bajo cada uno de ellos la correspondiente secuencia de tripletes "transcritos" en el ARN".
- - Relacionar cada triplete con su aminoácido.
- Responda a las siguientes preguntas:
 - 1. ¿Cuántos tipos de ARN se utilizan?
 - 2. En el que orgánulo de la célula se produce la traducción?
 - 3. ¿Qué secuencia de aminoácidos viene construida?
 - 4. ¿Cuántas copias de esta secuencia se pueden construir?