

LA EPIGENÉTICA COMO PROBLEMA DE CONOCIMIENTO

**DAVID ALBERTO LÓPEZ AGUILAR
ÓSCAR JAVIER CAMARGO CAMARGO**

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
MAESTRÍA EN DOCENCIA DE LAS CIENCIAS NATURALES
BOGOTÁ
2020**

LA EPIGENÉTICA COMO PROBLEMA DE CONOCIMIENTO

**ÓSCAR CAMARGO
DAVID ALBERTO LÓPEZ**

**Trabajo de grado para optar el título de Magister en Docencia de las Ciencias
Naturales**

**ASESORES
SANDRA XIMENA IBAÑEZ CÓRDOBA
PABLO HENRY ORTIZ ORJUELA**

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
MAESTRÍA EN DOCENCIA DE LAS CIENCIAS NATURALES
BOGOTÁ
2020**

A mi madre por su amor incondicional, y a mi hijo porque en los momentos de debilidad su existencia me da fuerza.

David

Nota de aceptación

Tabla de contenido

| | |
|--|----|
| ÍNDICE DE FIGURAS | VI |
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1. CONTEXTO PROBLEMÁTICO | 3 |
| 2. OBJETIVOS | 8 |
| 2.1. Objetivo general | 8 |
| 2.2. Objetivos específicos | 8 |
| 3. METODOLOGÍA..... | 9 |
| 3.1. La revisión documental | 10 |
| 4. DESARROLLO HISTÓRICO DE LA EPIGENÉTICA | 20 |
| 4.1. En busca de los orígenes de la epigenética | 20 |
| 4.2 La epigenética y la herencia..... | 23 |
| 4.2.1. Mecanismos epigenéticos..... | 24 |
| 4.2.2. Evidencia de programación epigenética | 26 |
| 4.3. La epigenética y la embriología..... | 27 |
| 4.3.1. Constante lucha entre el preformismo y la epigénesis | 30 |
| 4.3.2. Relación epigenética-preformismo-epigénesis..... | 33 |
| 4.4. La epigenética y la genética..... | 34 |
| 4.4.1. Relación genética clásica-determinismo genético-epigenética | 43 |
| 4.5. La epigenética y la evolución | 44 |
| 4.5.1. Propuestas predarwinianas | 44 |
| 4.5.1. Propuesta darwiniana | 52 |

| | |
|--|-----|
| 4.5.2. Propuestas posteriores a Darwin | 55 |
| 4.5.2. La evolución y la epigenética: Entre Darwin y Lamarck | 59 |
| 4.5.3. Relación Lamarck-Darwin-epigenética | 64 |
| 4.6. La epigenética y la educación | 65 |
| 5. PROPUESTA DE AULA | 73 |
| 6. CONCLUSIONES..... | 91 |
| 7. BIBLIOGRAFÍA | 96 |
| ANEXOS | 102 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 Cronología del desarrollo de la epigenética y disciplinas asociadas | 25 |
| Figura 2 El homúnculo | 31 |
| Figura 3 Embrión de pollo | 31 |
| Figura 4 Islas CpG | 81 |
| Figura 5 Representación de las diversas modificaciones epigenéticas | 82 |
| Figura 6. Algunas secuencias de instrucción para el cambio conceptual..... | 85 |

INDICE DE TABLAS

| |
|---|
| Tabla 1: Bases de datos de libre acceso y suscripción de la UPN |
|---|

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo parte de la conjunción de intereses sobre los conceptos disciplinares e innovadores en biología y los fundamentos sobre los cuales se enmarca la Maestría en Docencia de las Ciencias Naturales, la cual se desarrolla bajo tres ejes centrales: el primero es el epistemológico, el cual permite poner en primer plano la naturaleza del conocimiento científico y su aporte para enfrentar problemas del contexto. En segundo lugar, está el eje disciplinar, el cual busca abordar la discusión sobre la pertinencia de las disciplinas escolares y la relación con los contenidos que se tratan en la escuela. Y, por último, el eje pedagógico que permite la consolidación de alternativas para las prácticas de enseñanza (Universidad Pedagógica Nacional, 2020).

Desde los tres ejes de la maestría mencionados anteriormente, se aborda la epigenética¹ identificando aspectos que permiten constituirla como problema de conocimiento para la enseñanza de la biología en el grado noveno de básica secundaria, resultando indispensable el reconocimiento de conceptos y estudios de otras disciplinas que permiten su comprensión. Algunos de estos conceptos requieren profundizar en disciplinas como la embriología, la genética y la evolución entre otras. En esta perspectiva se plantea el desarrollo histórico y conceptual sobre la epigenética identificando las disciplinas que la constituyen, y a la vez algunos elementos teórico-conceptuales de cercanía y distanciamiento con estudios o teorías reconocidas en la enseñanza de la biología², configurando su comprensión en un problema de conocimiento actual y poco reconocido en la escuela. En este contexto y reconociendo su valor pedagógico, se plantea el diseño de una actividad de aula a partir de algunas situaciones o casos actuales de la vida diaria que dinamizan su enseñanza y comprensión en noveno grado de educación básica

¹ “El estudio de todos los eventos que llevan al desenvolvimiento del programa genético del desarrollo o el complejo proceso de desarrollo que media entre genotipo y fenotipo” (Bedregal, Shand, Santos, y Ventura, 2010, p. 366)

² Epigénesis, preformismo, Lamarckismo, Darwinismo, Genética clásica.

secundaria. Este último aspecto es relevante en cuanto responde a algunos de los ítems propuestos en los estándares de competencias por el Ministerio de Educación Nacional (MEN, 2004) y los Derechos básicos de aprendizaje (MEN, 2016), los cuales hacen referencia a los conocimientos de la genética y la evolución, tales como la formulación de hipótesis acerca del origen y evolución de un grupo de organismos y la explicación de la relación entre el ADN, el ambiente y la diversidad de los seres vivos.

Metodológicamente se reconocen algunos fundamentos de la investigación documental en lo relacionado con el rastreo, revisión y categorización de documentos; propuestos por Jorge Uribe Roldán en el libro “La investigación en ciencias sociales: estrategias de investigación”. En este texto se propone el desarrollo de la investigación documental en tres etapas: preparatoria y de recopilación, descriptiva-analítica-interpretativa y divulgación y publicación (Uribe, 2005). Así, la revisión y análisis de las publicaciones relacionadas con la epigenética resulta fundamental para el desarrollo de esta propuesta.

Finalmente se realizan diferentes reflexiones sobre las razones por las cuales la epigenética puede constituirse como un problema de conocimiento para la biología, incluyendo los alcances y posibilidades de trabajo que surgen de él. En este apartado se tendrá en cuenta el alcance de la propuesta para responder a la pregunta problema: **¿Cómo la epigenética puede constituirse en un problema de conocimiento para la Biología y su enseñanza en la escuela?**

1. CONTEXTO PROBLEMÁTICO

En el mundo de hoy no existe prácticamente una actividad humana en la que no sea necesario utilizar algún tipo de conocimiento de las ciencias y cada vez es más necesaria la integración de estos conocimientos (Arteaga, Armada, y Del Sol, 2016) y propiciar una mirada diferente de las ciencias naturales. Desde esta perspectiva la enseñanza de las ciencias contemporáneas exige una postura crítica, y en este sentido demanda nuevas búsquedas, retos, y formas de construir conocimiento en el aula y no solo la transmisión de los contenidos que los textos presentan como respuesta a los lineamientos curriculares y estándares de competencia. En esta perspectiva es necesario trascender las teorías propuestas en los currículos tradicionales, sin desconocerlos, en este sentido el estudio de la epigenética toma importancia, ya que permite promover una mirada crítica de las teorías científicas que generalmente son objeto de estudio en la escuela y propiciar nuevas perspectivas de comprensión de estas.

La epigenética como problema de conocimiento en la docencia de las ciencias naturales toma sentido ya que permite buscar explicaciones de algunos procesos relacionados con los seres vivos. Lo anterior es importante ya que en la Maestría en Docencia de las Ciencias Naturales se ha hecho énfasis en la problematización, lo cual es visible al retomar los trabajos desarrollados al interior de la maestría, donde se reconoce la complejidad de los seres vivos y se logra asumir la enseñanza de las ciencias desde la perspectiva de los problemas de conocimiento, esto implica trascender la mirada del programa como el desarrollo de contenidos, hacia su comprensión como un proceso que se construye a partir de unas intenciones que se concretan y transforman en el devenir de las prácticas escolares (Orozco, Valencia, Méndez, Jiménez y Garzón, 2003).

Los problemas de conocimiento emergen como una categoría alternativa para comprender la construcción de conocimiento en ciencias. En este sentido en la construcción de los problemas de conocimiento el estudiante se mueve por instancias a partir de las cuales

configura novedosas maneras de establecer relaciones con los eventos del mundo natural y social. Adicionalmente, se debe tener en cuenta que en los problemas de conocimiento los sujetos ponen en juego diferentes estrategias para construir explicaciones a situaciones del mundo natural y social. En este sentido, esta investigación retoma dos de los elementos mencionados: la complejización de las relaciones al identificar elementos de conexión y distanciamiento entre la epigenética y otras teorías como la evolución y la genética, y el cuestionamiento de la experiencia básica mediante el planteamiento del caso de estudio de “los gemelos”.

Los problemas de conocimiento surgen del interés de profesores y estudiantes, por formular problemas, así, preguntas como ¿Qué reacción tiene el sol sobre las plantas? ¿Cómo se desarrollan las orugas? ¿Cómo descontaminar un caño? ¿Qué contaminantes impiden el crecimiento de las plantas?, se constituyen en experiencias que desencadenan procesos alternativos para la enseñanza de las ciencias y llevan al desarrollo de procesos de conocimiento (Orozco, et al., 2003). En este mismo orden de ideas se plantean algunas preguntas relacionadas con la epigenética, tales como: ¿Cómo influye el ambiente en el género de los cocodrilos? O ¿Por qué los “gemelos idénticos” no son idénticos?

En concordancia con lo anterior, y como producto de esta investigación se presentan los siguientes elementos sobre los cuales es posible problematizar la epigenética como campo de conocimiento en la escuela:

- La falta de desarrollo conceptual de la epigenética en los libros de texto escolar. Esto se evidenció al hacer la revisión de los libros de grado noveno de las editoriales Norma (Valverde, 2011), Santillana (Muñoz, Quiñonez, Carrillo, Peña, Orjuela, Marín, Villegas y Prieto, 2009) y SM (SM, 2019), en el primero no se menciona la epigenética, mientras que en el segundo aparece un pequeño apartado de un párrafo, con un mínimo desarrollo conceptual. Adicionalmente se

consultó la biología general de Curtis, (2008), Audesirk, (2013) y Solomon, (2010) en los cuales no aparece información sobre la epigenética.

- La novedad y el gran volumen de los estudios en medicina, biología, genética y psicología relacionados con la epigenética y su aplicación en los últimos años (Benítez, 2018) y las proyecciones que tiene en diferentes campos de la ciencia, especialmente en la genética y la medicina, tal como se menciona en el artículo titulado “Epigenética: el futuro es hoy” (Fusaro y Grilli, 2012).
- La nueva visión de la evolución y la genética que ofrece la epigenética al establecer relaciones entre el ambiente y la expresión del fenotipo, las cuales se escapan del paradigma Darwiniano de la selección natural y la teoría sintética (García, Ayala y Perdomo, 2012). Por otro lado, la epigenética se distancia de la noción del determinismo genético, al reconocer la influencia de otros factores diferentes a los genes en la expresión de las características de un ser vivo (Macías, Zazueta, Mendoza, Rangel, y Padilla. 2008).
- Los argumentos sobre la influencia del ambiente sobre el fenotipo, idea en la cual se detectan elementos Lamarckianos como la herencia de caracteres adquiridos.
- Las posibilidades de integrar o relacionar diferentes disciplinas de la biología (genética, embriología y evolución) en el aula, a partir del abordaje de la epigenética.

En una perspectiva pedagógica, esta propuesta se centra en el último de estos elementos, en la posibilidad de integrar o relacionar diferentes disciplinas de la biología (genética, embriología y evolución) en el aula de noveno grado. Adicionalmente, resulta importante destacar la forma en que la epigenética puede llegar a responder a los requerimientos propuestos en los estándares básicos de competencia (MEN, 2004) y los derechos básicos de aprendizaje (MEN, 2016), lo cual es fundamental para cualquier trabajo dentro del ámbito educativo en el territorio

colombiano, en estos documentos se plantean algunas directrices para el estudio y la comprensión de las teorías relacionadas con la evolución y la genética.

En este punto la epigenética en relación con la evolución, la genética y la embriología, aporta elementos que ponen en cuestión conocimientos aceptados por la mayoría de la comunidad científica. Pero no solo pueden llegar a ponerse en cuestión los conocimientos actuales, sino que también deja ver cómo a lo largo de la historia de la ciencia se han descartado ideas que carecían de validez en su momento y que años después fueron validadas por la comunidad científica gracias a evidencias y avances tecnológicos. Un ejemplo de esto lo constituye la epigénesis, teoría según la cual los rasgos que caracterizan a un ser vivo se modelan en el curso del desarrollo, sin estar preformados en el germen, la cual fue opacada durante mucho tiempo por el preformismo, que concibe el desarrollo del embrión a partir de la existencia de un embrión preformado contenido en el espermatozoide o en el huevo (Ferrer, 2016), sin embargo, varios estudiosos en el campo de la embriología presentaron evidencias. Tal como ocurrió con la epigénesis, existen otras ideas que carecían de un alto poder argumentativo y hoy pueden ser consideradas desde sus relaciones con la epigenética, esto responde a las dinámicas culturales del presente siglo en términos de la crisis de los grandes paradigmas del pensamiento occidental, la necesidad de generar alternativas de resistencia a los modelos de globalización cultural e ideológica y los desarrollos teóricos de campos disciplinares que han devenido en la superespecialización de los saberes (Orozco, et al., 2003). Cabe aclarar que las ideas y teorías sobre las cuales se pretende realizar el ejercicio de problematización corresponden con algunos de los contenidos propios del currículo de ciencias de noveno grado de básica secundaria.

Adicionalmente dentro del contexto problemático se han tenido en cuenta algunas de las dificultades propias del ejercicio del docente de biología, tales como la densidad de los programas escolares, los cuales llevan una gran cantidad de contenidos que deben ser vistos en tiempos que en muchas ocasiones no permiten el desarrollo de las temáticas con la profundidad

necesaria (González, 2016). Una de esas temáticas es la evolución, en la cual se aborda con profundidad la teoría de Darwin, con un amplio desarrollo que se ve reflejado en los libros de texto de grado noveno de las editoriales Norma (Valverde, 2011), Santillana (Muñoz et al., 2009) y SM (SM, 2019), y las biología generales de Curtis, (2008), Audesirk, (2013) y Solomon, (2010), sin embargo, las teorías alternativas, como la de Lamarck, quedan relegadas a pequeñas secciones en apartados muy cortos, reduciendo la posibilidad de llegar a constituir un valioso elemento de discusión en el aula. De igual forma ocurre con el contenido en los tres libros de texto de grado noveno sobre la epigenética, la cual es apenas mencionada en el libro llamado “Savia” de noveno grado (SM, 2019) en la sección de genética.

Es importante ampliar la mirada que se tiene sobre las diferentes teorías científicas, desde su historicidad, contexto y demás elementos que permiten su consolidación, manteniendo una postura crítica y abierta ante los avances en las diversas áreas de conocimiento y su enseñanza en el aula. En este contexto, esta investigación se desarrolla alrededor de la pregunta: **¿Cómo la epigenética puede constituirse en un problema de conocimiento para la Biología y su enseñanza en la escuela?**

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Analizar el desarrollo histórico conceptual de la epigenética como problema de conocimiento de la biología y su enseñanza en la escuela.

2.2. Objetivos específicos

- Realizar una revisión documental sobre las bases históricas y conceptuales de la epigenética en el campo de la biología.
- Caracterizar algunas aproximaciones y distanciamientos de la epigenética con otras teorías de la biología enseñadas en la escuela, tales como la selección natural, la herencia de caracteres adquiridos, la genética clásica y la embriología.
- Diseñar una propuesta de aula sobre la epigenética como problema de conocimiento en la enseñanza de la biología en grado noveno de educación básica secundaria.

3. METODOLOGÍA

La propuesta de investigación “epigenética como problema de conocimiento” surge inicialmente como una iniciativa por innovar pedagógica y disciplinariamente, manteniendo el sentido epistemológico propio del conocimiento biológico enseñable en la escuela. En esta búsqueda se estableció un diálogo con docentes del programa de Licenciatura en Biología, de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, con amplia trayectoria en la enseñanza de genética y la evolución, con la participación de integrantes del grupo interinstitucional de investigación Biología, Enseñanza y Realidades “BER” de la Universidad Distrital y la Universidad Pedagógica Nacional, el tema de dicho diálogo fue la epigénesis como un concepto contemporáneo en la biología. A través de este diálogo se logró inferir algunas relaciones con otras disciplinas, y se realizó una primera aproximación al concepto de epigenética como campo de saber que permite establecer relaciones entre el genotipo y ambiente en la expresión del fenotipo, lo que generó una expectativa mayor por conocer y profundizar más en el tema.

Posteriormente se realizó una indagación en los textos del grado noveno de las editoriales Norma (Valverde, 2011), Santillana (Muñoz et al., 2009) y SM (SM, 2019), y las biología generales de Curtis (2008), Audesirk (2013) y Solomon (2010), con el fin de identificar las relaciones de la epigenética con otras áreas de la ciencia, sin embargo, únicamente en el libro de la editorial SM llamado Savia 9 se encontró un pequeño párrafo sobre el tema, sin evidenciar relación alguna con las otras áreas.

Para cumplir con los objetivos propuestos en el presente trabajo resulta fundamental identificar documentos que contengan información sobre la epigenética en los cuales se puedan detectar elementos susceptibles de ser analizados. Con esta finalidad se hace necesaria la utilización de protocolos definidos tanto para la búsqueda como para la categorización de la información recopilada, por lo cual se desarrolla una revisión documental, cuyos fundamentos teóricos son expuestos a continuación.

3.1. La revisión documental

Este proyecto investigativo, requiere la búsqueda de información específica que posibilite el análisis del desarrollo histórico de la epigenética; en este sentido se suscribe al análisis documental, que según Uribe (2005) es definida como:

El estudio metódico, sistemático y ordenado con objetivos bien definidos, de datos, documentos escritos, fuentes de información impresas, contenidos y referencias bibliográficas, los cuales una vez recopilados, contextualizados, clasificados, categorizados y analizados, sirven de base para la comprensión del problema, la definición o redefinición de nuevos hechos o situaciones problemáticas, la elaboración de hipótesis o la orientación a nuevas fuentes de investigación en la construcción de conocimiento. (citado en Paramo, 2011, p. 196)

De igual manera se corresponde a una revisión documental o bibliográfica según la agrupación que por su naturaleza y profundidad de análisis hace de la investigación documental Alfonso (1994), quien la define como: la búsqueda para producir nuevos asientos bibliográficos en el contexto de la investigación misma, a partir de la revisión y análisis de diferentes fuentes documentales de carácter bibliográfico. (citado en Paramo, 2011, p. 199)

De acuerdo con los propósitos del estudio que se realice, el tipo de revisión documental puede variar. De acuerdo con Romero (2005) existen dos tipos: informativa y argumentativa. En este caso se realizó una revisión documental de tipo argumentativo, ya que incluye un ejercicio final de interpretación y análisis en el cual se trata de resolver una pregunta de investigación: ¿Cómo la epigenética puede constituirse en un problema de conocimiento para la Biología y su enseñanza en la escuela? Por otro lado, en este tipo de trabajos es posible identificar tres grandes etapas o momentos de trabajo (Uribe, 2005), los cuales sirvieron de guía para esta investigación:

A. Etapa preparatoria y de recopilación. En esta etapa se delimita el núcleo de la investigación y se realiza un reconocimiento de este a partir de sus antecedentes y lo que se ha

escrito para así delimitar de manera adecuada el tema, permitiendo que la búsqueda de información sea mucho más eficiente. En este sentido el núcleo de la presente investigación lo constituye inicialmente la epigenética, sin embargo, al realizar una primera revisión de antecedentes se detectan las relaciones con la embriología, la genética y la evolución, con lo cual se orienta y restringe la búsqueda a documentos en los cuales se hagan evidentes las relaciones de la epigenética con éstas tres disciplinas.

Es importante destacar que en esta etapa también se seleccionaron las bases de datos en las cuales se realiza la búsqueda de los documentos, en este caso se utilizaron los servicios de búsqueda en las bases de datos de libre acceso y de suscripción con la que cuenta la Universidad Pedagógica Nacional (Ver tabla 1). En la búsqueda de documentos fueron seleccionadas e ingresadas tres combinaciones de descriptores o palabras claves, que responden a las relaciones entre la epigenética y las tres disciplinas ya mencionadas, esas combinaciones son: “epigenética y evolución”, “epigenética y genética” y “epigenética y embriología”. En esta fase no fue necesario realizar una delimitación de los rangos temporales de la búsqueda, ya que los documentos que se encuentran se ubican en los últimos 14 años, es decir del año 2006 hasta el 2020.

Tabla 1: Bases de datos de libre acceso y suscripción de la UPN

| BASES DE DATOS | |
|---|---|
| De libre acceso | Por suscripción |
| <ul style="list-style-type: none"> • Science.gov: Información científica de diversas áreas del conocimiento en Bases de Datos de agencias federales de EEUU. • Eric: Mayor base de datos especializada en educación. Contiene artículos de diferentes países. • Dialnet Plus: Suministro de contenidos electrónicos de literatura científica hispano-americana y otros temas. • Google Académico: Buscador de producción científica en diferentes formatos como artículos, libros, trabajos de grado y tesis. • Redalyc: Sistema de Información científica con revistas científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal. • Tesis Doctorales en Red: Acceso a las tesis doctorales de universidades españolas, en todas las áreas del conocimiento. • Latindex: Sistema de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal. • Scielo: Cubre una colección selecta de revistas científicas de todas las áreas del conocimiento. | <ul style="list-style-type: none"> • Web of Science: Información relacionada con las ciencias, sociales, artes y humanidades de las revistas de investigación más prodigiosas y de alto impacto. • Scopus: Base de datos referencial, multidisciplinaria y bibliográfica de resúmenes y citas de artículos de revistas científicas con documentos de alto impacto a nivel mundial. • Biological & Agricultural Index Plus: Proporciona el texto completo de artículos de más de 100 publicaciones que datan de 1997, como también índices y resúmenes de más de 380 publicaciones. • Education Research Complete: Proporciona índices y resúmenes de más de 2.100 publicaciones, así como el texto completo de más de 1.200 publicaciones, e incluye casi 500 libros y monografías en texto completo. • Eric: Proporciona el texto completo de artículos de más de 100 publicaciones que datan de 1997, como también índices y resúmenes de más de 380 publicaciones. |

Para la búsqueda de los documentos se ingresaron en las bases de datos las cuatro combinaciones de palabras claves: “epigenética y evolución”, “epigenética y genética”, “epigenética, preformismo, epigénesis y embriología” y “epigenética y educación” sin embargo, la cantidad de publicaciones que son arrojadas sobrepasa los 2000 documentos en Google Académico, por lo cual se tuvieron en cuenta los siguientes criterios para su selección:

El **primer criterio** que se tuvo para la selección de las publicaciones fue la lectura de los títulos y las palabras claves, seleccionando aquellos en los que aparecían ambas palabras o se manejaban expresiones similares, por ejemplo, la palabra “embriología” apareció como “biología del desarrollo” en algunos títulos. En este proceso se seleccionaron 25 documentos, ya que luego

de leer los primeros 20 títulos, dejó de aparecer la combinación de palabras claves. Sin embargo, se continuaron revisando otros 40 artículos dentro de los que seleccionaron 5 que cumplían con los criterios descritos anteriormente, y entre los títulos 41 a 100 no apareció ninguno de los criterios de selección, por lo cual se detuvo la lectura de títulos, finalmente la selección de documentos después de este primer filtro quedó reducida a 31 publicaciones. Los datos básicos de estos documentos fueron registrados en la tabla 2 (Anexo 1), en la cual se encuentran los siguientes datos:

- Base de datos consultada.
- Número de documentos arrojados vs. seleccionados.
- Tipo de documento.
- Autor/es
- Título

El **segundo criterio** de selección lo constituyó la lectura de los resúmenes de los artículos seleccionados anteriormente para corroborar que los temas correspondían con la temática de interés del estudio. En este proceso fueron descartados 5 artículos debido a que las temáticas en los resúmenes no correspondían con los criterios establecidos. Los 70 resúmenes quedaron registrados en una matriz (anexo 8) junto con los siguientes datos:

- Título
- Autores
- Tipo de documento
- Año
- País
- Palabras clave
- Institución
- Disciplinas que abarca

- Resumen
- Base de datos

B. La etapa descriptiva-analítica-interpretativa. Se lleva a cabo la revisión, lectura y análisis detallado de los documentos seleccionados, de esta manera se puede identificar el tipo de documento y realizar un ejercicio valorativo sobre sus aportes para responder a los propósitos del trabajo (Uribe, 2005). En esta misma etapa se realiza un ejercicio de categorización que consiste en la identificación de regularidades, de temas sobresalientes, de eventos recurrentes y de patrones de ideas en los datos provenientes de los lugares, los eventos o las personas seleccionadas para un estudio. En este sentido la categorización constituye un mecanismo esencial en la reducción de la información recolectada.

La definición de las categorías que permitirán organizar los documentos seleccionados es una parte fundamental, por lo cual es importante tener una idea clara de lo que es una categoría. Al respecto se retoma la definición de Gomes (2003) sobre la categoría:

Un concepto que abarca elementos o aspectos con características comunes o que se relacionan entre sí. Esa palabra está relacionada a la idea de clase o serie. Las categorías son empleadas para establecer clasificaciones. En este sentido trabajar con ellas implica agrupar elementos, ideas y expresiones en torno a un concepto capaz de abarcar todo. (p. 55)

La categorización no es un proceso arbitrario, está mediado por principios y criterios que aportan rigurosidad y validez a este proceso. Al respecto Romero (2005) presenta los siguientes criterios a tener en cuenta en el proceso de categorización:

Relevancia: Las categorías deben tener en cuenta las posibilidades de variación, por lo cual es factible que se excluyan algunas publicaciones, esto dependerá del diagnóstico y la realidad encontrada.

Exclusividad: Este criterio indica que las categorías son mutuamente excluyentes, es decir, que el mismo elemento no puede ubicarse en dos categorías a la vez.

Complementariedad: En una investigación el problema o fenómeno estudiado deja en evidencia numerosas categorías para su estudio, las cuales a su vez permiten complementarse con el objeto de profundizar o ahondar sobre cada categoría.

Especificidad: Se especializa en un área específica, concreta y delimitada.

Exhaustividad: Se hace necesario en el proceso categorial admitir la inclusión de información en una de las categorías, es importante relacionar cada dato con el todo, así, la construcción de sistemas categoriales permite establecer las relaciones lógicas entre todas las categorías y establecer los límites de cada una.

Teniendo en cuenta estos criterios y los propósitos del estudio, se realizó una lectura y registro detallado de los documentos, los cuales de acuerdo con su contenido fueron ubicados en una de las siguientes categorías:

Categoría 1: Epigenética-historia: publicaciones con contenido referente al desarrollo histórico de la epigenética, o elementos epistemológicos que aportan a su comprensión.

Categoría 2: Relación epigenética-genética: publicaciones con contenido disciplinar que evidencia en alguna medida la relación entre la epigenética y la genética.

Categoría 3: Relación epigenética-evolución: publicaciones con contenido disciplinar que evidencia en alguna medida la relación entre la epigenética y la evolución, haciendo énfasis en la conexión con algunos elementos Lamarckistas.

Categoría 4: Relación epigenética-embriología: publicaciones con contenido disciplinar que evidencia en alguna medida la relación entre la embriología y el desarrollo de la epigenética.

Categoría 5: Relación epigenética-educación: publicaciones relacionadas con el desarrollo de la teoría de la epigenética en la escuela.

La selección de estas categorías está guiada por los objetivos del trabajo, por lo cual han sido definidas con anterioridad, resultando un elemento a tener en cuenta en la búsqueda de los documentos. Otro elemento que se tuvo en cuenta para establecer estas categorías, y que de

forma general guía todo el estudio, es la alineación con los ejes centrales que guían la Maestría en Docencia de las Ciencias Naturales, en los cuales se enfatiza en los aspectos epistemológicos, pedagógicos y disciplinares.

Las categorías se encuentran registradas en una casilla anexa a la matriz que fue elaborada durante la fase preparatoria y de recopilación (Anexo 2). Adicionalmente se realizó la selección de las unidades de registro, las cuales corresponden a oraciones, párrafos o fragmentos, a veces incluso son palabras potencialmente muy significativas para la investigación. Estas unidades de registro serán consideradas en el desarrollo de la tercera etapa de divulgación en relación con el cumplimiento de los objetivos, la presentación de resultados y reflexiones finales.

El análisis de los documentos se realizó a partir de su lectura completa y teniendo como brújula las categorías presentadas anteriormente, de esta manera, durante este ejercicio se extrajeron unidades de registro en las que se encontraba desarrollada cada una de las categorías y que sustentaba la relación de aproximación o distanciamiento entre la epigenética y las disciplinas de la biología correspondientes. Estas unidades fueron consignadas de forma ordenada en 5 matrices (anexo 8) en las cuales se resaltaron las unidades de registro de cada categoría con diferentes colores, dependiendo de la relación que sustentaban. Estas unidades fueron utilizadas posteriormente para sustentar las ideas presentadas durante la siguiente etapa, que corresponde a la divulgación y publicación.

C. La etapa de divulgación y publicación. Se elabora un texto que incluye las referencias documentales y muestra los resultados o reflexiones de la investigación (Uribe, 2005), en este caso, aparte de la categorización de los documentos realizada en la fase anterior y consignada en la matriz de registro, En este aspecto los hallazgos de la revisión documental se presentan en coherencia con los objetivos, así, el desarrollo histórico de la epigenética, sus distanciamientos y aproximaciones con otras disciplinas de la biología, tales como la embriología,

la genética y la evolución, la propuesta de aula y las conclusiones finales son elementos que hacen parte de la divulgación de resultados de la investigación.

Propuesta de aula

Luego de la documentación y reflexión en torno a los diferentes aspectos históricos y conceptuales de la epigenética, se atiende al último de los objetivos propuestos en esta investigación el cual corresponde al diseño de una propuesta de aula que busca reconfigurar los espacios de enseñanza, el tipo de actividades que posibilitan el desarrollo de procesos, así como el posicionamiento del docente como un sujeto transformador de sus prácticas, reflexivo y consciente de los procesos que lleva a cabo en el aula (González, 2016).

El diseño de la propuesta de aula se realiza tratando de responder a los siguientes propósitos:

- Propiciar la formulación de explicaciones sobre acontecimientos o situaciones cercanas a los estudiantes, que no pueden ser explicados desde las teorías biológicas tradicionalmente aceptadas. Específicamente se indagará sobre las diferencias que presentan los gemelos en su desarrollo, ya que, desde los conocimientos que se manejan tradicionalmente en el aula de clase y en los libros de texto de biología de grado noveno (SM, 2019), deberían ser idénticos durante toda su vida.
- Proponer actividades que permitan a los estudiantes cuestionar la visión de ciencia presentada en las teorías prevalecientes en los currículos de biología, los estándares de competencia y los libros de texto. Específicamente se profundizará en el punto de vista genético, para darle una mirada alternativa desde la epigenética y la influencia del ambiente sobre las características del individuo.
- Hacer visible la necesidad de integrar diferentes disciplinas de la biología para dar respuesta a una situación o cuestionamiento planteado, en este caso los “gemelos diferentes”. Esta integración en la enseñanza de la biología es vista como una

necesidad histórica de la educación, pues constituye una vía para solucionar los problemas causados por la explosión de los conocimientos, como consecuencia del impetuoso desarrollo de la ciencia y la técnica. (Rosell, Dovale, y González, 2004) En este orden de ideas, se hacen visibles las relaciones alternativas de los seres vivos con el ambiente, en ellas los seres dejan de ser vistos como recipientes que contienen elementos, como el ADN, y empiezan a ser comprendidos como un sistema de relaciones del cual somos una emergencia. (Orozco, et al. 2003)

- Propiciar el debate y la postura crítica frente a la visión de ciencia absoluta y verdadera que se presenta con las teorías científicas a partir de los obstáculos que encuentran los estudiantes en la explicación de las diferencias de los gemelos.

A partir de esta propuesta se espera que los estudiantes sientan curiosidad sobre una situación que no tiene una respuesta obvia y que ha surgido de las reflexiones en torno a diferentes teorías que se relacionan con la epigenética. Con esto se espera que puedan identificar elementos que llegan a cuestionar las teorías más sólidas presentadas por la biología, tal es el caso de la evolución por selección natural y la genética clásica, que de manera no textual se presenta a los estudiantes como condicionante del desarrollo de los individuos y de su descendencia. (Cardenas, 2016)

La propuesta de aula se desarrolla en cinco guías:

- **Guía 1. Ambiente:** Indagación de las ideas de los estudiantes sobre los elementos que forman parte del ambiente de un ser vivo y, su influencia sobre los seres vivos
- **Guía 2. Gemelos:** Presentación de la situación de dos gemelos que son muy diferentes, sobre la cual los estudiantes plantean explicaciones.

- **Guía 3: Epigenética y gemelos:** Relación entre epigenética y las características diferentes en los gemelos, para hacer un primer acercamiento a la epigenética.
- **Guía 4: Epigenética:** Aproximación conceptual a la epigenética a nivel molecular y elaboración de modelos que explican el principal mecanismo epigenético (metilación).
- **Guía 5. Cambio:** Presentación de las teorías con las cuales se relaciona la epigenética desde una postura crítica, que permite evidenciar cambios en las posturas biológicas establecidas en la evolución y la genética.

4. DESARROLLO HISTÓRICO DE LA EPIGENÉTICA

4.1. En busca de los orígenes de la epigenética

En el proceso de comprender las razones por las cuales la epigenética puede ser reconocida como un problema de conocimiento, es necesario rastrear las bases que han dado origen a esta teoría. Para esto es necesario conocer la definición y propósitos de la epigenética propuesta por Conrad Waddington (1939), quien la define en Bedregal (2010) como “el estudio de todos los eventos que llevan al desenvolvimiento del programa genético del desarrollo” o el complejo “proceso de desarrollo que media entre genotipo y fenotipo”. (Bedregal, et al., 2010, p. 366). En esta definición se logran identificar tres elementos que van a ser fundamentales para el desarrollo de esta propuesta: la genética, la embriología y la influencia del ambiente sobre el fenotipo. Además de desarrollar los aspectos históricos y conceptuales de los dos elementos mencionados anteriormente, se propone desarrollar un tercero: la evolución.

Otros autores han planteado definiciones de epigenética que incluyen ciertas variaciones, sin embargo, el fundamento es el mismo, consolidando de esta manera lo propuesto por Conrad Waddington (1939). Algunos de esos autores son Krause (2016), García (2012), Benítez (2018) y Ondarza, (2012) quienes a cerca de las definiciones de epigenética enuncian lo siguiente.

La definición del término epigenética resulta conflictiva, de hecho, actualmente existen dos usos de dicho concepto: 1) para explicar cambios en la herencia de fenotipos que no son atribuibles a cambios en la secuencia del ADN; y 2) para explicar cómo un organismo genera diversos fenotipos celulares a partir de un único genotipo. Tomando en cuenta los mecanismos considerados como epigenéticos, ambas definiciones no son integrativas. Sin embargo, en los últimos años se ha propuesto una definición más amplia de epigenética, en la que se considera como mecanismos modificadores de cromosomas que cambian la plasticidad fenotípica de una célula u organismo. (Krause, 2016, p. 5)

“El uso actual del término consiste en indicar cambios heredables en la estructura y organización del ADN que no involucran cambios en la secuencia y que modulan la expresión génica. Estos cambios en la expresión génica implican, entonces, cambios heredables en el fenotipo”. (García et al., 2012, p. 60)

la definición de epigenética considerada más amplia o tradicional es la que le atribuye a ese campo la tarea de estudiar la herencia transgeneracional (i.e. que se mantiene por generaciones, aunque este término también es un tanto polémico) de fenotipos nuevos que no se explican por cambios en la secuencia de los nucleótidos del genoma, es decir, que no se deben a mutaciones clásicas. (Benítez, 2018, p. 175)

La epigenética es la disciplina que se ocupa de investigar cómo los hijos pueden heredar y expresar lo que aparentan ser nuevos rasgos provenientes del comportamiento y entorno de sus padres sin cambios en el ADN subyacente. En otras palabras, las instrucciones provenientes del código hereditario son las mismas, pero algo las cancela sin que el componente genético se altere. (Ondarza, R., 2012, p. 200)

Uno de los principios de la epigenética trata de demostrar que además de estar ligadas entre sí la genética con la embriología, existe una conexión con la evolución, de manera que la explicación del desarrollo desde el genotipo al fenotipo tendría que necesariamente integrar el conocimiento de estas disciplinas. (Bedregal et al. 2010) En la figura 1 se ilustran algunos de los acontecimientos que pueden llegar a hacer visible la relación de la embriología, la genética y la evolución, lo cual permite establecer un diálogo entre estas tres disciplinas, y la forma en que la evolución se ha apoyado o encontrado sustento en la embriología y la genética, esto sin pretender en ningún momento afirmar que sea el propósito de estas dos disciplinas ni que sean equiparables las teorías de la evolución con la epigenética.

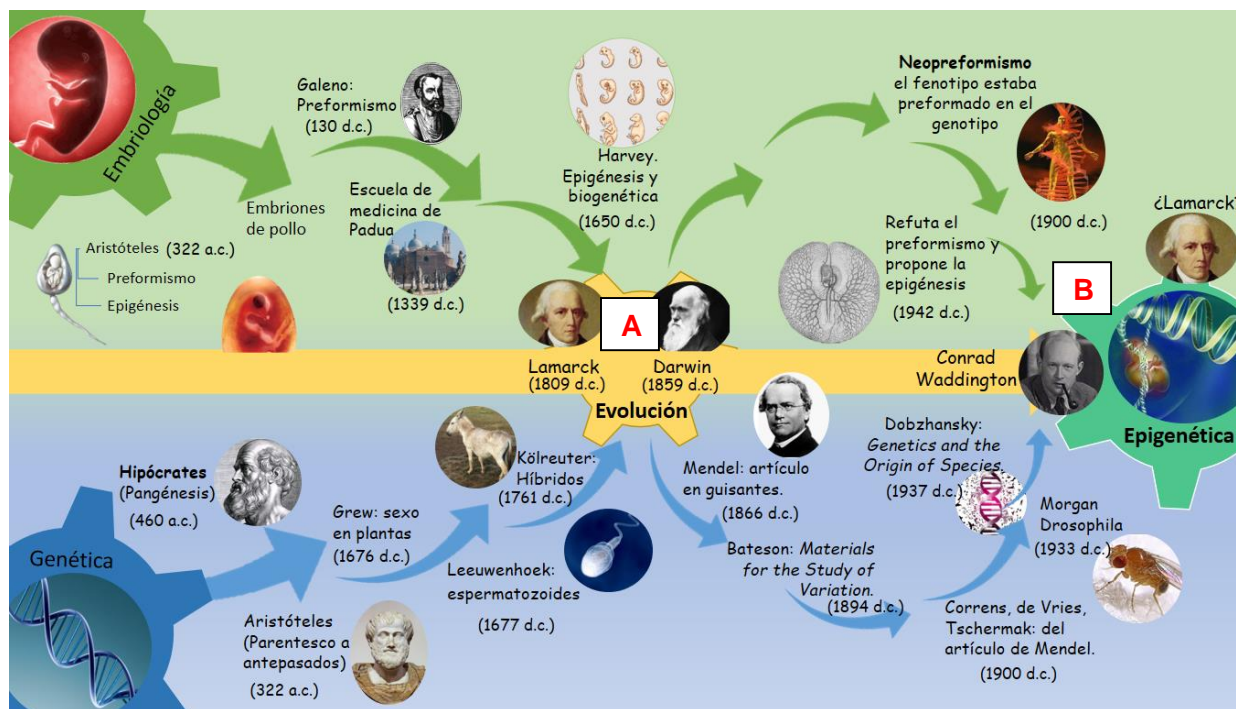


Figura 1 Cronología de la epigenética. Cronología del desarrollo de la epigenética y disciplinas asociadas. Se ilustra como el estudio de la embriología, la genética y evolución surgen y se desarrollan de manera independiente y en diferentes momentos, sin embargo, algunos de los aportes individuales han resultado útiles para fundamentar otras teorías. A. La evolución ha tomado elementos de la genética y la embriología. B. La epigenética integra elementos de la genética, la embriología y la evolución (Autoría propia).

Ésta conexión entre la embriología, la genética y la evolución se hace visible en diferentes momentos de la historia de la biología, especialmente con algunos autores que realizaron estudios, como por ejemplo la invención de protocolos y análisis de cruces y el desarrollo de híbridos de diferentes especies. Estos estudios aportaron tanto a las propuestas realizadas por Mendel en la genética, como a la evolución, estudiada por Darwin. Esta relación entre disciplinas de la biología, y su confluencia en la epigenética, es reafirmada por Bedregal (2010) y García (2012) de la siguiente manera:

A comienzos del siglo XX la Genética era considerada la ciencia de la herencia y la Embriología la del desarrollo. Waddington trató de demostrar que ambas disciplinas estaban estrechamente ligadas entre sí y con la evolución, de manera que la explicación del desarrollo desde el genotipo al fenotipo tendría que necesariamente integrar el conocimiento de ambas ciencias. (Bedregal et al., 2010, p. 366)

El impacto de la Epigenética y sus mecanismos de herencia en las teorías evolutivas y en la filosofía de la Biología es cada vez más profundo. La incorporación de la herencia epigenética a las teorías evolutivas extiende la visión del concepto de evolución y dirige las nociones de herencia y evolución a incorporar en el desarrollo. (García et al. 2012, p. 68).

4.2 La epigenética y la herencia

La epigenética fue propuesta por Conrad Waddington en 1939, definiéndola como “el estudio de todos los eventos que llevan al desenvolvimiento del programa genético del desarrollo” o el complejo “proceso de desarrollo que media entre genotipo y fenotipo” (Waddington, 1939). Sin embargo, esta definición tiene diferentes variantes o actualizaciones. Para los propósitos de este trabajo se utilizarán algunas de las definiciones que están más relacionadas con la herencia de caracteres, desde esta perspectiva se toma como uno de los elementos centrales el estudio de la herencia transgeneracional de fenotipos nuevos que no se explican por cambios en la secuencia de los nucleótidos del genoma, es decir, que no se deben a mutaciones clásicas (Burggren, 2014). Por otro lado, otras definiciones son más específicas respecto a la influencia del ambiente en la forma en la cual se expresan el genotipo idea que contradice la posición del determinismo genético que ha prevalecido durante la mayor parte del siglo XX (Benítez, 2018).

En los últimos años, la epigenética ha empezado a mostrar un nuevo enfoque gracias a los avances en el conocimiento de la influencia del ambiente extranuclear, extracelular y social en la regulación de la actividad genética, lo cual ha permitido validar la idea de que los genes no son el único elemento que interviene o condiciona el fenotipo de un individuo (Bedregal et al., 2010). Para comprender un poco mejor esta teoría, fue necesario ampliar la comprensión alrededor de los mecanismos que permiten la especialización de una célula. Fue solo hasta 1970 que logró comprobarse que el núcleo de una célula somática era competente en dirigir la embriogénesis cuando era introducida en un óvulo enucleado, y cómo cambios en la metilación del ADN modificaban la expresión génica sin alterar la secuencia de nucleótidos y además que

estos patrones podían ser mantenidos en sucesivas divisiones celulares. En la actualidad, además de la metilación en el ADN, se reconocen como mecanismos epigenéticos, las modificaciones en las proteínas que están estrechamente asociadas con el ADN, las histonas, y los micro-ARN (mi-ARN) (Torre, 2017). A continuación, se profundiza un poco en algunos conceptos básicos de los mecanismos epigenéticos, ya que esto resulta fundamental para distinguir de forma clara las diferencias entre estos mecanismos y los que están relacionados con las mutaciones.

4.2.1. Mecanismos epigenéticos

Para abordar el tema de la epigenética es necesario comprender algunos términos y proceso relacionados principalmente con la genética. En este orden de ideas resulta relevante empezar mencionando que las células eucariotas contienen una secuencia de ADN encerrado en un núcleo y plegado parcialmente en un complejo proteína-ADN denominado “nucleosoma”, que está constituido por un octámero de proteínas llamadas histonas³, que poseen aproximadamente 146 pares de bases nitrogenadas. Las histonas son modificadas por mecanismos denominados: modificaciones epigenéticas. Entre los cuales los más conocidos son: la metilación del ADN y las modificaciones postraduccionales de histonas (Krause, 2016).

La metilación del ADN

La metilación del ADN es la modificación epigenética más conocida y puede influir en el silenciamiento o activación de la transcripción⁴ de ADN. Consiste en la adición de un grupo metilo (CH₃) a la citosina, esto generalmente ocurre cuando las citosinas se encuentran seguidas de guaninas (dinucleótidos CpG) y usualmente están asociadas con el silenciamiento genético, debido a que se encuentran en regiones muy cercanas a los promotores de la transcripción, lo cual ocasiona que el ARN polimerasa no se una al promotor y, por lo tanto, no se lleve a cabo el

³ Proteína que proporciona soporte estructural a un cromosoma (Audesirk, 2013).

⁴ transcripción: síntesis de una molécula de ARN a partir de una de las cadenas de ADN que sirve de molde (Audesirk, 2013).

proceso de transcripción (Torre, 2017). En el genoma humano, los dinucleótidos CpG usualmente se concentran en regiones llamadas islas CpG. Los dinucleótidos CpG localizados fuera de las islas, por lo general, están metilados y participan en la estabilidad del cromosoma. En términos generales, la metilación del ADN es una modificación epigenética que implica que un grupo metilo se inserta en una citosina que está junto a una guanina, esta zona metilada del ADN compacta la cromatina y, por ende, los genes de esa posición no se pueden leer con normalidad



Figura 4 Islas CpG (Recuperado de <https://www.revistanefrologia.com/es-introduccion-epigenetica-nuevo-paradigma-nefrologia-articulo-X1888970017612260>)

Modificaciones postraduccionales de histonas

Dentro de un nucleosoma, cada una de las histonas, altamente conservadas, contiene un dominio globular estructurado, que interactúa con las otras histonas y el ADN. Las histonas poseen unas colas flexibles que sobresalen de la superficie lateral del nucleosoma. Las colas flexibles son muy básicas y son los sustratos para numerosas modificaciones. Estas modificaciones de las histonas se correlacionan con estados transcripcionales específicos, por lo cual se ha desarrollado la hipótesis de código histona, que sugiere que los patrones específicos de modificaciones se pueden leer como un código de barras molecular para poner en funcionamiento la maquinaria celular que se traduce en un estado distinto de la cromatina. Por ejemplo, los residuos de histona pueden modificarse de manera que promuevan la transcripción o el silenciamiento de diferentes secciones de ADN.

Las histonas compactan ADN cuando se metilan, mientras que durante la acetilación⁵ en las colas de las histonas produce una apertura de la cromatina. Además de estos dos procesos o cambios químicos de las histonas, hay otros procesos químicos, como la fosforilación y la carboxilación. Todos estos procesos químicos en equilibrio determinan ese cierre o apertura de la cromatina para que el ADN sea silenciado o se pueda leer (Torre, 2017).

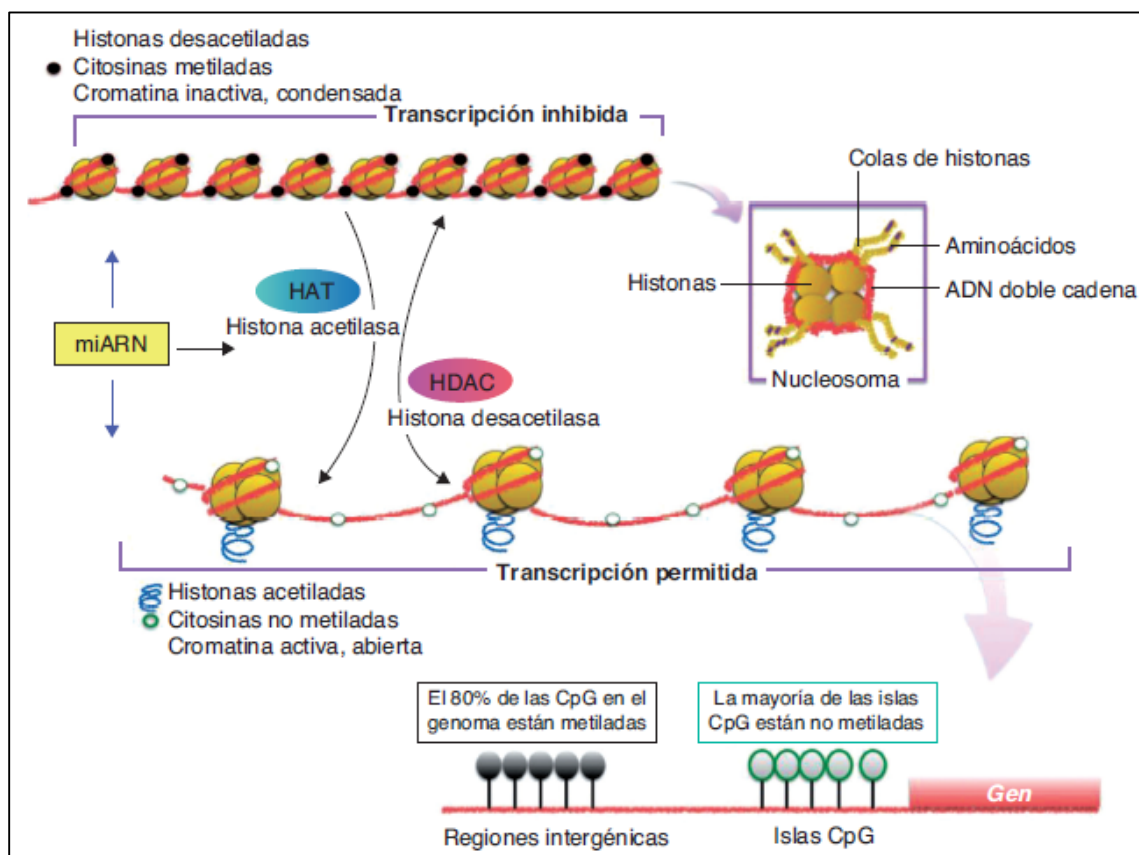


Figura 5. Representación de las diversas modificaciones epigenéticas. (Recuperado de <https://www.revistanefrologia.com/es-introduccion-epigenetica-nuevo-paradigma-nefrologia-articulo-X1888970017612260>)

4.2.2. Evidencia de programación epigenética

La evidencia actual muestra que los mecanismos epigenéticos participan activamente durante el desarrollo temprano, tanto en condiciones normales como subóptimas. Por otra parte, la invasión de trofoblasto es limitada por la expresión de la proteína Maspín, cuya expresión es

⁵ Reacción que neutraliza las cargas positivas de las histonas, convirtiendo las aminas en amidas y reduciendo así la capacidad de las histonas para unirse al ADN (Cardenas, 2016).

regulada dinámicamente por el intercambio de modificaciones postraduccionales en las histonas de su promotor. Así mismo, acetilaciones en las histonas regulan la expresión de la hormona similar a la somatomamotrofina, la cual se asocia a mayor crecimiento placentario y fetal. En enfermedades del embarazo, como preeclampsia y RCIU, se ha encontrado un incremento en la expresión de inhibidores de serín-proteasas inducidas por estrés (Serpin). Esto se ha asociado a hipometilación del ADN en los sitios de unión para el factor inducido por hipoxia (HIF) ubicados en el promotor del gen. Adicionalmente, estudios en modelos animales demuestran que la interacción posnatal del recién nacido con el ambiente y con su madre activan mecanismos epigenéticos que programan tanto el metabolismo como la conducta, modificando la metilación del ADN de genes asociados a la respuesta al estrés.

Adicionalmente, un creciente número de estudios ha revelado la presencia de marcadores epigenéticos, principalmente relacionados con la susceptibilidad a desarrollar diabetes tipo 2 en modelos animales de RCIU a través de la programación de la función hepática y pancreática, así como el metabolismo en el músculo esquelético. Así mismo, existe contundente evidencia de la función clave que tienen los mecanismos epigenéticos en el desarrollo de cáncer. En cambio, respecto al sistema vascular e inmune, cuyos desarrollos se encuentran altamente influenciados por mecanismos epigenéticos, existe una evidencia más limitada (Torre, 2017).

A continuación, se presenta una síntesis de los aspectos más destacados en el desarrollo de la embriología, haciendo énfasis en los acontecimientos que ofrecen un contraste con la mirada epigenética. Específicamente se presenta la teoría preformista y la epigénesis.

4.3. La epigenética y la embriología

El desarrollo histórico de la embriología se remonta a la época de Aristóteles en la antigua Grecia, cuando realizaba observaciones de embriones de pollo. Esos estudios son precursores de los avances en las ramas de la embriología analítica y de la epigenética del siglo XX. Esta antigüedad de la embriología es evidenciada en el texto de Quintero (2011) al mencionar que:

La epigenética, concepción frecuentemente atribuida a Conrad Waddington (1905-1975), ha estado estrechamente relacionada a una lucha en el campo intelectual por más de dos mil años. Postulada por Aristóteles bajo la denominación de epigénesis, en oposición a la concepción biológica preformacionista de Demócrito, ha ido variando en sus contenidos y alcances en consonancia con el desarrollo del conocimiento científico. (Quintero, 2011, p. 97)

En este desarrollo histórico de la embriología, el desarrollo morfológico ha resultado ser un tema que ha acaparado la atención desde hace varios siglos (Vecchi y Hernández, 2015). Así, Aristóteles, quien fue uno de los primeros estudiosos de la embriología, planteó dos hipótesis con principios diferentes:

El preformismo asume la preexistencia, dentro del óvulo o espermatozoide, de una entidad perfectamente estructurada, cuyo origen remonta a un acontecimiento de creación en el principio de los tiempos. Entonces, más que de desarrollo, se trata, en todo caso, del crecimiento de un organismo que está encapsulado en las estructuras sexuales, óvulo o espermatozoide (Vecchi y Hernández, 2015). Para ilustrar esta idea, en la figura 2 se muestra el conocido homúnculo de Nicolaas Hartsoeker, el cual proporciona una llamativa representación de esta postura.

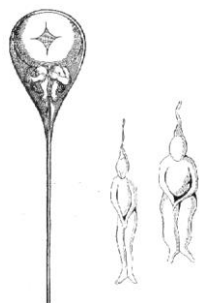


Figura 2. El homúnculo. Elaborado por Nicolaas Hartsoeker (<https://snappygoat.com/s/?q=bestof%3APreformation.GIF+Preformation+drawn+by+N+Hartsoecker+1695+PD-old+Preformation+theory+Nicolas+Hartsoeker+Homunculus#b074c554078be0a2c1b50d3e7e0418e1efb6e53e,0,98.>)

En contraste la **epigénesis** concibe el desarrollo como un proceso de ordenamiento de la materia embrionaria, inicialmente amorfa, hacia una forma biológica estructurada, un proceso

de estructuración del embrión amorfo bajo principios orgánicos de organización. (Vecchi y Hernández, 2015) La figura 3 representa la masa amorfa a partir de la cual se origina el nuevo organismo.

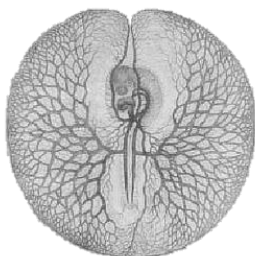


Figura 3. Embrión de pollo. Elaborado por Dálton. (Recuperado de <https://www.timetoast.com/timelines/avances-de-la-genetica-a-traves-de-la-historia>).

Si por un lado el preformismo estuvo naturalmente ligado a un marco creacionista, la epigénesis estuvo ligada naturalmente a algunas formas de animismo y vitalismo. En efecto, si asumimos que los principios que gobiernan el proceso del desarrollo embrionario no se explican por la pre-existencia de un orden inmanente, cuyo origen remonta a un gesto original de creación, entonces es necesario explicar cómo el orden orgánico emerge en cada generación. De esta forma, la epigénesis se compromete con explicar cómo la materia se desarrolla desde un estado indefinido hacia uno claramente definido bajo principios naturales. (Vecchi y Hernández, 2015) Desde esta perspectiva es importante destacar la visión de Aristóteles sobre el estudio de la embriología, aspecto que es resaltado por Quintero (2011) con la siguiente afirmación:

Durante mucho tiempo el término epigénesis estuvo estrechamente relacionado con una lucha en el campo intelectual entre quienes postulaban que el desarrollo biológico no era más que el crecimiento de un organismo que estaba ya preformado y quienes creían que un nuevo organismo se podía desarrollar partiendo de una porción de material viviente amorfo, mediante un proceso de diferenciación de sus partes (p. 97).

El desarrollo de las ideas de Aristóteles sobre la epigénesis y el preformismo también dieron paso a reflexiones importantes sobre los métodos de estudio de los seres vivos. Estas

ideas tuvieron gran influencia sobre los pensadores de la época, sobre estos planteamientos, Ferrer (2016) plantea lo siguiente:

Aristóteles aportó el razonamiento lógico necesario para el establecimiento de un pensamiento crítico, basado en la observación como método científico de cognición, con la aplicación de su concepción materialista de la naturaleza. Superó así la interpretación místico-religiosa del desarrollo embriológico para enfrentar la naturaleza por medio de la experiencia y rompió con la concepción idealista de su maestro Platón, aunque como reflejo de su dualismo filosófico, propuso dos posibles ideas para explicar el desarrollo embrionario: inicialmente pensó que los embriones estaban preformados dentro del huevo y solo necesitaban crecer durante su desarrollo (núcleo esencial del preformismo); luego consideró que los embriones y sus nuevas estructuras iban surgiendo poco a poco como consecuencia de los cambios que se producían a partir del desarrollo de un principio amorfo, lo que constituyó el núcleo esencial de la teoría epigenetista del desarrollo (p. 2165).

4.3.1. Constante lucha entre el preformismo y la epigénesis

Desde la época de Aristóteles con el postulado del preformismo y la epigénesis se dio inicio a varios siglos de controversia entre estas dos teorías para tratar de dar cuenta del desarrollo embrionario. Al igual que ocurrió con las ideas sobre la generación espontánea, las ideas preformistas prevalecieron durante varios siglos y las evidencias que dieron paso a su refutación no surgieron sino hasta mucho tiempo después. Incluso, luego de ser refutado el preformismo, surgió una variación llamada neopreformismo, la cual también fue refutada por Conrad Waddington, quien es conocido por proponer la epigenética.

Después de las primeras descripciones sobre el desarrollo embrionario, a partir de observaciones diarias en huevos de gallinas, incubados en forma natural, realizadas por Hipócrates de Cos (460-377 a. c.) y Aristóteles en la Grecia antigua, no se conocen aportes importantes recogidos en la antigüedad, a no ser los trabajos de Galeno realizados en la Roma

antigua, que ulteriormente propiciaron en Europa el fortalecimiento del preformismo en la Edad Media. Esta lucha entre las ideas preformistas y la epigénesis desde antigua Roma se hacen evidentes en el texto “Preformismo y epigénesis en la historia de la embriología” de Ferrer (2016), en el cual se propone lo siguiente:

Después del fallecimiento de Claudio Galeno, se estancó el desarrollo de la embriología en Europa occidental, porque con la caída del Imperio romano occidental (siglo III n.e.) y el posterior establecimiento del feudalismo, la concepción idealista creacionista predominante, constituyó la base del preformismo, con la prohibición absoluta de la influencia del pensamiento filosófico grecorromano, aunque se mantuvieron los fundamentos básicos del contenido de la medicina, la anatomía y la fisiología galénica, transformada en concepción creacionista (p. 2165).

Las ideas preformistas del desarrollo embrionario prevalecieron durante varios siglos, sin embargo, en los siglos XV al XVII empieza a resurgir la idea de la epigénesis gracias a diferentes pensadores y al desarrollo de diversas técnicas que marcarían el surgimiento de una nueva forma de estudio de la embriología. Esos mismos pensadores fueron presentando avances que se constituyeron en evidencias que permitirían refutar las ideas preformistas. Ferrer (2016) y Vechi (2015) se refieren al resurgimiento de la epigénesis y la refutación del preformismo al mencionar los siguientes apartados en sus respectivos textos:

Leonardo da Vinci (1452-1519), genio más prominente de la época del Renacimiento, brindó su aporte a la consolidación científica de la anatomía y la embriología como disciplinas independientes y entre estos figuraron: Propuso el método de estudio racional de la anatomía a través de la disección de cadáveres humanos... Introdujo el estudio de la embriología mediante los cambios cuantitativos, sobre la base de mediciones del crecimiento prenatal. Demostró la existencia de 12 pares de costillas en los humanos, lo cual permitió consolidar las bases del materialismo de la nueva filosofía naturalista naciente, en su lucha contra el idealismo creacionista teleológico

medieval. De este modo refutó la teoría preformista acerca de la interpretación errónea del origen de Eva y la creación divina del universo. Este fue su aporte trascendental a la teoría epigenética (p. 2166).

El preformacionismo tradicional era una tesis cuyo espíritu conservador le impedía concebir los cambios que podría sufrir la forma orgánica a través del tiempo. Por esto mismo tendría complejas dificultades para explicar el parecido de un organismo a ambos progenitores. Si bien el organismo adulto estaría pre-formado en el óvulo de la madre o en el líquido seminal del padre, era imposible no señalar el evidente parecido a ambos progenitores. Esta crítica, que se extendía también hacia la existencia de híbridos – una mula por ejemplo – y a las malformaciones, podía al parecer sólo explicarse por procesos epigenéticos (p. 579).

Con los aportes de Gaspar Wolff y otros pensadores del siglo XVII se da paso a la embriología analítica experimental, con la cual se termina de refutar completamente el preformismo y se da paso a una mirada epigenética del desarrollo embrionario. Sin embargo, con el desarrollo de la genética empieza a surgir una nueva forma de preformismo conocida como neopreformismo, la cual se funda en la idea de que el fenotipo está preformado en el genotipo, noción que está acorde con el determinismo genético de principios del siglo XX. Finalmente es Conrad Waddington quien refuta este neopreformismo a partir del desarrollo de la epigenética. Esta refutación del neopreformismo a partir de los fundamentos de la epigenética es argumentada por Ferrer (2016) de la siguiente manera:

Tales contribuciones experimentales favorecieron el desarrollo de la teoría epigenetista en la embriología contemporánea, aunque Roux se halla alineado con la teoría del neopreformismo, con sus hipótesis sobre el desarrollo de los organismos en mosaico y el preformismo genético, con lo cual en la primera mitad del siglo XX, cobraba fuerza en biología el preformismo, a partir del determinismo genético, con los conceptos

de gen y rasgos y las correlaciones matemáticas establecidas entre los cromosomas de las células sexuales y la transmisión de caracteres en el organismo adulto (p. 2171).

Conrad Hall Waddington, embriólogo y paleontólogo escocés, refutó en 1942 al neopreformismo, al demostrar que la herencia es más que la suma de genes; asimismo, profundizó en el término epigenética y argumentó el estudio de las interacciones entre el genotipo y el fenotipo en plantas, animales y seres humanos, sobre la base del análisis de cambios heredables en la estructura y organización de ADN genético, producidos por patrones de metilación, capaces de modular la influencia de la expresión del fenotipo del material genético, mediante factores ambientales sin afectar la secuencia de los genes (p. 2172).

4.3.2. Relación epigenética-preformismo-epigénesis

Uno de los objetivos que se plantea en este trabajo es identificar relaciones y distanciamientos entre las teorías de la biología y la epigenética. Así, en este apartado se ha desarrollado el tema de la embriología, haciendo énfasis principalmente en dos teorías: el preformismo y la epigénesis, planteando algunas conclusiones sobre lo que se ha presentado en este apartado sobre estas teorías y su relación con la epigenética.

Para comenzar es importante recordar que los planteamientos del preformismo y la epigénesis son completamente diferentes, mientras la primera reconoce un ser vivo formado completamente en los gametos (visión determinista), la epigénesis enfatiza en el desarrollo del embrión desde una masa amorfa a partir de la cual se forman los órganos y tejidos. Esa mirada preformista perduró varios siglos, sin embargo, gracias al desarrollo de la ciencia y los avances en la embriología se refutó y con ello surgió epigénesis, una de las teorías sobre las cuales tiene sus bases la epigenética. La epigenética, es cercana a la epigénesis ya que ambas reconocen la naturaleza compleja del desarrollo embrionario, en la cual no solo interviene el genotipo de un ser vivo, sino que el ambiente también tiene influencia sobre el fenotipo.

Posteriormente con el desarrollo de la genética surgió una nueva variante llamada neopreformismo, según la cual el ser vivo está preformado en el genotipo, sin embargo, Conrad Waddington refutó esta idea al plantear la epigenética y demostrar la existencia de factores que están por encima del genoma y que intervienen en la activación o silenciamiento de los genes. Solo por mencionar un ejemplo se puede pensar en el desarrollo embrionario del cocodrilo, pues su sexo no está definido en su genotipo, sino que es influenciado por la temperatura del ambiente.

Con lo anterior se pretende dejar claro el distanciamiento de la epigenética con el preformismo, y la cercanía de la epigénesis con la epigenética, dejando en evidencia la relación de la epigenética con estas teorías de la embriología y dejando abierto el camino para indagar sobre otras disciplinas como la genética y la evolución.

A continuación, se realiza una síntesis de los aspectos más destacados en el desarrollo de la genética, haciendo énfasis en los acontecimientos que ofrecen un contraste entre la genética clásica y la mirada epigenética.

4.4. La epigenética y la genética

Al consultar sobre los acontecimientos históricos sobre el desarrollo de la genética se encuentra énfasis en los descubrimientos desde el año 1900, lo cual es comprensible, si se reconoce el inicio de la genética con el redescubrimiento de los trabajos de Gregorio Mendel. Sin embargo, algunos experimentos y observaciones relacionadas con la reproducción, el cruzamiento y la producción de híbridos fueron importantes para el desarrollo experimental y teórico presentado en los análisis de Mendel. Algunos de esos acontecimientos serán retomados del anexo del libro "Una historia de la genética" de Sturtevant (1965), los cuales son presentados a continuación.

Hipócrates desarrolló una teoría parecida a la que más tarde propuso Darwin, que llamó "pangénesis". Según este punto de vista, cada parte del cuerpo produce algo que, de alguna manera, es recolectado por las células germinales. Esas serían las bases materiales de la herencia, ya que se desarrollarían dando lugar a los caracteres de la descendencia.

Aristóteles dedicó un amplio capítulo a la crítica de esta hipótesis, señaló que los individuos a veces se parecen a antepasados remotos en lugar de a sus padres.

El análisis de Mendel no podría haberse hecho sin tener algún conocimiento de los hechos de la fecundación, específicamente, que un huevo y un espermatozoide se unen para formar el cigoto.

C. F. Wolff (1759) consideró que el huevo fecundado era una estructura relativamente homogénea, a partir de la cual las partes del embrión se desarrollaban de novo. Esta idea, conocida como epigénesis, se ajustaba más fácilmente con la teoría celular y con los resultados experimentales de los hibridadores.

Kölreuter publica de 1761 a 1766 el estudio sistemático de los híbridos de plantas. Su trabajo sienta los principios del tema y fue reconocido por Darwin y por Mendel, que lo comentarían alrededor de cien años más tarde. Estudió el propio proceso de polinización, la estructura del polen y fue el primero en describir la diversidad de granos de polen que puede encontrarse en las plantas con semillas

Tras Kölreuter, hubo muchos hombres dedicados al estudio de los híbridos en plantas, pero es probable que la mejor descripción general del estado de conocimiento en la época de Mendel se encuentre en la discusión del libro de Darwin, *The Variation in Animals and Plants under Domestication* (1868).

Darwin recolectó una gran cantidad de información obtenida de los trabajos sobre la hibridación de plantas, de la mejora práctica de animales domésticos y plantas cultivadas, y de jardineros, cazadores y mejoradores. En el caso de la herencia, concluyó que el cruzamiento tiene un efecto unificador.

La propia teoría de Darwin sobre la herencia (pangénesis) no fue bien recibida por la mayoría, pero aparentemente sirvió para sugerir las teorías particuladas de Weismann y de Vries, que allanaron el camino en 1900 para la apreciación del trabajo de Mendel.

Debe tenerse en cuenta que las personas que realizaron hibridaciones con anterioridad citados en el trabajo de Mendel (Kölreuter, Gärtner, Herbert, Lecoq, y Wichura) fueron todos botánicos. Como Mendel se refirió a ellos, debemos suponer que tuvieron influencia en su trabajo.

En el año 1865, un monje austríaco, Gregorio Mendel, publica el artículo “Experimentos en la hibridación de plantas”, donde desarrolla los principios fundamentales de la genética y expone los resultados de sus estudios con guisantes. Mendel demostró que las características hereditarias están contenidas en unidades que se heredan por separado en cada generación.

La publicación del trabajo de Mendel de 1866 es el punto de partida en la historia de la genética; pero, como es bien conocido, el artículo pasó desapercibido hasta 1900, cuando fue encontrado. Entonces, su importancia fue ampliamente reconocida de forma inmediata.

Años después el enfoque bioquímico del estudio de la naturaleza del material genético se inicia con el trabajo de Miescher (1871). Estudió los núcleos de las células y describió una sustancia que él llamó nucleína.

Los trascendentales descubrimientos de Mendel permanecieron en el olvido durante 4 décadas, hasta que fueron retomados en 1900 por los botánicos Hugo de Vries, Carl Correns y Eric Von Tschermak.

El avance en el estudio de la genética durante el siglo XX fue muy amplio y significativo, por lo cual a continuación se menciona solo una pequeña parte de ellos. Cabe aclarar que esta selección está direccionada en gran medida por la relevancia de los estudios para lograr la comprensión y surgimiento de la epigenética:

- En 1906 el biólogo británico William Bateson propone el término "Genética" para denominar a la nueva ciencia de la herencia.
- En sus estudios de material derivado de timo y de células de levadura, Kossel demostró la existencia de dos clases de ácido nucleico, los cuales se conocen

ahora como ácido desoxirribonucleico (DNA) y ácido ribonucleico (RNA, respectivamente.

- Ascoli (1900) y Levene (1903) mostraron que los dos contienen adenina, citosina y guanina, mientras que la timina del DNA es reemplazada por el uracilo en el RNA. Posteriormente Levene también estableció la presencia de desoxirribosa y ribosa, respectivamente, como los azúcares presentes en esos compuestos.
- Tatum y Beadle en 1941 describen los genes (ARNm) que codifican las proteínas y más tarde, en 1953, Watson y Crick determinan que la estructura del ADN es una doble hélice de direcciones antiparalelas.
- En los últimos años de la década de los 70, Sanger, Gilbert y Maxam secuencian el ADN completo del genoma del bacteriófago, un virus que infecta exclusivamente a bacterias, y en 1990 se funda el Proyecto Genoma Humano.

A pesar de que los avances mencionados anteriormente han posibilitado la comprensión y la consolidación de la genética como la ciencia de la herencia, también permitieron el surgimiento de otros tipos de investigaciones, en las cuales se lograron evidenciar otros tipos de relaciones que se apartan de una visión clásica y determinista, hacia una mirada compleja que reconoce la influencia de elementos, diferentes al ADN, sobre el fenotipo de los seres vivos, y es precisamente en este punto que surge la epigenética.

La genética y la epigenética

Los avances en el estudio de la genética mencionados anteriormente han traído consigo algunas interpretaciones deterministas⁶ las cuales consideran que nada ocurre por accidente y que todas las cosas tienen una causa. De esta forma los estudios en el campo de la genética dieron paso a explicaciones relacionadas con las causas que definen tanto la morfología de los

⁶ El determinismo sostiene que nada sucede al azar sino que todo se debe a causas necesarias y que al conocer las condiciones previas de un suceso, es posible predecir su existencia y sus características

seres vivos como la explicación a sus comportamientos. En relación a esta mirada determinista, su postura y algunas de sus falencias, Guzmán (2016) menciona lo siguiente:

El determinismo asume la postura de trasladar toda la responsabilidad de los conflictos sociales a los genes; sin considerar, la importancia de la dinámica social en el comportamiento de los individuos. En la actualidad, las ciencias y en especial la biología en áreas como la genética conquistan de una manera acelerada nuevos campos de la experiencia y nuevos reinos de la determinación, que ejercen progresivamente una influencia totalitaria y hegemónica en la vida humana (p. 154).

Dentro de esta misma línea de ideas es importante reconocer la relación entre el determinismo genético y la mirada que tiene la genética clásica de la expresión de los genes, así como la forma en que estos inciden en el desarrollo del fenotipo. Esta idea y la existencia de vacíos en las explicaciones clásicas de la expresión de los genes son argumentadas por Badosa (2013) de la siguiente manera:

No somos nuestros genes. Ellos son solamente parte de nuestra historia. No podemos culpar plenamente nuestro genoma por nuestro comportamiento y susceptibilidades a las enfermedades. En un libro clásico de bioquímica para los estudiantes de Medicina y Biología (el "Lehninger") podemos encontrar una definición más precisa: nosotros somos nuestras proteínas. Lo que sí es cierto es que nuestras proteínas se generan a partir del nuestro ADN con un estado intermedio como el del ARN, e incluso algunas veces estas moléculas de ARN se quedan por el camino: son los denominados ARN no codificantes, importantes en el desarrollo y ciertas funciones celulares. Pero la estricta secuencia de ADN, el típico tema de estudio de la genética clásica, no puede explicar completamente la funcionalidad de nuestras células, sus trastornos en enfermedades complejas o la definición de nuestra especie. Necesitamos algo más (p. 1).

En el contexto descrito anteriormente, en el que prevalece esta mirada clásica y determinista, surge la epigenética con la cual se reconoce la influencia del ambiente sobre la expresión del fenotipo. Esto resulta relevante ya que dentro de la visión de la genética clásica o gen-centrista existían vacíos que no pueden ser explicados completamente a partir del estudio de la expresión del ADN y desconociendo otros tipos de relaciones. Respecto a las posibilidades de relación del ambiente y el fenotipo desde la mirada epigenética, Pinazo (2012) y Fusaro y Grilli (2012) mencionan lo siguiente:

En 1942, Waddington propuso el término epigenética (del griego *epi*, «sobre», «además de») para explicar fenómenos cuyo entendimiento excedía a la genética clásica. Es la habilidad de cambiar la actividad génica sin que varíe la secuencia génica. La epigenética permite añadir una gran dosis de indeterminismo a la genética, reforzando la importancia del ambiente en relación con la expresión de genes y sus variaciones a lo largo de la vida (p. 36).

A pesar de los extraordinarios avances, la genética clásica por sí sola no puede explicar la diversidad de fenotipos que existen en una población, ni tampoco puede revelar por qué idénticas secuencias de ADN en gemelos homocigotas o animales clonados tienen diferentes fenotipos y diferentes susceptibilidades a diversas enfermedades. Surge entonces la era de la epigenética (p. 24).

Desde esta perspectiva se resalta un aspecto importante que está relacionado con la complejidad de los sistemas vivos, en concordancia con lo cual no es del todo coherente explicar el desarrollo de un ser vivo simplemente desde el programa genético, sino que debe ser abordado tomando en cuenta otros factores como el ambiente propuesto en la epigenética. Sobre esta visión de complejidad que está implícita en la epigenética Herrero (2008) plantea lo siguiente:

Esta nueva matemática de la complejidad explica cómo las formas biológicas y las funciones de un organismo no están determinadas solo por las características

genéticas del organismo, sino que son propiedades emergentes de toda la red epigenética (interrelación entre el núcleo y el citoplasma de la célula). Para entender la emergencia de formas nuevas, se necesita entender no sólo la estructura genética y la bioquímica celular sino también su relación con el ambiente. (...) Los nuevos descubrimientos como la edición alternativa, el origen de la complejidad del genoma y la red epigenética llevan a la sugerencia que las actividades del genoma están reguladas por las redes celulares en las cuales está embebido. Esta red es no-lineal, conteniendo múltiples bucles de retroalimentación, de manera que los patrones de actividad genética continuamente están cambiando en respuesta a circunstancias cambiantes (pp. 402-405).

Al poner en consideración esta mirada compleja sobre la epigenética resulta inevitable hacer varios cuestionamientos, no solo de los conocimientos sobre el área de la genética sino también de las otras áreas que se han apoyado en ella para sustentar sus teorías, ese es el caso de la evolución. De forma muy general, las implicaciones de este cambio en la visión determinista y la genética clásica de la epigenética sobre la evolución, es mencionado por Benítez (2018) y Dressino (2017):

Cuando la epigenética es definida como campo de estudio de la emergencia y herencia de nuevos fenotipos en ausencia de cambios en la secuencia del ADN en el genoma, al desafiar la manera clásica de pensar el determinismo genético, parece sacar automáticamente de su sepultura a la vieja idea de la herencia de caracteres adquiridos y, por lo tanto, a Lamarck (p. 176).

Se concluye que la TSD: 1-logra argumentar en contra de la visión gen-centrista respecto de las explicaciones que pretenden justificar el desarrollo biológico y evolutivo; 2- argumenta de manera coherente a favor del rol de la epigenética en la ontogenia y la evolución; 3- en relación con lo anterior el rol de la selección natural se restringe a un segundo plano (p. 265).

En este orden de ideas es importante mencionar la forma en que la genética ha resultado ser un soporte importante para la evolución, sin embargo, los nuevos planteamientos epigenéticos, que están muy alejados de la mirada determinista y clásica, pueden traer consigo un cambio de visión importante, en el cual se hace énfasis en la importancia del ambiente. Varios autores entre los cuales se encuentran Fusaro (2012), Vanney (2020) y Dressino (2017) han logrado establecer argumentos que fundamentan la teoría evolutiva desde puntos de vista que no habían sido considerados desde la mirada clásica de la genética. Algunos de los argumentos presentados por los autores mencionados anteriormente son:

Los fenómenos epigenéticos desempeñan un importante papel en el desarrollo y la evolución, e incluyen las modificaciones de las histonas y la metilación del ADN y que el fenotipo o propiedades morfológicas y funcionales de un organismo está definido por la programación del genoma bajo la influencia del ambiente (p. 23).

Las aproximaciones epigenéticas no ignoran los componentes genéticos de la innovación -como las variaciones genéticas o el gen regulador de la evolución-, pero las asumen como consideraciones siempre presentes en el contexto de trabajo, a la vez que se concentran en intentar explicar los mecanismos que subyacen en la generación de novedades (p. 3).

Es evidente que la epigenética ha jugado un papel clave como mecanismo evolutivo en la nueva visión de la evolución. Según Griffiths y Gray (2001), la herencia epigenética condujo a la generación de un modelo 'multicanal' de herencia compuesto por canales separados de transmisión de la información. El sistema multicanal más elemental lo conforma un sistema de herencia binaria compuesto por genes y cultura (p. 271).

Acercas de todo lo mencionado anteriormente, existen estudios realizados que fundamentan la importancia de la epigenética como un factor importante en la expresión del

genotipo. Algunos de esos estudios son referenciados por Macías (2018) y Sánchez (2008) a continuación:

La mejor evidencia para ejemplificar la herencia epigenética o de caracteres adquiridos es el de los experimentos con ratones Agouti. Una característica de estos ratones es que su color amarillo puede cambiarse a marrón con la ingestión de alimentos ricos en grupos metilo (grupos químicos que se unen al ADN para modificar la expresión de genes (p. 134).

En los últimos años, se ha demostrado que desórdenes comunes como la obesidad, la diabetes tipo II, la hipertensión, el asma y la esquizofrenia tienen su origen en la nutrición durante la gestación y la lactancia. La programación epigenética del feto en el útero y durante el desarrollo postnatal está bajo la influencia del medio metabólico durante el embarazo y de la cantidad y la calidad de nutrientes disponibles a través de la dieta materna, respectivamente (Macías, Zazueta, Mendoza, Rangel y Padilla, 2008, p. 53).

Para lograr comprender la influencia de la epigenética, se presenta en el caso de los gemelos, ya que han sido objeto de estudios que han demostrado que a pesar de tener la misma información genética, existen factores epigenéticos que explican sus diferencias no solo en cuanto a la apariencia física sino también en las enfermedades que presentan a lo largo de sus vidas. Sobre este caso específico Badosa (2013), Macías (2008) y Sánchez (2011) presentan las siguientes afirmaciones:

En la vida real en Ciencias Biomédicas nos enfrentamos con muchos casos en los que la genética no está a la altura de las expectativas. Uno de los casos más evidentes son los gemelos monocigóticos. Estas personas son "clones naturales" y, por lo tanto, comparten la misma secuencia de ADN. Aun así, la penetrancia de la enfermedad en estas personas puede ser muy diferente y los gemelos discordantes siempre han sido una cuestión desconcertante para los investigadores biomédicos. Un ejemplo pueden ser

dos hermanas gemelas monocigóticas con la misma mutación germinales penetrantes para el cáncer de mama hereditario del gen BRCA1, pero una desarrolla un cáncer de mama a los treinta y cinco años, mientras que el otro lo hace a los sesenta y cinco años de edad (p. 2).

Los gemelos monocigóticos, los cuales son considerados organismos genéticamente idénticos ya que provienen de un mismo cigoto, pueden presentar diferencias epigenéticas, lo cual se manifiesta en diferencias fenotípicas (Wong y col., 2005). Los gemelos monocigóticos, a pesar de que comparten un mismo genotipo, no son idénticos; ya que presentan diferencias en la susceptibilidad a enfermedades, así como características antropomórficas distintas (p. 54).

Las evidencias experimentales han demostrado con contundencia que el ambiente influye en el genoma, lo cual podría explicar cómo individuos con genomas idénticos, como los gemelos, presenten diferentes comportamientos, diferentes respuestas ante tratamientos farmacológicos y diferente susceptibilidad frente a una patología determinada, es decir, diferentes «fenotipos» (características observables de un individuo) (p. 106).

4.4.1. Relación genética clásica-determinismo genético-epigenética

Continuando con el propósito de responder al segundo objetivo de este trabajo, se identifica una relación de distanciamiento entre la genética clásica, el determinismo genético, y la epigenética. Como se mencionó anteriormente, en el determinismo genético se limita todo lo que es, o será, un ser vivo a su genotipo, lo cual a su vez está asociado a la visión clásica de la genética. Estas ideas deterministas han venido acompañadas de intensos debates éticos y morales que han inspirado producciones cinematográficas como “Gattaca”. Sin embargo, con el surgimiento de la epigenética se comprueba con argumentos científicos algo de que antes solo era una inferencia: “No somos nuestros genes, ellos son solamente parte de nuestra historia” (Badosa, 2013, p. 1). Así, la epigenética llega para reconocer que el ambiente también tiene algo

que decir en el momento en que se expresan los genes, la epigenética escapa de esa visión determinista y reconoce un nuevo nivel de complejidad al incluir elementos que antes se habían ignorado.

De esta forma se distancia el determinismo genético de la epigenética, y se da paso a una nueva mirada del desarrollo de los seres vivos en la cual el fenotipo no es únicamente la expresión del genotipo. Se abre una mirada más compleja con múltiples posibilidades y proyecciones sobre otras áreas de la biología, tales como la evolución, para la cual el estudio y explicaciones de la herencia resultan fundamentales, tal como se verá a continuación.

4.5. La epigenética y la evolución

La palabra evolución, en sentido literal y cotidiano significa cambio, sin embargo, su uso en la biología, implica que un organismo deja descendencia con determinadas modificaciones y, casi siempre, con diferentes características (Futuyma, 2005). Hace casi dos siglos, empezaron a surgir teorías relacionadas con el origen de las especies y la evolución, y fue durante el siglo XX con los avances tecnológicos y el desarrollo de la genética, que se logró profundizar en las nuevas teorías o enriquecer las ya existentes. A continuación, se presentan algunos elementos centrales que ilustran el desarrollo y comprensión de las teorías evolutivas.

En cuanto al desarrollo histórico y epistemológico de la evolución, se identifican tres etapas: la primera abordará las ideas anteriores a la propuesta de evolución realizada por Charles Darwin en el siglo XVII, haciendo especial énfasis en la herencia de caracteres adquiridos de Lamarck, la segunda abarca el desarrollo de la teoría de la evolución por selección natural, y por último se abordarán los aportes posteriores a la teoría de Darwin, principalmente desde la genética y algunas de las propuestas neolamarckistas.

4.5.1. Propuestas predarwinianas

Varios siglos antes de que Charles Darwin planteara su teoría de la evolución por selección natural, ya había una conciencia de la diversidad de los seres vivos lo cual condujo a

que se realizaran muchos intentos para explicar esta diversidad de formas. Estas explicaciones pueden dividirse en dos grandes grupos:

- Las explicaciones fijistas, que afirman que las especies no cambian y reconocían su origen como una forma de generación espontánea.
- Las explicaciones transformistas afirmaban que las especies provienen unas de otras, y las diferencias entre estas se producen con el paso del tiempo.

Algunos de los llamados primeros transformistas o protoevolucionistas fueron los filósofos presocráticos Tales de Mileto y Empédocles, quienes mantenían una visión dinámica y cambiante de los seres vivos. Sin embargo, las ideas fijistas, con un alto grado de coincidencia con el creacionismo, prevalecieron de manera incuestionable desde la antigua Grecia hasta los siglos XVIII y XIX con los argumentos presentados por Lamarck y Darwin (Makinistian, 2004). Estas nociones iniciales y su importancia en el desarrollo de las teorías sobre el cambio de las especies y su transformación son argumentadas por Pérez (2011):

Mucho antes que Darwin ya se era consciente del polimorfismo de lo viviente, de forma que se llevaron a cabo diversos intentos para explicarlo. Las distintas propuestas pueden agruparse en dos grandes bloques. Estarían por una parte las explicaciones fijistas, que postulaban la invariabilidad de las especies y aceptaban la aparición única y espontánea de las mismas. Con ellas chocarían, de otra parte, los postulados transformistas, que hacían derivar las especies unas de otras, siendo las diferencias producto del tiempo (p. 24).

En ese cambio de pensamiento fijista al transformista, Lamarck jugó un papel muy importante, ya que es considerado por algunos autores como la primera persona en cuestionar las explicaciones fijistas y proponer el cambio de las especies en el tiempo. Algunos de los autores que sustentan esta idea son Gimenez (2015) y Benítez (2018):

Este efecto diferencial inducido por el ambiente (o conjunto de circunstancias) en el desarrollo de los organismos podría, según Lamarck, ser heredado a las próximas

generaciones. Por primera vez se cuestionaba la idea generalizada en el siglo XVII, denominada “fijismo”, que sostenía que las diversas formas biológicas conocidas aparecían por medio de un fenómeno “creador” y que las mismas permanecían inmutables (p. 96).

la originalidad de Lamarck respecto a esta noción antigua era en realidad la postura de que la herencia de caracteres adquiridos era “un agente de cambio ilimitado”. Esta postura se oponía al fijismo que solía atribuírsele a la creación divina (la idea de un mundo creado por Dios, mundo que se concebía como acabado y fijo, al menos en lo que concierne a las criaturas vivientes) y hay quien considera que la de Lamarck fue “la primera teoría estructurada que proponía la transformación progresiva de las especies (p. 176).

Las ideas de Lamarck no solo fueron importantes para el cambio de percepción fijista a transformista, sino que también junto con importantes pensadores transformistas, como el conde de Buffon, Charles Lyell, inspiraron el camino que recorrió Darwin para plantear su teoría de la Selección Natural. De hecho, la teoría de Lamarck fue tan significativa que, incluso Charles Darwin retomó algunos de sus elementos para formular su teoría, y posterior a él surgieron defensores de sus postulados y toda una corriente ideológica conocida como: el lamarckismo y el neolamarckismo, la cual tiene sus bases en las ideas de Lamarck sobre la evolución, especialmente en la herencia de caracteres adquiridos.

Sobre la importancia de los argumentos de Lamarck para el desarrollo de las teorías evolucionistas y en especial la de Darwin, García (2012) y Benitez (2018) afirman que:

En realidad, Darwin aceptó la teoría de Lamarck y asoció la causa de variación con cambios en el medio ambiente, declarando: “variaciones de todas las clases y grados son directamente o indirectamente causados por las condiciones de vida a las que cada individuo ha sido expuesto y más especialmente sus ancestros (p. 68).

Sin embargo, ¡oh, sorpresa!, Darwin también creía en la herencia de caracteres adquiridos, así como en la influencia del uso y de la falta de uso de las partes corporales en dichos caracteres heredados. Es más, en el capítulo V de *El Origen de las Especies*, en la sección “Efectos del uso y de la falta de uso”, Darwin emplea una retórica que se parece muchísimo a la de Lamarck (p. 177).

En este sentido el trabajo de Lamarck toma una importancia que es desconocida por muchas personas que ven como único responsable de las teorías evolutivas a Darwin, y es que Darwin no solo fue influenciado por Lamarck, sino que además comparte algunas de las ideas de Lamarck y las retoma para plantear su teoría. Esta idea es reafirmada por Fernández (2002):

Tanto en la teoría de Lamarck como en la de Darwin cabe distinguir dos aspectos, que no suelen separarse. En primer lugar, ambas teorías establecen el hecho evolutivo, es decir, que las especies no permanecen inmutables, sino que han ido cambiando a lo largo de la historia del planeta. En lo fundamental, ambas teorías coinciden en este aspecto y, mal que les pese a algunos, hay que reconocer que Lamarck lo enunció primero, aunque también hay que reconocer que Darwin lo documentó mejor (p. 18).

Antes de continuar hablando de las influencias de Lamarck en la evolución, resulta pertinente conocer de manera muy general los postulados que propuso Lamarck para explicar la evolución de los seres vivos.

Los postulados de Lamarck

Lamarck nació en el año 1744 en un pequeño pueblo del norte de Francia recibiendo por tanto su formación en plena ilustración. Tras unos años como militar estudió botánica y medicina en París convirtiéndose en un reconocido botánico y más tarde en un prestigioso zoólogo. Durante la mayor parte de su vida mantuvo una visión fijista de los seres vivos, que fue cambiando progresivamente a partir de su profundización en el conocimiento de los animales cuando fue profesor de zoología de invertebrados en el Museo de Historia Natural de París (Camós, 2017).

La primera formulación pública de su modelo evolucionista la hizo a la edad de 56 años, en el discurso de apertura de clases de zoología de los invertebrados del año 1800 en el Museo de Historia Natural de París. Varios años después publicó su obra más famosa, la “Philosophie Zoològique”, en el mismo año en que nació Charles Darwin, 1809. Sin embargo, la formulación más completa y madura de su teoría se encuentra en el primer volumen de la *Histoire Naturelle des Animaux Sans Vertèbres* en 1815 (Camós, 2017). A pesar de que varias ideas sobre el origen de las diferentes especies fueron abordadas por diferentes autores antes de Lamarck, es él quien tiene el mérito de haber propuesto la primera teoría fundamentada y con coherencia científica sobre la evolución. La esencia de las leyes a las que Lamarck se refiere en su teoría es resumida de manera muy sencilla por Sarukhán (1988) en el libro “las musas de Darwin”, de la siguiente manera:

- La naturaleza tiende a incrementar el tamaño de los seres vivos hasta un límite predeterminado.
- Los nuevos órganos se producen como resultado de una nueva necesidad.
- Los órganos alcanzan un desarrollo que es proporcional al grado de uso al que están sometidos.
- Todas las características adquiridas por un individuo son transmitidas a su progenie.

A partir del análisis de los postulados de Lamarck se pueden identificar en su teoría dos grandes mecanismos de evolución. El primero es el impulso de los seres vivos hacia la perfección, como motor interno de la vida, con un carácter general y una dirección principal. El segundo es la adaptación de los seres vivos al ambiente mediante la herencia de los caracteres adquiridos, un mecanismo condicionado a las circunstancias particulares. En relación con postulados de Lamarck y su teoría sobre la evolución Pérez (2011) sintetiza los planteamientos de esta en cuatro principios fundamentales:

A la hora de hablar de la teoría lamarckiana habría que tener presentes cuatro principios de la misma: 1) Los seres vivos se distribuyen en una escala que va de la simplicidad a la complejidad, siendo el transformismo, es decir, la evolución, la respuesta a dicho escalonamiento. 2) Los organismos se adaptan a las circunstancias al actuar el medio sobre ellos ocasionando necesidades que movilizan la energía biológica para crear o modificar sus órganos, cuestión por la que algunos autores han hablado de la necesidad sin azar. 3) Que los caracteres adquiridos se heredan, es decir, que ciertas particularidades logradas se conservan en la descendencia, beneficiándose así de los esfuerzos de los progenitores. 4) Que la generación espontánea puede influir sobre la forma del cuerpo, lo que implica que, cuando un ser vivo tiene la voluntad de realizar una acción, el jugo nervioso fluye al órgano correspondiente y provoca movimientos para fortalecerlo, ampliarlo, desarrollarlo o crear un órgano nuevo que sería transmitido a las generaciones posteriores, haciendo por tanto la función al órgano (p. 25).

Estos principios de la teoría de Lamarck son ilustrados en la mayoría de libros de texto con el ejemplo del alargamiento del cuello de las jirafas (Camós, 2017), este caso es referenciado por Seaman (2018):

Lamarck decía que cambios fenotípicos ocurrían a través del tiempo y que la herencia de los caracteres adquiridos pasaba a la descendencia. El clásico ejemplo que Lamarck presentaba para mostrarle al mundo que estaba en lo cierto, es la evolución de las jirafas. Lamarck dijo que todas las jirafas tenían, originalmente, cuellos cortos, pero éstos se fueron haciendo más largos debido al estiramiento provocado al tratar de alcanzar las hojas más altas de los árboles. Fue de esta manera como el “rasgo adquirido” (cuellos largos) pasó a la descendencia (p. 133).

Uno de los aspectos que más controversia genera en la teoría de Lamarck es el poder transformador que le atribuye al ambiente, ya que según Lamarck en los seres vivos existe una fuerza que los impulsa y les permite adaptarse a condiciones específicas de dicho ambiente, una

evolución con una dirección. Al respecto de esta influencia del ambiente planteada por Lamarck Camós (2017) plantea lo siguiente:

Organizaciones simples tendieran a hacerse cada vez más complejas, de tal manera que sin la acción de la segunda fuerza los organismos habrían formado una serie lineal. Pero sobre estos seres vivos actuaría la otra fuerza, la cual dependiendo de la diversidad de circunstancias en qué se encontrarán de clima, temperatura, lugar, hábitos, formas de vida, etc., diversificaría estos organismos para hacerlos más adaptados a sus condiciones de vida, y alteraría y ramificaría la teórica serie lineal. En el caso de los vegetales y de los seres vivos más sencillos, el mecanismo a través del cual el ambiente actuaría para diversificarlos sería la acción directa de determinados fluidos del medio, como la electricidad, el magnetismo o el calórico. En cambio, en el caso de los organismos más complejos serían las necesidades a qué se encontraría sometido cada organismo que se traducirían en un mayor o menor uso de los órganos, las que harían que se desarrollaran, disminuyeran o se eliminaran estos órganos, y las características conseguidas se transmitirían a la descendencia a través de lo que conocemos actualmente como la herencia de los caracteres adquiridos (p. 55).

Al reconocer la influencia del ambiente en las modificaciones de los seres vivos surge un nuevo elemento que fue cuestionado en la teoría de Lamarck, y que también fue uno de los puntos débiles de Darwin en su época, ese elemento es la herencia. Lamarck lo explicó a través de lo que se conoce como "herencia de caracteres adquiridos". Este tipo de transmisión de caracteres es mencionada y relacionada con Lamarck en las publicaciones de Gimenez (2015) y Fernández (2002) de la siguiente manera:

Estas variaciones en las condiciones del entorno serían incorporadas a los organismos a través de una secuencia de hechos que a menudo no se toman en cuenta cuando se habla de Lamarck como el cambio en las necesidades de los organismos, seguido por un cambio de hábitos, el que podría resultar en el empleo preferencial de una

parte con respecto a otras, produciendo su fortalecimiento a través del uso. Este efecto diferencial inducido por el ambiente (o conjunto de circunstancias) en el desarrollo de los organismos podría, según Lamarck, ser heredado a las próximas generaciones (p. 96).

Lamarck avanza en una idea de cómo puede generarse la variación de caracteres. Para él, las pequeñas transformaciones estructurales que sufre un organismo a lo largo de su vida, como consecuencia de su respuesta a las necesidades que le crea el ambiente, van a transmitirse y acumularse en la descendencia. Es la llamada «herencia de caracteres adquiridos». Lamarck considera que la evolución está marcada por una tendencia innata de la materia viva al aumento de la complejidad, tendencia que se ve modulada por el ambiente y las necesidades que éste genera en los organismos (p. 18).

A pesar del mérito de Lamarck en la formulación de su teoría, con toda su fundamentación y coherencia, a lo largo de la historia ha sido objeto de varias críticas hechas por sus colegas de la época y por científicos contemporáneos. Algunas de esas críticas son enunciadas en los escritos de García (2012) y Fernández (2002) a continuación:

A pesar de que este trabajo es la primera teoría evolutiva publicada formalmente, ha sido poco valorada hasta hoy, debido en gran parte a la burla que recibió de Georges Cuvier, notable colega de Lamarck. Casi toda la literatura de entonces mostraba una visión despectiva de Lamarck, refiriéndose a la suposición de cómo las jirafas adquirieron su largo cuello tratando de alcanzar las ramas más altas (p. 68).

Y como dice Monod en su libro *El azar y la necesidad*, toda explicación en términos de causas finales se sale del ámbito de la ciencia. Además, las ideas finalistas no han sido nunca bien recibidas por los científicos porque son proclives a hacer pensar en la idea de un «Gran Diseñador». Todo ello, unido a esa poco definida «tendencia innata a la complejidad», que también tiene un cierto tinte finalista, ha sido causa del rechazo mayoritario de los científicos a las teorías de Lamarck (p. 19).

4.5.2. Propuesta darwiniana

Para abordar la evolución es fundamental conocer el trabajo de Charles Darwin, ya que su propuesta asentó las bases de las investigaciones en el campo de la biología evolutiva. Su trabajo es tan destacado que incluso llega a ser reconocido junto a Copérnico, como uno de los pensadores con mayor influencia sobre el cambio de percepción acerca del lugar del hombre en la naturaleza (Pérez, 2011).

Algunas de las ideas que influenciaron la teoría de Darwin vienen de diferentes autores y situaciones, que son señaladas por Makinistian (2004):

- Charles Darwin fue heredero de algunas de las ideas de su abuelo Erasmus Darwin sobre los seres vivos.
- Varias de las ideas de la propuesta de Lamarck sobre el ambiente y los seres vivos tuvieron influencia sobre Darwin.
- Charles Lyell fue uno de los mentores de Darwin y algunos argumentos de la teoría evolutiva se basan en sus ideas sobre la geología.
- El viaje que Darwin realizó a Sudamérica a bordo del Beagle, le permitió apreciar la gran diversidad de formas que existen en la naturaleza y plantearse distintos cuestionamientos sobre sus formas y diversidad.
- La lectura del tratado escrito por el economista Thomas R. Malthus, en el cual se establece la relación entre los recursos y las poblaciones.
- El interés que Darwin mostró a muy temprana edad por coleccionar y estudiar animales, plantas y minerales.

Darwin trataba de explicar las diferencias que presentaban especies semejantes que habitaban distintos lugares en los ecosistemas. Hacia 1839 Darwin ya disponía de los aspectos teóricos sobre los cuales fundamentaría su teoría. En el año 1842 escribió una síntesis de su teoría, en la cual continuó trabajando con más detalle los siguientes años. 16 años después

Darwin recibió el escrito del naturalista Alfred Russell Wallace titulado “On the tendency of variates to deport indefinitely from the original type”, en este escrito Wallace llegó a la misma conclusión que Darwin, Razón por la cual acordaron presentar simultáneamente la teoría que habían elaborado en la Linnean Society de Londres (Pérez 2011). Como conclusión, Darwin reconoció a Wallace como coautor de su teoría, y en 1859 Darwin publicó El origen de las especies, y su teoría de la evolución de las especies fue reconocida por la comunidad científica y por sus amigos como una teoría simple muy potente, tal como lo expresa Sarukhán (1988) en su libro, las musas de Darwin:

Para los estándares de una idea revolucionaria de la ciencia, la teoría de la evolución por medio de la selección natural, en la forma en que la propuso Darwin, es en verdad de una sencillez asombrosa. Tanto así que el mismo Thomas Huxley, cuando conoció los postulados de su maestro, exclamó: «Qué estupidez no haber pensado en ello antes». También a diferencia de otras grandes revoluciones del pensamiento científico, las ideas evolutivas de Darwin tuvieron una penetración sorprendente en el gran público desde el momento en que salieron a la luz, en contraste muy marcado con la obra de otros grandes pensadores (p. 122).

Esta teoría, tan simple y potente como vimos que afirmaban algunos científicos, es resumida por autores de libros de biología general como “Biología: La vida en la Tierra” de Teresa Audesirk (2012) en cuatro postulados:

Postulado 1 Los individuos varían al interior de una población. Cada uno de ellos difiere de los demás en muchos aspectos.

Postulado 2 Los caracteres se heredan de padres a hijos. Al menos algunas de las diferencias entre los miembros de una población se deben a características que pueden transmitirse de los progenitores a la descendencia.

Postulado 3 Algunos individuos de la población no sobrevive ni se reproducen. En cada generación, algunos individuos pertenecientes a una población logran sobrevivir y se reproducen con éxito, mientras que otros no.

Postulado 4 La supervivencia y la reproducción no ocurren al azar. La probabilidad de supervivencia y reproducción de un individuo depende de sus características. Los individuos con caracteres que les confieren ventajas en un determinado ambiente sobreviven más tiempo y dejan mayor descendencia, a este proceso se le llamó selección natural.

En esta perspectiva de síntesis, los postulados de la teoría de Darwin son retomados en artículos especializados como “evolucionismos y ciencias históricas: darwinismo vs. lamarckismo en arqueología” de Luis Pérez (2011). Allí los resumen en tres postulados para explicar esta teoría:

A la hora de explicar cómo las especies cambiaban a lo largo del tiempo, la teoría de Darwin y Wallace parte de tres postulados que deben considerarse fundamentales: 1) La capacidad de la expansión de una población es infinita, pero la capacidad de los hábitats para soportar a las poblaciones es limitada. Darwin se refirió a la competencia por los recursos como la lucha por la existencia. [...] 2) Los individuos varían y dichas variaciones afectan a sus capacidades de supervivencia y de reproducción. Así, Darwin sostiene que “un grado elevado de variabilidad es favorable, pues da sin limitación los materiales para que trabaje la selección [...] 3) A través de dicha pauta selectiva, denominada por Darwin selección natural, aquellas características ventajosas acordes con el éxito de supervivencia y de reproducción tenderán a mantenerse. En cambio, aquellas que resultan desventajosas desaparecerán (p. 26).

A pesar de las coincidencias en sus planteamientos, entre Charles Darwin y Russell Wallace existían algunas diferencias que hacen particular el pensamiento de cada uno de ellos. El punto clave en el cual diferían se centra en la percepción que tenían sobre la evolución del ser humano, ya que a Wallace no le parecía correcto afirmar que el hombre ha evolucionado de la

misma forma que las demás especies, pues pertenece a un nivel superior al de los otros seres vivos. Para Wallace el intelecto humano era producto de una intervención divina, mientras que Darwin, por su parte, en sus publicaciones: *El origen del hombre* (1871) y de *La expresión de las emociones en los animales y en el hombre* (1872), propone lo contrario, un ser humano que forma parte de la naturaleza.

Por otro lado, Darwin compartió el uso de algunos términos utilizados por Lamarck en su teoría, tales como la adaptación y la heredabilidad, sin embargo, los mecanismos que postularía para explicar la evolución son distintos. Mientras que Lamarck basa su teoría en la transmisión de caracteres adquiridos y respuestas inmediatas de los organismos a las exigencias del ambiente, Darwin, habla de una variación que se lleva a cabo al azar, aleatoria y sin dirección adaptativa, y de una selección que opera sobre dicha variación. La selección que propone Darwin actúa sobre los individuos y con el tiempo lleva al cambio de las poblaciones, debido a que aquellos individuos que poseen caracteres ventajosos alcanzan el éxito reproductivo y sus descendientes heredan esos rasgos. Hoy sabemos que no existen mecanismos que permitan comunicar a los genes necesidades del individuo, para marcarles una dirección a sus adaptaciones y lograr modificarse en beneficio propio. Lamarck imprimió a su propuesta un carácter progresivista, con una ruta definida hacia la perfección de las estructuras, mientras que Darwin, considera que no hay variantes mejores que otras en sentido absoluto, sino que todo dependería de las circunstancias. La evolución carecería de propósito, y lo que es favorable en un momento dado no tiene por qué serlo en otro (Pérez, 2011).

4.5.3. Propuestas posteriores a Darwin

Para comprender las ideas que prosiguieron a la teoría a Darwin, es fundamental reconocer la diferencia entre darwinismo y evolucionismo. Al respecto Ruse (1983) afirma que: el primer concepto teórico encierra con peso la acción de la selección natural; el segundo, en cambio, se trata de una concepción más genérica en la que se incluye el primero. El pensamiento evolucionista fue ampliamente asimilado por la comunidad científica de Inglaterra, sobre todo a

finales del siglo XIX, sin embargo, los planteamientos de Darwin gozaban de poca aceptación, pues aún tenían vacíos que solo se resolverían años después con el surgimiento de la genética. (Ruse, 1983).

El saltacionismo: esta corriente evolutiva cobró fuerza a finales del siglo XIX. Algunos de sus más conocidos defensores fueron Thomas Huxley y Walter Bateson. Esta corriente también fue conocida como mutacionismo, y fue solo hasta 1901 cuando tuvo mayor reconocimiento gracias a los trabajos de Hugo M. de Vries, quien proponía la existencia de dos tipos de variaciones: la variabilidad individual, que no puede traspasar los límites de la especie, y las variaciones discontinuas, las cuales se dan de forma súbita y espontánea, causando la aparición de nuevas especies (Grasa 1986). En resumen, se puede concluir que los primeros genetistas estaban en contra de la teoría de Darwin, pues se evidenciaba un patrón discontinuo en la herencia de caracteres, ya que los guisantes que se obtenían en los cruces eran verdes o amarillos, sin rasgos intermedios que mostraran pruebas de gradualismo.

Equilibrios puntuados: Dentro de la misma línea saltacionista, los paleontólogos Niels Eldredge y Jay. Gould volvieron a cuestionar la teoría de Darwin, basándose en la evidencia fósil. Para formular esta teoría, tuvieron en cuenta las observaciones de la aparición de especies instantáneas, así como la evidencia fósil de la súbita desaparición de un molusco de agua dulce en las costas africanas y la aparición de nuevas especies que le sustituyeron. No se trata de una propuesta antidarwinista, significa que existen amplios periodos de tiempo donde hay equilibrio macroevolutivo (estasis) antes de que se dé un salto que tienda a la especiación; mientras tanto se irían produciendo pequeños cambios microevolutivos (Pérez, 2011).

Neodarwinismo: es la suma armónica de los trabajos de Darwin y de Mendel; sin embargo, una vez redescubiertas las leyes de Mendel éstas no tuvieron por objetivo respaldar la propuesta darwiniana; los primeros genetistas apreciaban sus trabajos de laboratorio como una nueva línea teórica. Fueron los trabajos del zoólogo alemán Auguste Weismann los que, a partir de 1882, empezaron a aplicar, en cierto sentido, el mecanismo mendeliano a las propuestas

darwinistas. Gracias a dicha propuesta se descartó la herencia de caracteres adquiridos: era la recombinación cromosómica, lo que proporcionaba variabilidad genética para que la selección natural actuara sobre ella.

La **teoría sintética** o **síntesis evolutiva**: Se formuló inicialmente entre los años treinta y cuarenta del siglo XX de la mano de Theodosius Dobzhansky, Julian Huxley, E. Mayr, G. Simpson y B. Rensch, cada uno de estos científicos aportó pruebas de la evolución desde sus especialidades: genética, sistemática y paleontología. Tiene sus bases en los datos de la Genética y la teoría de la selección y plantea que la evolución tiene un doble problema: hay que explicar por una parte la progresiva transformación de las especies (microevolución), pero también hay que comprender cómo una especie da paso a otra ante la interacción ecológica (macroevolución). Para la síntesis evolutiva la unidad de evolución no era el individuo, sino la población que comparte determinado genoma.

El aspecto más controversial de la síntesis evolutiva lo constituye el gencentrismo, una visión exclusivamente centrada en los genes, y que considera al gen no sólo como la unidad hereditaria única de información biológica, sino también, como la única entidad dotada de poder causal (Longa, 2009). Desde esta perspectiva, Mayr y los defensores de la teoría sintética encuentran un sustento para la visión de evolución que ha prevalecido durante varias décadas, sobre esto Longa (2009) afirma lo siguiente:

Según tal visión, los genes son el único material relevante en términos de herencia, de lo cual deriva la tesis neo-darwinista de que sólo se heredan genes. En este sentido, el más claro exponente de tal gencentrismo consustancial al neo-darwinismo, y de su asunción del carácter puramente genético de la herencia, es la noción de programa genético, que ha sido —y todavía sigue siendo, en gran medida— central en toda la biología contemporánea. Mayr (1982: 106) resume perfectamente tal centralidad: "todas las manifestaciones del desarrollo y de la vida están controladas por programas

genéticos". Ese programa genético se erige así en el depositario exclusivo de la herencia, lo que veta cualquier tipo de herencia no genética.

En contraste con esta mirada geocentrista de la evolución impulsada por Mayr y los demás defensores de la teoría sintética, aparecen los defensores de una concepción ampliada que abarca también una herencia extra-genómica con gran potencial evolutivo, según la cual no sólo se heredan genotipos, sino también fenotipos. Entre los defensores de esta herencia extendida se encuentran Jablonka y Lamb (2005), quienes afirman que en la herencia no solo intervienen los genes, sino que existen otros sistemas o canales de herencia, los cuales son enunciados a continuación y entre los cuales sobresale la epigenética:

- **Sistemas de herencia epigenética:** herencia celular no genética que garantiza la memoria celular, mediante la cual se transmiten fenotipos determinados. Incluye cuatro diferentes subtipos: bucles autosostenidos, herencia estructural, sistemas de marcado de cromatina e interferencia de RNA.
- **Sistemas de herencia conductual:** herencia conductual que no depende de la selección entre variantes genéticas. Abarca tres subtipos: transferencia de sustancias que influyen en la conducta, aprendizaje social no imitativo y aprendizaje imitativo.
- **Sistema de herencia simbólica:** exclusivo de los animales humanos y representado paradigmáticamente por el lenguaje (si bien éste puede llegar a fijarse innatamente de manera parcial), se transmite mediante aprendizaje social, que a menudo implica imitación e instrucción intencional.

El Neolamarckismo

Es una tendencia evolucionista que tiene sus bases en los planteamientos de la teoría de Lamarck, la cual mantiene como una de sus principales ideas base la herencia de caracteres adquiridos. Adicionalmente el neolamarckismo reconoce la importancia de la fuerza mental o conciencia que impulsa a los seres vivos hacia un propósito, una finalidad y un ordenamiento ya

establecido, rechazando de esta forma el papel de las mutaciones y del azar en el proceso evolutivo. Esta tendencia también resalta algunos aspectos religiosos en su discurso, razón por la cual no ha sido rechazada completamente por la iglesia, ya que en ese ordenamiento mencionado anteriormente se reconoce la obra de un creador que le da direccionamiento a la evolución (Pérez, 2011).

4.5.4. La evolución y la epigenética: Entre Darwin y Lamarck

En las primeras décadas del siglo XX la genética empezó a jugar un papel muy importante para el estudio de la evolución, logrando explicar varias de las ideas sobre la herencia de caracteres, que no pudieron ser sustentados completamente en la teoría de Darwin. Gracias al redescubrimiento del trabajo de Mendel se lograron llenar algunos de los vacíos, relacionados con la herencia, en una nueva tendencia denominada Neodarwinismo. Sin embargo, en los últimos años los avances relacionados con la epigenética han permitido establecer un tipo de relación que no se había considerado antes: la influencia del ambiente sobre el fenotipo de los seres vivos. Con esto, han resurgido algunas ideas que permanecían olvidadas y que se mencionaban en muchos textos como otro episodio erróneo en la historia de la ciencia, ideas que consideraban al ambiente como elemento central en la llamada herencia de caracteres adquiridos. Estas ideas son las propuestas por Lamarck en su teoría. Al respecto Conrad Waddington propone desde el inicio de la teoría epigenética la necesidad de incluir la evolución dentro de sus planteamientos, y posteriormente García (2012) y Heredia (2013) en sus publicaciones logran plasmar la forma en que algunos de los principios de la epigenética se relacionan en cierto grado con los planteamientos de Lamarck. A continuación, se presentan varias de las apreciaciones de los autores mencionados anteriormente respecto a esta relación:

La teoría de la evolución está actualmente en un período de cambio, de intensa discusión, de revaluación, de incorporación de nuevos conceptos biológicos como la Epigenética y de evaluación de otros no tan recientes como las teorías de la herencia de caracteres adquiridos de Lamarck. Actualmente, lamarckismo y Epigenética proponen

una explicación para algunos efectos intergeneracionales en poblaciones humanas. Los conceptos lamarckianos, descartados por la teoría moderna de la evolución, están gozando de un resurgir con la aparición de las cada vez más complejas teorías epigenéticas de la herencia. La evidencia sugiere que los cambios epigenéticos son transmitidos de generación en generación y por lo tanto serían un mecanismo potencial por el cual las influencias medioambientales pueden ser heredadas de padres a hijos (enunciado clave de la evolución lamarckiana). De esta manera ha surgido la teoría evolutiva de la síntesis entendida como una expansión de la teoría sintética moderna de principios del siglo XX, una renovación de la misma en un proceso que probablemente tome décadas hasta completarse (p. 67).

Un bucle en el que la información fluiría desde el genoma hasta el ambiente, pasando por el epigenoma, y viceversa. La información, de este modo, circularía de forma continua a través de los canales genético, epigenético y ambiental (Heredia 2012), lo cual es concordante con las pautas de organización de los sistemas biológicos y recupera las nociones más básicas del evolucionismo primigenio, al devolver al organismo ese papel activo en su evolución. El fantasma de Lamarck ha vuelto para quedarse (p. 191).

En este punto es necesario realizar una aclaración importante sobre la teoría de Lamarck y el Neolamarckismo, y es que a pesar de compartir varios elementos en los cuales se fundamentan, son muy diferentes en muchos de sus argumentos, ya que la manera en que se consideran los procesos relacionados con la herencia son abordados de manera muy diferente debido al desarrollo conceptual de las épocas en que surgieron. Teniendo en cuenta esto, Benítez (2018) destaca la relación de la epigenética con el Neolamarckismo y la ponen en un lugar más alejado de la teoría de Lamarck. Lo anterior se deja ver cuando realiza las siguientes afirmaciones:

De hecho, si los recientes descubrimientos de la epigenética han desenterrado a alguien, no parece tratarse de Lamarck, sino más bien de los neolamarckianos franceses

de los siglos XIX-XX, ya que para ellos “la adaptación era el resultado de una acción físicoquímica directa del ambiente en los organismos y su protoplasma, y la transmisión de esas modificaciones a la descendencia” (...) “entre tales neolamarckianos y los epigenetistas: las dificultades para conciliar “la existencia de la plasticidad y la transmisión hereditaria estable de las modificaciones adquiridas a través de esta plasticidad”. En otras palabras, asociar la epigenética con lo lamarckiano tendría más cabida si se le antepone a este adjetivo el prefijo neo (p. 178).

Desde la perspectiva sustentada en las anteriores publicaciones, es posible que los lectores de este trabajo perciban una confrontación ideológica entre el Darwinismo y el Lamarckismo, ya que cuando la epigenética presenta sustento a la herencia de caracteres adquiridos se puede inferir una deslegitimación o negación de las ideas de Darwin. Sin embargo, la epigenética no surgió con el propósito de apoyar o negar a ninguna de las dos, por el contrario, varios autores ponen de manifiesto una noción diferente pero bien sustentada de la relación entre la epigenética y las teorías evolutivas al afirmar que la epigenética está igual o más relacionada con las ideas de Darwin que con las de Lamarck. Entre los autores que mantienen esta postura en sus publicaciones se encuentran Fusaro (2012) y Camós (2017) quienes plantean esta idea de la siguiente manera:

De forma notable los recientes descubrimientos en epigenética que numerosos investigadores han considerado como el resurgimiento científico del mecanismo de la herencia de los caracteres adquiridos. Sin embargo esta última apreciación se apoyaría en dos datos; por un lado se supone de forma discutible que la epigenética es un caso de herencia de caracteres adquiridos, y por otro que Lamarck fue “el” defensor de este tipo de herencia. Esto último es un grave error desgraciadamente todavía demasiado común, puesto que además de ser un proceso defendido por muchos naturalistas anteriores y posteriores a Lamarck, solo hace falta leerse con detenimiento el Origen de las especies

para comprobar que también el mismo Darwin fue un defensor de la herencia de los caracteres adquiridos como un mecanismo evolutivo importante (p. 55).

Por otro lado, Benítez (2018), Seaman (2018), Dressino, (2009), Frances (2012), Martínez (2019) y Andrade (2015) plantean una relación de complementariedad entre las teorías evolutivas de Darwin y Lamarck con la epigenética, en la cual se sustentan, en una relación en la que uno explica los cambios o adaptaciones gracias a una fuerza consciente que induce esos cambios (Lamarck), y el otro selecciona los organismos mejor adaptados, supervivencia del más fuerte (Darwin).

Es por ello que los cambios epigenéticos, aun cuando son detonados por el ambiente y heredables a través de varias generaciones, no justifican el tipo de desenterramiento de que Lamarck está siendo objeto, puesto que se estima que están sometidos a la selección natural, y la combinación “cambios detonados por el ambiente heredables” + “selección natural” está en todo caso más cerca de la teoría de Darwin que de la lamarckiana. De hecho, en *El Origen de las Especies*, Darwin (1859) identificó “la herencia de caracteres adquiridos como una de las fuentes de variación sobre las cuales la selección natural actúa (p. 177).

En algo sí podemos estar seguros, Lamarck estuvo incorrecto en pensar que la herencia de los caracteres o rasgos adquiridos eran el único mecanismo de evolución, la selección natural es más común. Sin embargo, ahora sabemos que la herencia de caracteres adquiridos a veces sucede a través de la herencia de modificaciones epigenéticas. Así, la epigenética, en conjunto con la genética, puede promover sinérgicamente la evolución de las especies (p. 136).

Queda la pregunta acerca de si una nueva síntesis evolutiva sería darwiniana, o acaso lamarckiana, o a lo mejor superaría de una vez por todas, esta controversia y pondría la discusión en otro nivel. Posiblemente, una nueva síntesis no sería darwiniana

estrictamente y tampoco sería lamarckiana por cuanto esta visión es deudora, en su origen, de una física determinista (p. 68).

Para finalizar este apartado sobre la epigenética y la evolución, se considera pertinente mencionar algunos de los aspectos que no resultan ser del todo coherentes al momento de relacionar la epigenética con la evolución, tal como el hecho de que algunos estudios muestren que los rasgos heredados como factores epigenéticos no perduran en muchas generaciones. Estos aspectos son presentados por Benítez (2018) y Moreno (2009) de la siguiente manera:

En todo caso, en los mamíferos (a diferencia de lo que sucede con las plantas), las marcas epigenéticas que podrían ser transmitidas de una generación a otra (metilación del ADN, por ejemplo) son normalmente borradas en la línea germinal (Heard & Martienssen, 2014) y, al menos hasta hace recientemente, no se había documentado la transmisión de caracteres adquiridos por más de tres generaciones. El famoso ejemplo del cuello de la jirafa alargándose durante varias generaciones de una manera lamarckiana sigue constituyendo entonces un escenario difícil de concebir. De hecho, parece que generalmente la transmisión epigenética transgeneracional de caracteres tiende a disminuir a lo largo de las generaciones hasta desvanecerse, una vez que el factor ambiental detonante del cambio ha desaparecido (Burggren, 2014). En este punto, podría injustamente pensarse que la transmisión de caracteres a lo largo de pocas generaciones sería incompatible con las ideas de Lamarck (p. 179).

Las modificaciones observadas en el material genético en respuesta a variación ambiental, como la metilación de ciertos genes, constituyen respuestas fenotípicas codificadas por genes reguladores. La epigenética concierne a variación fenotípica (en realidad es una fisiología del material genético) y viene codificada en los genes. Para modificar una respuesta epigenética, igual que para modificar el rango de plasticidad fenotípica, tiene que haber un cambio en el material genético que especifica estas respuestas. Y estos cambios ocurren por mutaciones genéticas y selección de los

fenotipos resultantes. En definitiva, la epigenética no es lamarckiana porque la respuesta es previa al cambio ambiental, no al revés, aunque Jablonka y Lamb (2005) no lo reconozcan. Si el cambio ambiental no hace más que inducir respuestas ya establecidas en el genoma, no puede ser el ambiente el que directamente determine cambios evolutivos. Tanto la plasticidad fenotípica como la regulación epigenética son producto de selección natural previa y ofrecen el marco fenotípico para que actúe la selección natural presente. La selección natural construye el marco fenotípico y regulatorio en el que va a seguir actuando. Ante este continuo rechazo por la evidencia de la existencia de variación genética dirigida con potencial evolutivo, el lamarckismo se ha refugiado en el estudio de la conducta y de la cultura (p. 236).

4.5.5. Relación Lamarck-Darwin-epigenética

Para dar cierre a este apartado sobre la evolución, se establecen relaciones entre las teorías de Lamarck, Darwin y la epigenética. Al hacer una primera lectura de la definición de epigenética es posible identificar elementos de cercanía con la propuesta de Lamarck, ya que se hace énfasis en la influencia del ambiente sobre el fenotipo de los seres vivos. En esta misma línea de ideas, y siguiendo la tradición de poner en polos opuestos a Lamarck y a Darwin, se puede inferir una relación de distanciamiento entre la epigenética y las propuestas Darwinistas. Sin embargo, al hacer una revisión más profunda se hace evidente una cercanía entre estos dos naturalistas, ya que Darwin retoma y reconoce elementos de Lamarck para plantear su teoría, tal es el caso del “uso y desuso” de los órganos, idea propuesta por Lamarck y retomada por Darwin en el capítulo V del origen de las especies. Entonces el distanciamiento entre estos dos personajes y la dicotomía que se propone entre sus teorías no es tan radical como se considera frecuentemente.

Teniendo en cuenta lo presentado anteriormente, las ideas originales de Darwin tampoco estarían tan alejadas de la epigenética, o por lo menos esa es una postura expuesta por algunos de los autores revisados. En este punto es necesario tomar una postura luego de leer los

argumentos de los diferentes autores, y es que existe una relación no solo de cercanía entre las teorías de Darwin, Lamarck y Wadington, sino que hay una relación de complementariedad en el sentido de que la epigenética apoya la influencia del ambiente sobre el fenotipo de los seres vivos, tal como propuso Lamarck y es reconocido por Darwin, pero eso no implica la inexistencia de un mecanismo de selección de genotipos, punto en el cual sobresale Darwin con la selección natural.

4.6. La epigenética y la educación

La epigenética en el ámbito educativo escolar resulta ser un campo poco explorado, o por lo menos eso es lo que dejan ver las pocas publicaciones relacionadas con este tema. Esto se debe en parte a su carácter novedoso y al énfasis que se ha hecho sobre su importancia en el campo médico. Al hacer la revisión en diferentes bases de datos, se encuentra que, de los pocos trabajos registrados sobre la genética y la educación, la mayoría fueron realizados en España y corresponden a trabajos de maestría. A pesar de las diferencias culturales, sociales y políticas que se puedan presentar entre el contexto español y el colombiano, se han considerado algunos elementos de estos trabajos, ya que presentan algunas similitudes en las directrices propuestas en los currículos de España para la enseñanza de la genética y las de Colombia.

Para iniciar es importante resaltar que la epigenética como un campo novedoso y en expansión puede resultar llamativo para los estudiantes de secundaria, sobre todo si logra hacerse un acercamiento al concepto desde situaciones que involucren la salud y estilos de vida de los estudiantes, así como la posibilidad de identificar fenómenos que no pueden ser explicados desde las teorías clásicas enseñadas en las ciencias naturales. Sobre el carácter motivador de la epigenética, Cardenas (2016) afirma que:

la epigenética es un concepto motivante para los estudiantes. Por esta razón, en la propuesta se asumió el reto de integrar la epigenética al currículo, con el fin de: 1. generar interés por el tema de expresión génica, 2. llamar la atención del estudiante, sobre factores externos que afectan la síntesis de proteínas, sin alterar la secuencia del

ADN, y con ello los procesos metabólicos que producen enfermedades, sin quedarse en el individuo, sino que se transmiten de generación en generación, 3. Alertar al ciudadano sobre la importancia de un estilo de vida sano y 4. Contextualizar los conceptos de herencia genética a la cotidianidad del individuo e interpretar lecturas y discutir sobre algunos avances científicos sobre el tema (p. 7).

Además de ser novedosa, la epigenética es uno de los campos de investigación más prometedores de los últimos tiempos, y como se ha venido presentando a lo largo de todo este escrito, los estudios sobre epigenética han trascendido la genética y han ido más allá, hasta el punto de promover una mirada distinta de teorías que son presentadas en la escuela como dogmas en cada disciplina. Sobre el carácter prometedor de la epigenética, Zudaire (2017) afirma que:

En la sociedad del siglo XXI, los ciudadanos se encuentran a menudo con situaciones que ponen a prueba sus conocimientos sobre genética. Dentro de esta disciplina, destaca la epigenética, uno de los campos de la investigación biomédica más prometedores y en mayor expansión. (...) Los trabajos de investigación en didáctica de la genética han puesto de manifiesto que el conocimiento popular y escolar sobre genética se mantiene anclado a ciertos dogmas: la herencia de determinados caracteres y la susceptibilidad a padecer enfermedades está sólo determinada por el código genético; un gen codifica para una proteína y determina un solo fenotipo (pp. 1-5).

Como se ha visto, existen elementos que permiten afirmar que la enseñanza de la epigenética es pertinente en la escuela, pero ¿en qué niveles educativos podría ser pertinente abordar la epigenética? Para responder a esta pregunta se han revisado los Estándares Básicos de Competencias en Ciencias Naturales (MEN, 2004) y los Derechos Básicos de Aprendizaje (MEN, 2016), y se ha realizado un análisis identificando las temáticas con las que se puede relacionar la epigenética. En este ejercicio se pudo detectar que los estándares de grado octavo

y noveno son los que más se relacionan con la epigenética, ya que en estos cursos se trabaja todo lo relacionado con genética y evolución.

En los estándares de grado octavo y noveno....

- Formulo preguntas específicas sobre una observación, sobre una experiencia o sobre las aplicaciones de teorías científicas.
- Propongo y sustento respuestas a mis preguntas y las comparo con las de otras personas y con las de teorías científicas.
- Relaciono mis conclusiones con las presentadas por otros autores y formulo nuevas preguntas.
- Formulo hipótesis, con base en el conocimiento cotidiano, teorías y modelos científicos.
- Establezco relaciones entre los genes, las proteínas y las funciones celulares.
- Formulo hipótesis acerca del origen y evolución de un grupo de organismos.
- Reconozco los efectos nocivos del exceso en el consumo de cafeína, tabaco, drogas y licores.
- Indago sobre avances tecnológicos en comunicaciones y explico sus implicaciones para la sociedad.
- Explico la relación entre el ADN, el ambiente y la diversidad de los seres vivos.

En los DBA de ciencias para noveno grado...

- Comprende la forma en que los principios genéticos mendelianos y post-mendelianos explican la herencia y el mejoramiento de las especies existentes.
- Explica la forma como se transmite la información de padres a hijos, identificando las causas de la variabilidad entre organismos de una misma familia.
- Explica la forma como se expresa la información genética contenida en el –ADN, relacionando su expresión con los fenotipos de los organismos y reconoce su

capacidad de modificación a lo largo del tiempo (por mutaciones y otros cambios), como un factor determinante en la generación de diversidad del planeta y en la evolución de las especies.

- Analiza teorías científicas sobre el origen de las especies (selección natural y ancestro común) como modelos científicos que sustentan sus explicaciones desde diferentes evidencias y argumentaciones.

Hasta este punto ha quedado clara la relevancia del abordaje de la epigenética en la escuela y el grado en el cual se puede abordar. Lo que sigue es identificar los conocimientos que se encuentran dentro de las mallas curriculares de ciencias naturales y que pueden servir como enlace para la integración de la epigenética en los planes curriculares. En este sentido se consideran fundamentales los conocimientos básicos de genética, tales como la transcripción y traducción genética. Sobre los conocimientos de los estudiantes de secundaria de genética, Cardenas (2016) ha realizado un ejercicio de indagación de la apropiación de estos conceptos en estudiantes de secundaria en el cual se evidencian algunos vacíos conceptuales específicos y dificultades de los estudiantes para la comprensión de procesos básicos:

De acuerdo con los resultados obtenidos al aplicar la prueba diagnóstica se observaron diferentes dificultades. Con relación al reconocimiento de ciertos conceptos como: gen, cromosoma, ADN, alelo, los tres primeros de ellos son identificados por los estudiantes con cierta facilidad, sin embargo, alelo es totalmente desconocido. Además, no entienden que cuando se habla de cromosoma, genes y ADN se habla de lo mismo, por esa razón no especifican la función del proceso de división celular, ni la relacionan con el rol de los cromosomas en la célula, tampoco tienen en cuenta que el gen es una parte del ADN, y solo lo asocian con la herencia. Los estudiantes desconocen el concepto, probablemente, porque no ha sido trabajado en grados anteriores. Estos resultados coinciden con los planteamientos de Caballero (2008) que plantea que se han detectado confusiones e interpretaciones incorrectas en el significado de la terminología específica

de la genética en relación con el uso de los términos gen, alelo, carácter, locus, cromosoma y cromátide. Figini y Micheli (2005) afirman que los estudiantes tienen dificultades para entender muchos conceptos sobre genética, así como los mecanismos relacionados con la transmisión de la herencia biológica (p. 56).

Los estudios como el presentado anteriormente parten de la identificación de dificultades de los estudiantes en la comprensión de algunos conceptos básicos, sobre todo en el campo de la genética, por lo cual se busca trabajarlos desde una mirada alternativa que cobre otro sentido al momento de ser abordada. En este orden de ideas, la epigenética no solo podría resultar importante para motivar al estudiante sino también permite promover una postura crítica de las teorías tradicionalmente desarrolladas en las ciencias naturales. Esto se hace evidente cuando la epigenética aporta argumentos en contra de la mirada tradicional y determinista de la genética clásica, al plantear la existencia de elementos externos al genotipo que inciden en la expresión del fenotipo, idea que es reiterada por Zudaire (2016) de la siguiente manera:

Además, detectamos expresiones que contienen conceptos erróneos, o explicaciones incompatibles con la epigenética. Entre ellas se incluyen algunas ideas que, en sí, no son erróneas, pero que indican una visión determinista (el fenotipo depende directamente del genotipo, y los cambios suceden a consecuencia de mutaciones. (pp. 1-3).

Continuando con la idea presentada anteriormente sobre la postura crítica frente a las teorías tradicionales, resulta importante abordar las teorías de la evolución, ya que la epigenética abre espacio a reflexiones en torno a la influencia del ambiente sobre las características de los seres vivos, una idea que fue presentada hace más de dos siglos y que fue descartada luego de que Darwin presentara su teoría. Los fundamentos de la propuesta de Darwin fueron acogidos por la mayor parte de la comunidad científica, y es por esta razón por la que tiene un mayor desarrollo en los estándares y en los libros de texto, sin embargo, algunos autores plantean la

necesidad de incluir algunos fundamentos de epigenética al momento de estudiar la evolución.

Dos de estos autores son Camós (2017) y Zudaire (2016):

Desde el inicio de la transición democrática hasta final de siglo la teoría sintética se explicó en las aulas de secundaria con total normalidad resaltando en especial la contribución de Darwin. La contribución de Lamarck al desarrollo de la teoría de la evolución en algunos casos se ignoraba, en otros se menospreciaba y cuando se explicaba su modelo evolutivo se incurría en notables errores y confusiones. A partir de inicio del siglo XXI se hace evidente la revalorización del prestigio científico de Lamarck en las aulas, arrastrado en parte por el trabajo de los historiadores de la ciencia, pero también por la relación que se le atribuye con la epigenética y con la posible revisión de la teoría sintética de la evolución. Sin embargo, se continúan manteniendo bastantes errores y confusiones en relación con su trabajo científico, y en ocasiones cierto menosprecio (p. 63).

La genética en cuarto de la ESO se presenta en el bloque 3 (La evolución de la vida) en la unidad "Herencia y transmisión de los caracteres". Los criterios de evaluación introducen el ADN, el concepto de diversidad genética, las mutaciones y se valora la necesidad de desarrollar un sentido crítico hacia los nuevos avances en el conocimiento del genoma, pero no se introduce el concepto de Epigenética. En el currículum no aparece ni siquiera descrito el proceso de transcripción, las histonas y tampoco se nombran los posibles tipos de ARN o los términos metilación, o acetilación (p. 7).

Con lo anterior se deja en claro la posición de varios autores y del presente estudio, sobre la relevancia de trabajar la epigenética en el aula, no solo como un elemento motivador o novedoso, sino porque permite promover en los estudiantes una postura crítica de las teorías científicas tradicionales, específicamente en las disciplinas de la genética y la evolución, en las cuales se había dejado descartado la influencia del ambiente en el fenotipo de los seres vivos y que encuentra en la epigenética elementos importantes de discusión.

Adicionalmente resulta relevante mencionar que dentro de los compromisos pedagógicos y didácticos que se han establecido al escoger trabajar un tema novedoso, complejo y de muchas posibilidades como se ha expresado en los párrafos anteriores, es necesario asumir una postura que permita indagar las ideas de los estudiantes sobre la relación entre el desarrollo de los seres vivos y el ambiente. Sobre esto, se parte en esta propuesta de la caracterización dada a la epigenética como un problema de conocimiento, debido a la complejidad, las múltiples y nuevas relaciones que permite establecer entre los elementos del ambiente y los seres vivos. Adicional e esto se encuentra el trabajo y reflexiones en torno a situaciones específicas, una metodología que permite indagar sobre las ideas de los estudiantes y promover un pensamiento crítico de las teorías científicas predominantes, al darse cuenta de las falencias que se encuentran al tratar de dar respuesta a una situación desde los conocimientos que se han establecido como verdaderos. Al respecto Orozco (2003) afirma que:

Asumir la enseñanza de las ciencias desde la perspectiva de los PC, implica transcender la mirada del programa como el desarrollo de contenidos, hacia su comprensión como un proceso que se construye a partir de unas intenciones iniciales que se concretan y transforman en el devenir de las prácticas escolares. Tales intenciones se expresan en la construcción de espacios para el cuestionamiento de las representaciones de profesores y estudiantes, en el interés por formular problemas, en el apoyo al desarrollo de proyectos, en la necesidad de documentar preguntas, en fin, se expresan en la construcción de formas de abordar y formular soluciones alternativas a problemáticas del entorno natural y social. (p. 12)

Para dar concordancia a la denominación de la epigenética como problema de conocimiento se debe recurrir a la apropiación de un enfoque pedagógico que sea coherente con lo fundamentado anteriormente, y en esa búsqueda se seleccionó la enseñanza mediante conflicto cognitivo, el cual considera que el aprendizaje de la ciencia debe alcanzarse por un descubrimiento personal de los alumnos, se trata de partir de las concepciones alternativas de

los alumnos confrontándolas con situaciones conflictivas, lograr un *cambio conceptual*, entendido como su sustitución por otras teorías más potentes, es decir más próximas al conocimiento científico (Pozo, 1997). Este enfoque, junto con su aplicación en el aula será un tema desarrollado con mayor profundidad más adelante con la explicación de la propuesta de aula.

5. PROPUESTA DE AULA UNA MIRADA A LA EPIGENÉTICA

Este apartado emerge como respuesta al tercer objetivo de este trabajo, en el cual se presenta una propuesta de aula a partir de varios de los elementos postulados anteriormente y que han logrado constituir a la epigenética en un problema de conocimiento para la enseñanza de la biología en grado noveno de básica secundaria. En este punto del trabajo se toman en consideración las perspectivas presentadas por Orozco (2003) sobre los problemas de conocimiento, y se relacionan con varios de los elementos desarrollados anteriormente sobre la epigenética. Algunos de los aspectos de los problemas de conocimiento, que fueron tenidos en cuenta la plantear esta propuesta de aula son:

- La relevancia de asumir el conocimiento como un tipo de actividad que está social e históricamente legitimada y que como tal es contextual y provisional. Esto se toma en consideración al enfatizar en las posibilidades de cambio de pensamiento que trae inmersa la epigenética, y se plasma en la propuesta de aula al hacer uso de teorías actuales y novedosas para abordar un problema específico, que no puede explicarse desde las teorías tradicionales.
- Los problemas de conocimiento implican ciertas concesiones epistemológicas que cambian la forma como el sujeto se sitúa frente al mundo y las pretensiones desde las que orienta sus posibilidades de conocer. En este sentido la epigenética propone una nueva forma de abordar una situación o problema (los gemelos diferentes), diferente a la tradicional, permitiéndole al estudiante asumir una postura diferente y crítica frente al conocimiento.
- Se desplazan las miradas reduccionistas y mecanicistas, por una dimensión renovada en la que adquieren sentido nociones como las de relación, emergencia y sistema. La epigenética promueve y hace visible ese cambio al poner en consideración una gran cantidad de relaciones entre el ambiente y el desarrollo

de los seres vivos, en esta propuesta esto se materializa al indagar con el estudiante todas las posibles causas que hacen diferentes a los gemelos.

- En los problemas de conocimiento se entiende el cuestionamiento de la experiencia básica como la instancia que permite al sujeto adquirir un sentido renovado del fenómeno y da paso a la complejización de las descripciones. De esta manera el caso de los gemelos va a hacer evidente el carácter complejo de las relaciones que establecen los individuos en su desarrollo, al resultar necesario retomar elementos que no habían sido considerados anteriormente en las explicaciones de la herencia y el desarrollo.
- En los problemas de conocimiento se ponen a prueba los límites del pensamiento científico y el carácter limitado y suplementario de las teorías, así, en esta propuesta se pretende presentar al estudiante las teorías tradicionales en genética, embriología y evolución, de forma que al conocerlas comprenda la imposibilidad que tienen para explicar en su totalidad fenómenos como las diferencias de los gemelos.
- Los problemas de conocimiento reconocen en la crisis de los grandes paradigmas del pensamiento occidental, la necesidad de generar alternativas de resistencia a los modelos de globalización cultural e ideológica, esos modelos han sido considerados en esta propuesta como la genética clásica y la evolución por selección natural, dos teorías que se presentan en muchos textos como absolutas y sobre las cuales se espera generar resistencia ideológica por parte de los estudiantes, o por lo menos que se llegué poner en duda aspectos de estas teorías.
- La perspectiva de los problemas de conocimiento implica trascender la mirada del programa como el desarrollo de contenidos, hacia su comprensión como un

proceso que se construye y transforman en el devenir de las prácticas escolares. En este sentido la propuesta de aula sobre la epigenética se sale del programa de contenidos, ya que no es considerada en el currículo no en los estándares de grado noveno, o por lo menos no de manera explícita, sino que se considera en este trabajo como una situación a resolver, algo complejo que requiere distintos conocimientos de diferentes disciplinas que van a converger en una teoría desconocida por los estudiantes, pero que resulta coherente para sus explicaciones.

A partir de las consideraciones expuestas anteriormente sobre los problemas de conocimiento, se han propuesto cinco guías con las cuales se pretende dar a conocer los elementos fundamentales de la epigenética y propiciar en los estudiantes una mirada crítica de las principales teorías de la biología. Es importante recordar que la propuesta de aula no será implementada en aula debido a las limitaciones que ha impuesto la pandemia en el mundo, por lo cual se presenta el diseño con una serie de elementos que son vistos como pertinentes para la comprensión de la epigenética y la explicación de una situación específica sobre el tema.

En concordancia con los referentes que constituyen el eje de los problemas de conocimiento, la presente propuesta de aula se enmarca en el enfoque pedagógico de la Enseñanza Mediante el Conflicto Cognitivo, en la cual el aprendizaje de la ciencia debe alcanzarse principalmente por un descubrimiento personal de los alumnos a través del análisis de situaciones orientadas por el docente. Se trata de partir de las concepciones alternativas de los alumnos para lograr un cambio conceptual, entendido como la sustitución por otras teorías más potentes. Pozo (1997) afirma que la provocación y resolución adecuada de esos conflictos requiere, que la situación didáctica reúna ciertas condiciones:

- a) El alumno debe sentirse insatisfecho con sus propias concepciones
- b) Debe haber una concepción que resulte inteligible para el alumno
- c) Esa concepción debe resultar además creíble para el alumno

d) La nueva concepción debe parecer al alumno más potente que sus propias ideas

Igualmente, en el texto se proponen algunas secuencias de instrucción para el cambio conceptual desde diferentes autores, sin embargo, son evidentes las similitudes en sus planteamientos:

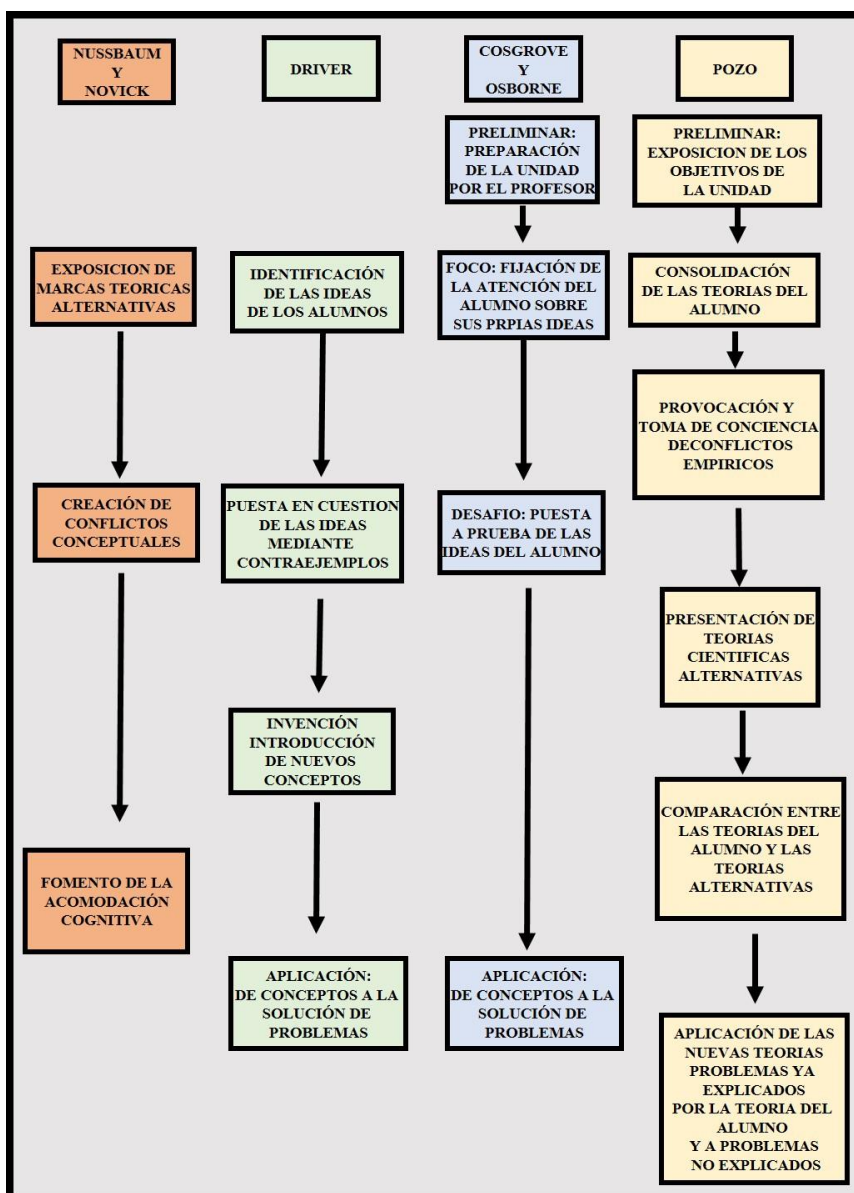


Figura 6. Algunas secuencias de instrucción para el cambio conceptual. Imagen adaptada de: Pozo (1997) Disponible en: http://www.geocities.ws/javi_her/lec_9b.pdf

En cuanto a la secuencia de instrucción para el cambio conceptual, la propuesta responde a lo planteado por DRIVER, la cual sigue los siguientes pasos:

1. **Identificación de las ideas de los alumnos:** Esto corresponde con la guía 1 de trabajo, en la cual se indaga sobre las ideas de los alumnos sobre la influencia del ambiente en la expresión del fenotipo en los seres vivos, pues estas ideas previas son adquiridas por el estudiante durante su experiencia académica y sirven como punto de partida para el desarrollo de la propuesta.
2. **Puesta en cuestión de las ideas mediante contraejemplos:** En las guías dos y tres se presenta la situación de los gemelos como ejemplo que genera conflicto cognitivo con sus conocimientos sobre la expresión de los genes en el fenotipo.
3. **Invención o introducción de nuevos conceptos:** En la guía cuatro se presentan algunos de los conceptos que explican la teoría epigenética de una manera sencilla y con un nivel básico, apropiado para los estudiantes de grado noveno de básica secundaria.
4. **Aplicación de conceptos a la solución de problemas:** En la guía cinco los estudiantes proponen la elaboración de un modelo que dé respuesta al problema de los gemelos, planteado en la guía dos.

En este enfoque pedagógico el docente plantea los conflictos que guían el proceso de enseñanza aprendizaje, mientras que el rol de los estudiantes consiste en activar sus conocimientos y construir otros nuevos.

En cuanto a los referentes didácticos que vinculan los problemas de conocimiento con la enseñanza en grado noveno, en la propuesta de aula se ha tenido en cuenta el papel de los intereses de los estudiantes, las motivaciones que permiten definir la epigenética y las situaciones presentadas en las guías, con el fin de resultar herramientas llamativas que generen curiosidad y cuestionen a los estudiantes sobre sus propios conocimientos. En las guías presentadas se propone el uso de elementos audiovisuales, el trabajo colaborativo entre

estudiantes, lo cual lleva implícitos procesos de socialización y reflexión sobre el conocimiento de las teorías tradicionales. De esta manera se establecen referentes didácticos que están en relación con los referentes epistemológicos y pedagógicos desde los que se orientan prácticas alternativas para la enseñanza.

De esta manera Orozco (2003) dentro del contexto de los problemas de conocimiento, reconoce en la didáctica las siguientes características:

La didáctica no se asume como una disciplina autónoma e independiente para orientar los procesos del aula, ni como un saber instrumental subordinado a la pedagogía. Reconocer la complejidad y particularidad en que se desenvuelve la actividad del aula permite delimitar algunos criterios de actuación y unas formas de trabajo que concretan procesos implicados en la constitución de PC. De estos aspectos se deriva que ningún proceso puede ser igual a otro, esto amerita realizar lecturas de las vivencias de cada grupo cuando se desarrolla una propuesta, de tal manera que se pueda dar cuenta que el carácter dinámico y transformador de los procesos de construcción de conocimiento está mediado por el tipo de relaciones que se configuran en el aula. (p. 12)

¿Qué saber antes?

Para introducirnos a la epigenética y dar respuesta a la situación de las diferencias de los gemelos, es necesario tener claros algunos conceptos básicos, que son desarrollados en el grado octavo de básica secundaria, según lo propuesto en los libros de texto de las editoriales Santillana y SM, en los cuales se abordan los conceptos de herencia. Por esta razón, además de las guías propuestas anteriormente se plantea una guía de conceptos necesarios para la comprensión del tema.

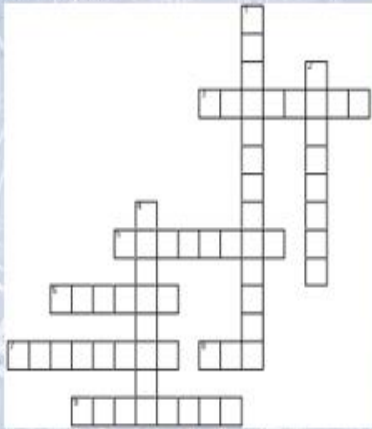
Desde el punto de vista de Olivares (2008) los crucigramas no sólo son una herramienta que facilita la intervención pedagógica del docente en el aula y el aprendizaje del estudiante, son también la expresión de una concepción de la enseñanza y el aprendizaje, además que el crucigrama es una herramienta que permite al estudiante medir la aprehensión o incomprensión

de alguna temática. En ese orden de ideas se propone como actividad inicial el desarrollo de la guía 0: Aspectos previos (Anexos 2) en la cual se indagan algunos términos que resultan necesarios para comprender y dar respuesta a la situación que será objeto de estudio en la presente propuesta. De esta manera se proponen tres tipos de actividades diferentes:

- Un crucigrama que explora algunos de los términos relacionados con genética.
- Algunas definiciones propias de términos importantes sobre genética.
- La elaboración de un mentefacto en el cual los estudiantes relacionan los términos desarrollados en las actividades anteriores.

GUIA 0: ASPECTOS PREVIOS

1. Completa el crucigrama:



Horizontales

3. Conjunto de los genes que existen en el núcleo celular de cada individuo.

5. Rasgos observables de un individuo, tales como la altura, el color de ojos, y el grupo sanguíneo.

6. Padre de la genética.

7. Es el estudio de la herencia.

8. Ácido desoxirribonucleico que contiene las instrucciones genéticas.

9. Cambio al azar en la secuencia de nucleótidos o en la organización del ADN (genotipo) de un ser vivo.

Verticales

1. Proceso en el que la secuencia de ADN de un gen se copia (transcribe) para hacer una molécula de ARN.

2. Base nitrogenada representada con la letra C.

4. Proceso por el cual las características de los progenitores se transmiten a sus descendientes.

2. Reúnete con tus compañeros y socializa los términos encontrados en el crucigrama, luego discutan la utilidad que pueden tener esos términos en las diferentes áreas de la biología y la vida cotidiana.

3. Discutan y definan con sus propias palabras los siguientes términos

- ¿Qué entiendes por ADN y cuál es la función del ADN?

• ¿Qué entiendes por herencia biológica?

• ¿Qué conoces del trabajo de Gregorio Mendel?

4. A partir de los términos desarrollados en el crucigrama, elabora un mentefacto

Guía 1. El ambiente

En la guía 1 (Anexo 3) se presenta el caso de la determinación del sexo en los cocodrilos, el cual está relacionado con la temperatura a la que se encuentran los huevos. De esta manera se hace visible uno de los principales elementos propuestos por Waddington en su teoría: La influencia del medio ambiente en las características de los seres vivos.

GUIA 1 EL AMBIENTE

1. Realiza la siguiente lectura y responde las preguntas:

¿Qué determina el sexo de los cocodrilos?

Los bebés cocodrilos no tienen cromosomas para el sexo. La temperatura a la cual el huevo se desarrolla determina el sexo. Es un sistema biológico que, decide las características sexuales de un organismo dependiendo de la temperatura ambiental durante la incubación. Este fenómeno se da en huevos de ciertos reptiles, como las tortugas, cocodrilos y algunos lagartos. Todos estos reptiles que dependen de la temperatura ambiental carecen de cromosomas sexuales. Por increíble que parezca, las características ambientales del nido entre el primer y segundo tercio del período de incubación, definen la sexualidad del individuo en desarrollo. La temperatura modifica el metabolismo y la diferenciación de las células embrionarias, haciendo que se distingan unas de otras y fijando el sexo. Los datos de las temperaturas varían según la especie. En los cocodrilos con temperaturas cálidas superiores a 27°C nacen machos, y con temperaturas más frías, nacen hembras.


Respecto a las tortugas, el proceso es inverso, bajas temperaturas de incubación en el nido (menos de 25°C aprox.) producen machos, mientras que, con más calor (26-30°C aprox.) nacen hembras.

Adaptado de <https://es.quizclub.com/trivia/que-determina-el-sexo-de-los-cocodrilos/answer/297351>

Explica la frase subrayada. ¿Qué relación tienen los cromosomas con el sexo en otras especies de animales?

A. Imagina que trabajas en un proyecto de biodiversidad y deben resolver el problema de la baja población de hembras de cocodrilos y tortugas en la cuenca del Orinoco.

- ¿Qué propuestas realizarías para resolver ese problema? _____



En la segunda parte de la guía se cuestiona al estudiante sobre sus concepciones de ambiente y los elementos que forman parte de él. Adicionalmente se presentan imágenes de embriones de diferentes especies, esperando que se reconozcan las condiciones que rodean al huevo y al útero como el ambiente inmediato del embrión, el cual cuenta con unas condiciones específicas que influyen sobre el desarrollo del individuo. Para finalizar esta guía se plantean algunas preguntas relacionadas con el parentesco entre los padres y sus crías.




• Diseña un protocolo o experimento para resolver el problema. Recuerda identificar el problema y las variables que vas a tener en cuenta.

| | | |
|-----------|-----------|-------------|
| Problema: | Variables | Experimento |
|-----------|-----------|-------------|

2. ¿Es posible afirmar que el ambiente tiene influencia en el desarrollo de los cocodrilos al interior del huevo? Explica tu respuesta. _____

4. Escribe con tus palabras el significado de ambiente, luego selecciona un ser vivo y describe su ambiente. _____

5. Todos los seres vivos nos encontramos en un ambiente desde el momento de la fecundación. Describe las características y elementos que forman parte del ambiente de los organismos de las imágenes:

| Huevos de tortuga | Embrión humano | Huevos de pez |
|---|---|--|
|  |  |  |
| ¿Cómo es el ambiente del embrión de tortuga? _____ | ¿Cómo es el ambiente del embrión humano? _____ | ¿Cómo es el ambiente del embrión de pez? _____ |
| _____ | _____ | _____ |
| _____ | _____ | _____ |
| _____ | _____ | _____ |
| _____ | _____ | _____ |

Guía 2. ¿Qué tan idénticos?


En la guía anterior se parte de una situación relacionada con las características de cocodrilo y su entorno, para la guía 2 (Anexo 4) se presenta una situación que se utiliza el caso de los gemelos humanos, con lo cual se espera despertar mayor interés y cercanía con el estudiante. Se empiezan a incluir en el texto de presentación, términos importantes para comprender la herencia de caracteres, y se cuestiona al estudiante sobre aspectos cotidianos sobre los cuales posiblemente no se había buscado una explicación.

GUIA 2: ¿QUÉ TAN IDÉNTICOS?

1. Observa la imagen, lee y resuelve la actividad:

¿GEMELOS IDÉNTICOS?

Jaime y Felipe son un par de gemelos idénticos, ellos cuentan que la edad de seis años, Jaime tuvo varicela y, dos semanas después, la padeció Felipe. Unos meses después a Jaime le empezaba a doler la garganta, y a Felipe le diagnosticaban amigdalitis unos días más tarde. Lo mismo ocurría con la gastroenteritis y las incómodas liendres. A ambos les tuvieron que sacar las cuatro muelas del juicio por falta de espacio, pero Felipe tuvo un tipo de conjuntivitis un par de veranos y Jaime no. Además, a Jaime le aparecían constantemente hongos en la planta de los pies y a Felipe no; y lo tuvieron que intervenir de una hernia y a Felipe no le diagnosticaron ninguna. Ambos son hermanos son idénticos, es decir, comparten el 100% de la información genética, lo que se traduce en el mismo peso, la misma altura y similares facciones.



Los hermanos gemelos lo comparten todo: el peso, la altura, la cara, los gestos, etc. Los gemelos que nacen idénticos comparten algo más que la cara y los gestos, comparten todo su material genético, lo que significa que es muy difícil distinguirlos físicamente.


Adaptado de https://www.crg.eu/sites/default/files/crg_media/343305.PDF

A. ¿Crees que las personas de la imagen realmente son gemelos? Argumenta tu respuesta. _____

En la segunda parte de esta guía se indaga sobre las explicaciones que los estudiantes dan a las diferencias y similitudes entre los gemelos. Se espera que se utilicen algunos de los términos presentados en la lectura tales como “información genética”. Para la parte final se incluye una imagen de la molécula de ADN, con el fin de explorar las asociaciones que realiza el estudiante entre esta y la herencia, para empezar a incluirla en sus explicaciones.

Hasta este punto el rol del docente ha sido facilitar las guías y resolver dudas sobre su desarrollo, permitiendo que los estudiantes exploren y resuelvan de manera autónoma las preguntas. Tanto para la guía 1 como para la 2, el docente puede proponer ejercicios de socialización en grupos de trabajo de 4 a 5 estudiantes y escuchar algunas de las respuestas con el fin de identificar algunas de las nociones que prevalecen sobre el tema y retroalimentar cuando lo considere pertinente.


B. Completa el siguiente cuadro comparativo a partir de la información del párrafo y la imagen:

| | | |
|---|--------------|--|
|  | Similitudes: | ¿Cómo puedes explicar estas similitudes? |
| | Diferencias: | ¿Cómo puedes explicar estas diferencias? |

C. Escribe un párrafo que explique la frase subrayada en el texto.

2. ¿Cuál de las ramas de la biología crees que podría dar respuestas a las preguntas planteadas anteriormente? _____

3. La imagen está relacionada con la herencia de caracteres y conocerla es necesario para lograr explicar las semejanzas entre los gemelos, Escribe en el párrafo todo lo que conoces sobre esta imagen.



Guía 3. La epigenética y los gemelos

En las guías 1 y 2 se indagó sobre algunas de las explicaciones que los estudiantes daban a las diferencias y similitudes entre los gemelos, y en ellas se incluyeron algunos términos relacionados con la herencia de caracteres. Esta es una manera inicial de realizar un acercamiento a la epigenética como forma de explicar las diferencias entre los gemelos. Con la guía 3 titulada “La epigenética y los gemelos” (Anexo 5), se espera que el estudiante empiece a cuestionar algunas de las ideas que tiene sobre la herencia y tenga en cuenta otro tipo de factores que influyen en la expresión de los genes.

GUÍA 3. LA EPIGENÉTICA Y GEMELOS

1. Realiza la lectura y responde las preguntas:

¿Por qué los gemelos no son exactamente idénticos si comparten el mismo ADN?

Todos nosotros, en alguna ocasión hemos conocido a una pareja de hermanos gemelos que, al principio, no somos capaces de diferenciar. Sin embargo, al cabo de un tiempo (puede que minutos o puede que algunos días), somos conscientes de que existen bastantes diferencias entre ellos.

Los hermanos gemelos comparten el 100% del ADN. Pero, ¿por qué no son exactamente iguales? Una de las primeras respuestas a esta pregunta está en un estudio de las diferencias en los factores ambientales que los rodean, relacionados con su estilo de vida (tratamientos farmacológicos, consumo de alcohol y tabaco, actividad física o hábitos nutricionales), esto se traducen en cambios epigenéticos.

El término epigenética significa etimológicamente “por encima de la genética”, es decir, son cambios que se dan físicamente en el ADN, pero sin afectar a la secuencia. Por tanto, somos nosotros mismos los que podemos controlar ciertos factores genéticos de nuestro propio organismo.


Adaptado de <https://nkaiglobal.wordpress.com/2013/06/04/gemelos-epigenetica/>


A. ¿Por qué no son completamente idénticos los gemelos? _____

B. ¿Qué estudia la epigenética? _____

C. Explica la frase subrayada: _____

2. Observa las imágenes, describe lo que ocurre.







En la segunda parte de la guía se presenta un video en inglés (<https://www.youtube.com/watch?v=aAhcNjmvhc>) que explica de manera muy gráfica las implicaciones y procesos básicos de epigenética, exponiendo de manera explícita el caso de los gemelos y sus diferencias. Aquí se pasa a un mayor nivel de complejidad al integrar conceptos como proteínas, genes y etiquetas químicas, que son abordados desde el video. En esta parte es muy importante hacer una alto para asegurar que el contenido del video ha sido interiorizado, por lo cual la labor del docente y el trabajo sobre la guía resulta especialmente fundamental.

A. ¿Cómo se relaciona la situación de las imágenes con la lectura? _____

B. ¿Qué factores han influido para que los gemelos no padezcan las mismas enfermedades? _____

3. Observa el video que se encuentra en el siguiente link:
<https://www.youtube.com/watch?v=aAhcNjmvhc>


A. La siguiente imagen representa el grupo metilo, una etiqueta química que al unirse a la cadena de ADN o a las histonas promueve la expresión o el silenciamiento de ciertos genes. Explica con tus palabras los términos subrayados.

• Expresión: _____
 • Silenciamiento: _____

B. Encierra de rojo la etiqueta química que está unida al ADN y de azul la que está unida a la histona (proteína).

C. ¿Cuáles pueden ser las consecuencias de la etiqueta química sobre el gen o sobre una histona (proteína)? _____

4. Explica la siguiente ilustración.



5. ¿Puede el ambiente influir en la expresión o silenciamiento de un gen? Explica tu respuesta. _____

Guía 4. Epigenética

En la primera parte de la guía 4 titulada “Epigenética” (Anexo 6) se presentan varios elementos necesarios para la comprensión de la epigenética y su diferenciación de la genética clásica, tales como el ADN, los niveles de empaquetamiento, la transcripción y traducción del código genético, las mutaciones y los mecanismos epigenéticos.

GUÍA 4. EPIGENÉTICA

Para lograr comprender las causas de las diferencias y similitudes entre los gemelos es necesario recordar algunos conceptos básicos de genética.

Algunos conceptos básicos

La herencia es el proceso por el cual se transmiten las características de los organismos a su descendencia.

La genética es una rama de la biología que estudia cómo los rasgos se heredan y se transmiten de generación en generación.

¿Qué es el ADN? El ADN es la molécula portadora de la información genética de un organismo.

El genotipo es la composición genética de un organismo. Los alelos de cada gen que un organismo tiene.

LOS GEMELOS Y LA HERENCIA

Las características heredables son aquellas que los progenitores transmiten a la descendencia gracias a la información genética contenida en el ADN.

Fenotipo: Características físicas de un organismo. Puede de forma espontánea externa, como conducta, o en términos evolutivos.

La estructura del ADN

La macromolécula de ADN está formada por moléculas llamadas nucleótidos.

Existen cuatro tipos de nucleótidos, que se diferencian por la composición química de la base: Adenina (A), Timina (T), Guanina (G) y Citosina (C).

La unión de nucleótidos da lugar a una larga cadena en la que se alternan las desoxirribosas y los ácidos fosfóricos, ligados por enlaces químicos. Hay dos tipos de bases. Las purinas (Adenina y Guanina) y **pirimidinas** (Timina, Citosina y Uracilo). La timina es específica del ADN y el Uracilo es propio del ARN.

Estructura general de un nucleótido

Bases nitrogenadas

Empaquetamiento del ADN

Un cromosoma eucariota contiene una única doble hélice de ADN. Este se enrolla en proteínas llamadas histonas y forma nucleosomas que son las unidades de empaquetamiento del ADN, con lo que reduce su longitud. Otras proteínas enroscan las esferas de ADN e histonas (**nucleosomas**), de forma parecida al resorte, lo que nuevamente reduce la longitud. Estos espirales se unen en bucles a "anclajes" de proteína para completar el cromosoma como se presenta durante la mayor parte de la vida de la célula. La envoltura enroscada y resorteada hace al cromosoma unos mil veces más corto que la molécula de ADN que contiene. Durante la división celular, otras proteínas producen otra compactación del cromosoma para condensarlo unos 10 veces más.

Estructura del ADN

Transcripción y traducción

La transcripción es el primer paso de la expresión génica, el proceso por el cual la información de un gen se utiliza para generar un producto funcional, como una proteína. El objetivo de la transcripción es producir una copia de ARN de la secuencia de ADN de un gen.

La información genética pasa del ADN al ARN y las proteínas (a). En la transcripción, la secuencia de nucleótidos de un gen especifica una secuencia de nucleótidos de una molécula de ARN complementario. Para los genes que codifican genes, el producto es una molécula de ARN que sale del núcleo y entra en el citoplasma. (b) En la traducción, la secuencia en una molécula de ARN que especifica la secuencia de aminoácidos de una proteína.

Transcripción y traducción

A continuación, se aborda la epigenética, pasando a un segundo nivel de complejidad al hacer énfasis en el campo molecular, el cual se aborda con una lectura inicial y con la presentación de un video que constituye un primer acercamiento a la elaboración de modelos que permiten explicar los mecanismos epigenéticos. Con esta guía se espera que los estudiantes comprendan los mecanismos moleculares que están involucrados en la epigenética y reconozcan la importancia de la elaboración de modelos en la ciencia, sin perder de vista la relación con los gemelos.

En esta parte de la guía se continúan trabajando elementos del video presentado, del cual se retoman algunos ejemplos que se equiparan con la situación de los gemelos abordada

en las guías 1 y 2. Se espera que en este punto los estudiantes alcancen un mayor nivel de comprensión, ya que en el video se presentan situaciones que retoman lo visto en las tres guías anteriores y que consolida las explicaciones desde la epigenética.

Observa el video que se encuentra en el siguiente link:

<https://www.youtube.com/watch?v=s83b9Y4Q5gg&t=40s>

Responde las siguientes preguntas:

1. ¿Qué diferencias encuentras entre las mutaciones y los mecanismos epigenéticos?
2. ¿Qué ocurre en el ADN cuando hay una mutación?
3. ¿Por qué no se expresa el gen que determina una característica (ejemplo: color) en un individuo (ratón)? _____
4. Explicalo las diferencias en el fenotipo (color) de los ratones desde el punto de vista de la mutación y desde la epigenética.

| | Desde la mutación | Desde la epigenética |
|---|---------------------|----------------------|
|  | ¿Por qué es blanco? | ¿Por qué es blanco? |
|  | ¿Por qué es gris? | ¿Por qué es gris? |

5. ¿Sobre cuáles bases nitrogenadas aparece el grupo metilo que se relaciona con los cambios epigenéticos? _____

6. ¿Qué son las histonas y cómo se relacionan con la epigenética? _____

Para finalizar esta guía, se propone la elaboración de un modelo para representar la forma como actúa la epigenética, tanto a nivel molecular como en su expresión en el fenotipo. Además, se proponen unas preguntas para determinar algunas de las relaciones que establecen los estudiantes con los mecanismos moleculares implicados en los procesos epigenéticos.

C=Rojo / G=Blanco / A=Amarillo / T=Gris / Grupo metilo: CH₃

A. ¿La secuencia de ADN cambia cuando se une el grupo metilo?

B. ¿Qué pasa cuando se une el grupo metilo?

C. ¿Estos cambios (metilación) afectan el genotipo o el fenotipo del individuo?

8. En el video se hace un ejercicio de modelización de la epigenética utilizando fichas de Lego. Crea tu propio modelo para explicar la epigenética y preséntalo a tu clase. Inicia completando los siguientes espacios:

Materiales que usarás:

Dibuja tu modelo

Explica el modelo

Guía 5. La epigenética y los cambios en la biología

En este punto se espera que el estudiante sea consciente de que algunos aspectos de los seres vivos no pueden ser explicados recurriendo únicamente a los conocimientos tradicionalmente trabajados en los libros de texto, ya que los seres vivos poseen un alto grado de complejidad. Debido a lo anterior, en la guía 5 “La epigenética y los cambios en la biología” (Anexo 7) se retoman tres disciplinas de la biología en las cuales algunas de sus teorías o ideas que han sido o pueden llegar a ser reevaluadas al tomar en consideración la propuesta de la epigenética:

- En la embriología se ilustran el preformismo y la epigénesis.
- En la genética el determinismo genético y el indeterminismo.
- En la evolución la selección natural y la herencia de caracteres adquiridos.

ANEXO 7
GUÍA 5: LA EPIGENÉTICA Y LOS CAMBIOS EN LA BIOLÓGÍA

I. El siguiente esquema representa algunos de los hechos y autores que posibilitaron el desarrollo de la genética, la embriología y la evolución.

A. ¿Cuáles fueron las dos teorías propuestas por Aristóteles sobre el desarrollo embrionario? _____ y _____

B. ¿Consideras que la genética tiene sus orígenes en 1900 con el redescubrimiento de las leyes de Mendel? O ¿Crees que el estudio de la genética tiene un origen más antiguo? _____

C. En la siguiente tabla aparecen dos acontecimientos del esquema, escribe la disciplina a la cual pertenecen y otra disciplina a la cual le pudo haber aportado.

| Acontecimiento | Disciplina a la que pertenece | Disciplina a la que le pudo aportar |
|---|-------------------------------|-------------------------------------|
| Observación del espermatozoide al microscopio | | |
| Resurgimiento de la epigénesis y la biogenética | | |

D. Lamarck aparece dos veces en el esquema porque con el surgimiento de la epigenética se empieza a reconsiderar el papel del ambiente en la expresión del fenotipo, a como lo llaman los **Lamarckistas**, la herencia de caracteres adquiridos.

¿Consideras posible que una teoría que fue descartada hace más de dos siglos pueda resurgir y ser considerada como una explicación actual? _____

2. ¿Cómo han cambiado las percepciones de la embriología desde la antigua Grecia hasta hoy? _____

3. La teoría de Darwin encontró en la genética una valiosa evidencia, con los nuevos descubrimientos sobre la epigenética, ¿cómo crees que puede cambiar la percepción de la evolución? _____

4. ¿Qué diferencias y similitudes encuentras entre el preformismo y el **neopreformativo** representados en la imagen? Al lado derecho representa la epigénesis: _____

6. CONCLUSIONES

Luego de realizar la presente revisión surgen una serie de conclusiones sobre la epigenética y sus proyecciones en diferentes disciplinas de la biología y su enseñanza. Uno de los principales puntos a tener en cuenta, lo constituye una de las características fundamentales del pensamiento científico: su caducidad, ya que este será modificado y superado por nuevos descubrimientos e innovaciones, basados en la hipótesis, errores, dudas, críticas y pruebas. Así, actualmente se considera que los numerosos avances en el estudio de la epigenética podrían llegar a sustituir proposiciones científicas que hoy se tienen como verdades o, simplemente, pueden aportar evidencias que cuestionen las posturas predominantes en las diferentes disciplinas de la biología.

Es precisamente esas características del pensamiento científico que se mencionan anteriormente, uno de aspectos que más se tiene en cuenta en este documento, ya que, al hacer un recorrido histórico por la embriología, la genética y la evolución, se evidencian cambios en las ideas que han marcado el desarrollo de estas disciplinas, tales como el paso del preformismo a la epigénesis o del Lamarckismo al Darwinismo. Igualmente se identifica en varios de los textos referenciados una inclinación hacia la posibilidad de un cambio en las ideas predominantes actualmente en la biología, especialmente en el la genética y la evolución, ya que con el descubrimiento de la epigenética se empiezan a tener en cuenta otros tipos de relaciones entre el ambiente y el desarrollo de los seres vivos.

Específicamente en el campo de la evolución se empiezan a hacer más evidentes algunos elementos que ponen en cuestión las bases de la teoría evolutiva aceptada actualmente: la teoría sintética, la cual tiene sus fundamentos en los planteamientos de Charles Darwin. Así, es posible plantear la necesidad de profundizar en algunas de las ideas evolutivas a la luz de los descubrimientos actuales sobre la epigenética. Es importante recordar que los neodarwinistas de mitad del siglo XX retomaron elementos de la genética clásica para sustentar varias de las

ideas de Darwin, y así aportar una especie de complemento sobre los vacíos que no se habían podido llenar en su época debido al desconocimiento de aspectos claves de la herencia. Esos planteamientos sobre la herencia dejaban de lado la influencia del ambiente sobre el desarrollo del fenotipo de los seres vivos, sin embargo, con el surgimiento de la epigenética se empieza a hacer evidente la influencia del ambiente sobre la expresión del fenotipo, con lo cual se hace necesario revisar una de las evidencias de la evolución más importantes, la evidencia que aporta la genética clásica.

Continuando con el análisis de las implicaciones de la epigenética sobre la teoría evolutiva aceptada actualmente, se encuentra que en varios de los artículos consultados se pone de manifiesto una dicotomía entre las teorías propuestas por Lamarck y Darwin. Esto se debe a los recientes estudios que reconocen la influencia del ambiente sobre la expresión del fenotipo de los seres vivos, una idea expresada por Lamarck hace más de dos siglos y que fue opacada, e incluso ridiculizada por muchos naturalistas importantes de su época, para dar paso a la teoría de Darwin, sin embargo, con el surgimiento de la epigenética se han vuelto a reconsiderar algunos de los planteamientos de Lamarck sobre la influencia del ambiente en la herencia de caracteres. Lo anterior deja en evidencia los alcances de la epigenética sobre las ideas evolutivas y la controversia que puede llegar a generar.

De forma similar a lo ocurrido en la evolución, la genética clásica o tradicional ha encontrado en la epigenética un elemento de controversia, ya que en algún momento el alcance de la genética fue tan grande que se llegó a plantear la idea de explicar cada característica de los seres vivos a partir del genoma. Sin embargo, al caer en este determinismo genético se generaron amplios debates, los cuales hoy se encuentran fortalecidos con los estudios epigenéticos, los cuales ponen de manifiesto la imposibilidad de reducir los seres vivos a su genoma y destacan otros tipos de relaciones en las que sobresale el papel del ambiente intracelular y extracelular, desde el mismo momento de la formación del cigoto.

De esta forma la epigenética llega a cuestionar la mirada clásica de la genética, en la cual el fenotipo es una expresión del genotipo, una mirada lineal que desconoce la influencia del medio. Con la epigenética se van a establecer relaciones complejas con elementos diferentes al fenotipo, de forma que los planteamientos de los libros de texto, en los cuales se refuerza esa mirada unidireccional, genotipo-fenotipo, debe ser replanteada para dar paso a una visión más compleja. También es importante que la visión de ciencia que se trabaje en el aula empiece a fortalecer una mirada crítica, en la cual se posibilite el cuestionamiento de las teorías tradicionales de la ciencia, en este aspecto se considera a la epigenética como un elemento importante que aporta a este propósito.

En cuanto a los estudios desarrollados sobre la enseñanza de la epigenética, se encuentra un gran vacío, ya que, en esta investigación solo se encontró una experiencia en el contexto colombiano y dos en España, lo cual puede considerarse un obstáculo en la revisión de documentos y antecedentes, sin embargo, prefiere tomarse como una fortaleza en el sentido que en este campo puede resultar novedoso e inspirar futuros trabajos sobre la enseñanza de la epigenética.

Continuando con la perspectiva educativa, durante el desarrollo del presente trabajo hubo ejercicios de diálogo no formales con especialistas de diferentes niveles, tanto de pregrado como de posgrado. La mayor parte de estos profesionales evidenciaba falta de conocimiento sobre la epigenética y aún menos conocimientos de su relación con otras disciplinas. Por lo cual una de las reflexiones que se pretende dejar en este escrito es la pertinencia de la formación de los docentes en el campo de la epigenética, ya que es necesario que los profesores de ciencias tengan un conocimiento actualizado de las teorías científicas y sus proyecciones con otras áreas con el fin de hacer evidente la relación entre diferentes disciplinas al interior de la biología. En este sentido se considera importante plantear reflexiones al interior de los programas de licenciatura en biología para analizar y evaluar la pertinencia de la formación de los docentes de

biología en el tema de la epigenética, teniendo en cuenta que este tema es fundamental y que repercute significativamente en la enseñanza de las ciencias en Colombia.

Por otro lado, en este trabajo se indagó sobre las relaciones de la epigenética con la embriología, la evolución y la genética, sin embargo, al realizar esta revisión se logra detectar otro tipo de relaciones, especialmente con la medicina y la salud. Desde estas áreas es posible dar significancia a la enseñanza de la epigenética como una temática que promueve el autocuidado de las personas y modificaciones en los hábitos de vida, ya que las nociones y expresiones que insinúan algún tipo de inmunidad por presentar “buenos genes” resulta errónea, pues el ambiente y los hábitos van a tener mucho que decir. Cárdenas (2016) realizó un trabajo enfocado al aprendizaje de la epigenética y la salud, y lo relacionó con las competencias ciudadanas y el autocuidado, sin embargo, es el único que del que se encuentran registros, por lo cual se considera que aún queda mucho que trabajar en este campo.

Sobre la visión de la epigenética como problemas de conocimiento, se concluye su importancia y pertinencia por las siguientes razones:

- Permite asumir el conocimiento como un tipo de actividad que está social e históricamente reconocida.
- Promueve y deja en evidencia las posibilidades de cambio de pensamiento.
- promueve una flexibilización en las concesiones epistemológicas que cambian la forma como el sujeto se sitúa frente al conocimiento.
- Fomenta el cambio en las miradas reduccionistas y mecanicistas, por una dimensión renovada, en la cual sobresale la complejidad de los seres vivos y la postura sistémica.
- Cuestiona la experiencia básica como la instancia que permite al sujeto adquirir un sentido renovado.

- Pone a prueba los límites del pensamiento científico y el carácter limitado y suplementario de las teorías.
- Reconoce la crisis de los grandes paradigmas del pensamiento occidental y trasciende la mirada del programa como el desarrollo de contenidos, hacia su comprensión como un proceso que se construye y transforman en el devenir de las prácticas escolares.

Para finalizar resulta importante retomar una de las principales ideas presentadas en esta conclusión sobre los cambios en el pensamiento científico. Al momento de realizar este trabajo, se encuentra un elemento recurrente que aporta cierta incertidumbre en el campo de la epigenética, pues en todos los escritos mencionan que los estudios en esta área han arrojado importantes y significativos resultados, sin embargo, lo que se conoce es apenas “la punta del iceberg”, ya que aún queda mucho por decir e investigar. Esto hace pensar en lo mucho que se ha cuestionado con los estudios iniciales y lo mucho que puede continuar transformando en el mundo de la ciencia, incluso, de forma un poco atrevida, se podría afirmar que es posible que la epigenética llegue a convertirse en uno de los grandes paradigmas de la biología.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Alfonso, I. (1994). Técnicas de investigación bibliográfica. Caracas, Contexto ediciones.
- Andrade, E. (2015). Contexto, estado actual y replanteo del debate internalismo vs. externalismo en las teorías de la evolución biológica. *Revista Colombiana de Filosofía de la Ciencia*, 15(30), 39-79.
- Arteaga, E., Armada, I. y Martínez, J. (2016). La enseñanza de las ciencias en el nuevo milenio. Retos y sugerencias. *Revista Universidad y Sociedad*, 8(1), 169-176.
- Audesirk, T. (2013). *Biología. La vida en la Tierra*. Mexico: Pearson Educación.
- Azkonobieta, T. (2004). La evolución de la forma: implicaciones de una interpretación epigenética del concepto de homología. *En Actas del IV Congreso de la Sociedad de Lógica, Metodología y Filosofía de la Ciencia en España*. 3-6 de Noviembre de 2004 (pp. 163-166). Valladolid, España: Universidad de Valladolid.
- Badosa, M. (2013). Epigenética en medicina: Más allá del genoma. *Anales (Reial Acadèmia de Medicina de la Comunitat Valenciana)*, (14), 7-5.
- Bedregal, P., Shand, B., Santos, M. y Ventura, P. (2010). Aportes de la epigenética en la comprensión del desarrollo del ser humano. *Revista médica de Chile*, 138(3), 366-372.
- Benítez, L. (2018). La epigenética: ¿el regreso de Lamarck? *Ciencia, Tecnología y Salud*, , 5(2), 172-181.
- Camós, A. (2017). Lamarck y la evolución en la enseñanza en España. *eVOLUCIÓN*, 12(2): 53-64.
- Cardenas, M. (2016). Epigenética: una propuesta de aula sobre la influencia de factores externos en la expresión génica y la salud. *Tesis de maestría*. Bogotá, Colombia: Univesidad Nacional de Colombia.
- Curtis H., Barnes S., Schnek, A. y Massarini, A. (2008) *Biología 7ª Edición*. Editorial Médica Panamericana, Buenos Aires, Argentina.

- Dressino, V. (2009). *Epigenética, evolución y la sombra de Lamarck. En IX Jornadas Nacionales de Antropología Biológica*. (pág. 50). Argentina: Asociación de Antropología Biológica de la República Argentina.
- Dressino, V. (2017). La ontogenia y la evolución desde la perspectiva de la teoría de los sistemas de desarrollo (TSD). *Acta Biológica Colombiana*, 22(3), 265-273.
- Fernández, E. (2002). Hacia un nuevo concepto de evolución. *Arbor*, 172(677), 17-40.
- Ferrer, E. (2016). Preformismo y epigénesis en la historia de la embriología. *MEDISAN*, 20(9), 2164-2174.
- Frances, F. (4 de Julio - Septiembre de 2012). ¿Vuelve Lamarck? *Gac. int. cienc. forense*. Valencia, España: Universidad de Valencia.
- Fusaro, D. y Grilli, M. (2012). Epigenética: el futuro es hoy. *Revista de la Sociedad Argentina de Endocrinología Ginecológica y Reproductiva*, 23-25.
- Futuyma, D. (2005). *Evolution*. Massachusetts: Sinauer Associates Inc.
- Jablonka, E. y Lamb, M. (2014). Evolución en cuatro dimensiones, variación genética, epigenética, conductual y simbólica en la historia de la vida. Prensa del MIT.
- García, R., Ayala, P. y Perdomo, S. (2012). Epigenética: definición, bases moleculares e implicaciones en la salud y en la evolución humana. *Revista ciencias de la salud*, 10(1), 59-71.
- Gimenez, I. (2015). El ambiente y la evolución biológica. *Revista de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 2(2), 95-98.
- Gomes, R. (2003). *Análisis de datos en la investigación. En: Investigación social*. Buenos aires: Lugar editorial.
- González, A. (2016). El impulso nervioso como problema de conocimiento. Bogotá, Colombia.: Universidad Pedagógica Nacional.
- Grasa, R. (1986). El evolucionismo: de Darwin a la sociobiología. Cincel, Madrid.

- Guzmán, F. (2016). El determinismo genético y las limitaciones de los nuevos paradigmas de la ciencia contemporánea. *Argumentos de Razón Técnica*, pp. 151-161.
- Heredia, D. (2013). *Redes, sistemas y evolución: hacia una nueva Biología*. Madrid, España: Universidad Autónoma de Madrid.
- Herrero, L. (2008). Del mecanicismo a la complejidad en la biología. *Revista de biología tropical*, 56(1), 399-407.
- Jablonka, Eva y Marion Lamb (2005), *Evolution in Four Dimensions. Genetic, Epigenetic, Behavioral, and Symbolic Variation in the History of Life*, Cambridge, Estados Unidos, MIT Press.
- Krause, B. (2016). Conceptos generales de epigenética: proyecciones en pediatría. *Revista Chilena de Pediatría*, 87(1):4 – 10.
- Longa, V. (2009). Sobre el efecto Baldwin y la noción de herencia. *Signos filosóficos*, 11(21), 43-72.
- Macías, K., Zazueta, V. Mendoza, C., Rangel, A., y Padilla, F. (2008). Epigenética, más allá de la Genética. *Acta Universitaria*, 18(1), 50-56.
- Makinistian, A. (2004). *Desarrollo histórico de las ideas y teorías evolucionistas*. Zaragoza: Prensas Universitarias .
- Martínez, C. (2019). Epigenética y salud: un análisis desde el pensamiento complejo. *Revista Salud Bosque*, 9(2), 31-38.
- MEN. (2004). *Estándares Básicos de Competencias en Ciencias Naturales y Ciencias Sociales*. Bogotá, Colombia: MEN.
- MEN. (2016). *Derechos Básicos de Aprendizaje V.1*. Bogotá, Colombia: MEN.
- Moreno, J. (2009). Lamarck necesita a Darwin: la búsqueda de intención en el estudio de la evolución y de la historia. *Revista de Historia de la Medicina y de la Ciencia*, 61(2), 233-248.
- Muñoz, A. (2009). *Hipertexto Ciencias 9*. Bogotá, Colombia: Editorial Santillana.

- Olivares J., Escalante M., Escarela R., Campero E., Hernández J. y López I. (2008). Los crucigramas en el aprendizaje del electromagnetismo. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 5(3),334-346. ISSN: Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=920/92050307>
- Ondarza, R. (2012). La epigenética, la otra cara de la genética. *Mensaje químico*, Vol. XXXVI, 200 – 211.
- Orozco, J., Valencia, S., Mendez, O., Jimenez, G., y Garzón, J. (2003). Los problemas de conocimiento una perspectiva compleja para la enseñanza de las ciencias. *Red Académica. Universidad Pedagógica Nacional*, Núm. 14.
- Pérez, L. (2011). Evolucionismos y ciencias históricas: darwinismo vs. lamarckismo en arqueología. *Revista de Prehistoria y Arqueología de la Universidad de Sevilla*, 20 (2011): 23-41.
- Pinazo, M. (2012). Genética y algo más. *Archivos de la Sociedad Española de Oftalmología*, 87(2), 35-37.
- Pozo, J. (1997). Enfoques para la enseñanza de las ciencias. Editorial Morata. Madrid, España.
- Quintero, F. (2011). Epigenética, conceptualización y alcance epistémico. *Revista Argentina de Antropología Biológica*, Vol. 13, p.97-103.
- Romero, C. (2005). La categorización un aspecto crucial en la investigación cualitativa. *Revista de Investigaciones Cesmag*, 11(11). 113-118.
- Rosell, P. Dovale, S. y González, A. (2004). La enseñanza de las Ciencias Morfológicas mediante la integración interdisciplinaria. *Educación Médica Superior*, 18(1).
- Ruse, M. (1983). *La revolución darwinista (la ciencia al rojo vivo)*. Madrid: Alianza.
- Sánchez, D. (2019). Santo Tomás y la Fundamentación Ontológica de la Epigenética. *Toletana*, 40 1-16.
- Sánchez, K. (2008). Epigenética, más allá de la Genética. *Acta Universitaria*, 18(1), 50-56.

- Sánchez, S. y Lamas, M. (2011). Epigenética: un nuevo lenguaje, un nuevo destino. *El Residente*, 6(2), 105-110.
- Sarukhán, J. (1988). *Las musas de Darwin*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Seaman, C. (2018). La epigenética y la reivindicación de Lamarck. *CONACYT*, 10: 132–136.
- Solomon, E. Berg, L. y Martin, E. (2013). *Biología*. Editorial Interamericana, México.
- SM. (2019). *Ciencias Naturales Savia 9*. Bogotá, Colombia: SM.
- Sturtevant, A. (1965). *A history of genetics*. Nueva York: Raper and Row.
- Torre, M. (2017). Introducción a la epigenética, nuevo paradigma en nefrología. *NefroPlus*, Vol. 9. Núm. 1. Junio 2017. páginas 1-103.
- Universidad Pedagógica Nacional. (Abril de 2020). *Maestría en Docencia de las Ciencias Naturales*. Obtenido de Universidad Pedagógica Nacional: <http://cienciaytecnologia.pedagogica.edu.co/vercontenido.php?idp=380&idh=8871>
- Uribe, J. (2005). La investigación documental y el estado del arte como estrategias de investigación en ciencias sociales. En P. Paramo, *La investigación en ciencias sociales: estrategias de investigación*. Bogotá, Colombia: Universidad Piloto.
- Valverde, L. (2011). *Ciencias naturales 9*. Quito, Ecuador: Norma.
- Vanney, C. (2009). Epigénesis, evolución y ordenamiento del cosmos. Una visión desde la causa final. *Studia Poliana*, 11. 169-187. .
- Vanney, C. (20 de 08 de 2020). *Universidad Austral*. Obtenido de Determinismo e Indeterminismo: De la Biología a la Filosofía": www.austral.edu.ar/filosofia-deteind/determinismo-e-indeterminismo-de-la-biologia-a-la-filosofia/
- Vecchi, D. y Hernandez, I. (2015). Epigénesis y preformacionismo: radiografía de una antinomía inconclusa. *Scientiae Studia*, vol.13, n.3, pp.577-597.
- Villanueva, D. (2019). Los aportes de Lamarck en la biología y su enseñanza: Una aproximación a través de la revisión documental (Tesis de grado). Bogotá, Colombia: Universidad Distrital.



Waddington, C. (1939). *Development as an epigenetic process, En: An introduction to modern genetics*. Londres: Allen and Unwin.

Zudaire, M. (2016). *¿Debe incorporarse la epigenética al currículum de la educación secundaria? (tesis de maestría)*. Navarra, España: Universidad Pública de Navarra.



ANEXOS
ANEXO 1: TABLAS DE REGISTRO

Categoría: Relación epigenética-evolución

Palabras de búsqueda: Evolución epigenética




| Base de datos | Documentos revisados | Título | Autor | Año | Tipo |
|---|---|--|---|------|----------|
| Dialnet Plus  | Descartados: 109 Escogidos: 9 Total: 118 | El mito del gen: Genética, epigenética y el bucle organismo ambiente. | Daniel Heredia Doval | 2012 | Artículo |
| | | Caracterización molecular del melanoma maligno mediante una aproximación genética y epigenética | Blanca de Unamuno Bustos | 2019 | Tesis |
| | | Factores de predisposición genéticos y epigenéticos de los trastornos de ansiedad | Laura Juliana Dueñas Amaya | 2019 | Artículo |
| | | Alteraciones celulares y moleculares no clásicas en el desarrollo del cáncer | V. M Valdespino-Gómez, V.E. Valdespino-Castillo | 2010 | Artículo |
| | | Redes, sistemas y evolución: hacia una nueva Biología | Daniel Heredia Doval | 2013 | Tesis |
| Google Académico  | Descartados: 1048 Escogidos: 22 Total: 1070 | Introducción a la epigenética | M Esteller | | |
| | | Epigenética en medicina: Más allá del genoma | ME Badosa - Anales | 2013 | |
| | | El lado epi de la epigenética | XA Villamil | 2005 | Artículo |
| | | Radiaciones evolutivas: bases genéticas y epigenéticas de las innovaciones morfológicas | C Sentís | | |
| | | Epigenética: el futuro es hoy | D Fusaro, M Grilli | 2012 | Artículo |
| | | Genética y algo más | MD Pinazo-Durán | 2012 | Artículo |
| | | Fascinación por la epigenética | Ó Barberà Areste | 2015 | Artículo |
| | | De la mutación al fenotipo; variabilidad clínica en la enfermedad de Lesch-Nyhan. El papel de la epigenética | MT Genao, RJ Torres | 2014 | Artículo |
| | | Heredabilidad: bases genéticas, métodos de estudio, ejemplos | RP Puig | | |
| | | Alteraciones celulares y moleculares no clásicas en el desarrollo del cáncer | VM Valdespino-Gómez | 2010 | Artículo |
| | | Estudio de variantes genéticas y análisis epigenético de loci | M Delgado García | 2014 | Tesis |

| | | | | | |
|--------|---|--|---|------|----------|
| | | asociados a esclerosis múltiple | | | |
| | | Sonidos, ruidos y silencios: entre la crisis y la permanencia del determinismo genético en la biología contemporánea | N Pallitto, A Massarini, G Folguera - Ludus Vitalis | 2015 | Artículo |
| | | Epigenética: la lectura entre líneas del código genético | FH Campos-Casal | | |
| | | La heredabilidad faltante y el epigenoma: retos en la era post-genómica | O González-Recio, LA García-Cortés, B Villanueva | | |
| | | ¿Está el profesorado de biología preparado y dispuesto a impartir contenidos actualizados de genética en la educación secundaria? | R Espuelas Ruiz | 2016 | |
| | | El desafío de la genética del ADN recombinante y de la biología del desarrollo para la Teoría Sintética de la Evolución | A OSVALDO | | |
| | | El concepto de especie y los cambios teóricos en biología | G Folguera, A Marcos | 1991 | Artículo |
| | | Epigenética: un nuevo lenguaje, un nuevo destino | SL Sánchez-Serrano, M Lamas - | 2011 | |
| | | ¿Enseñamos Evo-Devo?: Implicaciones de las nuevas hipótesis sobre evolución biológica y su incidencia en la escuela. (pág. 176-187) | GAC Mejía | 2010 | Artículo |
| | | Mecanismos no clásicos de herencia | VFM Barroso, CG Delgado, FJF Ramírez | 2019 | Libro |
| | | Epigenética, más allá de la Genética | Sánchez, Karla L. Macías, et al | 2008 | Artículo |
| | | Una visión crítica sobre la noción " programa genético" desde la biología y la lingüística, consecuencias para la conceptualización de la ontogenia del lenguaje | VM Longa Martínez | 2008 | Artículo |
| | | Determinismo e Indeterminismo: De la Biología a la Filosofía | CEVJF Franck | 2013 | |
| Scielo | Descartados: 10 Escogidos: 6 Total:16 | Epigenética: la lectura entre líneas del código genético | Campos-Casal | 2019 | Artículo |

| | | | | | |
|---|---|---|---|------|----------|
|  | | Epigenetics and genetic determinism | Burbano, Hernán A | 2006 | Artículo |
| | | Genética, epigenética y la complejidad como obra del tiempo | Ludivina Camberos-Luevano, Luis Torre-Bouscoulet† | 2018 | Artículo |
| | | Epigenética: la relación del medio ambiente con el genoma y su influencia en la salud mental. | Sandro Casavilca Karmina Cancino Luis Jaramillo Heinner Guio | 2019 | Artículo |
| | | Epigénesis y epigenética: Ejemplos a partir de la morfología de los renacuajos | Marissa Fabrezi | 2016 | Artículo |
| | | Diferenciación sexual del cerebro: Genética vs. epigenética | Damasia Becú de Villalobos | 2007 | |
|  | Descartados: 0 Escogidos: 1 Total:1 | Genética, epigenética y complejidad como obra del tiempo | Ludivina Camberos Luis Torre | 2018 | Artículo |




Categoría: Relación epigenética-embriología

Palabras de búsqueda: Embriología, preformismo, epigénesis, epigenética

| Base de datos | Documentos revisados | Título | Autor | Año | Tipo |
|---|---|--|-------------------------------|------|------------|
|  | Total: 6 Escogidos: 1 Descartados:5 | Epigenética, conceptualización y alcance epistémico. | Quintero, F. | 2011 | Artículo |
|  | Total:4 Escogidos: 3 Descartados: 1 | Preformismo y epigénesis en la historia de la embriología | Eduardo A. Ferrer Casero | 2016 | Artículo |
| | | Epigénesis y preformacionismo: radiografía de una antinomía inconclusa | Davide Vecchi Isaac Hernández | 2015 | Artículo |
| | | Epigénesis y epigenética: Ejemplos a partir de la morfología de los renacuajos | Marissa Fabrezi | 2016 | Artículo |
|  | Total: 2.000 Escogidos:1 Descartados: 1.999 | ¿Qué significa "epigenética"? | Pablo A. Otero | 2016 | Traducción |

Categoría: Relación epigenética-Genética





Palabras de búsqueda: Evolución epigenética

| Base de datos | Documentos revisados | Título | Autor | Año | Tipo |
|---|---|---|---|--|--------------------|
| Dialnet Plus  | Total:417 Escogidos:9 Descartados: 408 | El mito del gen: Genética, epigenética y el bucle organismo ambiente. | Daniel Heredia Doval | 2012 | Artículo |
| | | Caracterización molecular del melanoma maligno mediante una aproximación genética y epigenética | Blanca de Unamuno Bustos | 2019 | Tesis doctoral |
| | | Factores de predisposición genéticos y epigenéticos de los trastornos de ansiedad | Laura Juliana Dueñas Amaya | 2011 | Artículo |
| | | Alteraciones celulares y moleculares no clásicas en el desarrollo del cáncer | V. M Valdespino-Gómez, V.E. Valdespino-Castillo | 2010 | Artículo |
| | | Redes, sistemas y evolución: hacia una nueva Biología | Daniel Heredia Doval | 2013 | Tesis doctoral |
| | | Scielo  | Total:43 Escogidos: 5 Descartados: 38 | Epigenética: la lectura entre líneas del código genético | Campos-Casal, F.H. |
| Epigenetics and genetic determinism | Burbano, Hernán A | | | 2006 | Artículo |
| Genética, epigenética y la complejidad como obra del tiempo | Camberos-Luevano, Ludivina; Torre-Bouscoulet, Luis. | | | 2018 | Artículo |
| Epigénesis y epigenética: Ejemplos a partir de la morfología de los renacuajos | Fabrezi, Marissa. | | | 2016 | Artículo |
| Diferenciación sexual del cerebro: Genética vs. epigenética | Becú de Villalobos, Damasia. | | | 2007 | Artículo |
| Google Académico  | Total:15.900 Escogidos: 13 Descartados: 15.887 | Introducción a la epigenética | Esteller, Manel | 2014 | Artículo |
| | | Epigenética en medicina: Más allá del genoma. | Badosa, Manel Esteller | 2013 | Artículo |
| | | El lado epi de la epigenética | Villamil, Xóchitl Arteaga | 2015 | Conferencia |
| | | Epigenética: el futuro es hoy. | Fusaro, David, and Mariano Grilli. | 2012 | Artículo |
| | | Genética y algo más | Pinazo-Durán, M. Dolores. | 2012 | Artículo |
| | | Fascinación por la epigenética | Barberà Areste, Óscar. | 2014 | |

| | | | | |
|--|--|---|------|----------------|
| | De la mutación al fenotipo; variabilidad clínica en la enfermedad de Lesch-Nyhan. El papel de la epigenética | Genao, M. Trigueros, and R. J. Torres | 2014 | Artículo |
| | Estudios sobre las bases genéticas de la hipertensión arterial | Lemus Valdés, María Teresa, and José Arcides Castillo Herrera | 2013 | Artículo |
| | Alteraciones celulares y moleculares no clásicas en el desarrollo del cáncer | Valdespino-Gómez, Víctor Manuel, and Víctor Edmundo Valdespino-Castillo. | 2010 | Artículo |
| | Estudio de variantes genéticas y análisis epigenético de loci asociados a esclerosis múltiple | Delgado García, Mercedes. | 2014 | Tesis Doctoral |
| | La heredabilidad faltante y el epigenoma: retos en la era post-genómica | González-Recio, O., García-Cortés, L. A., Villanueva, B., & Ugarte, E. | | Artículo |
| | Epigenética, más allá de la Genética | Sánchez, K. L. M., Zazueta-Novoa, V., Mendoza-Macías, C. L., Rangel-Serrano, Á., & Padilla-Vaca, F. | 2008 | Artículo |
| | Determinismo e Indeterminismo: De la Biología a la Filosofía | Franck, Claudia E. Vanney-Juan Francisco. | 2013 | Artículo |

Categoría: Relación epigenética-Educación

Palabras de búsqueda: Educación epigenética – Enseñanza epigenética

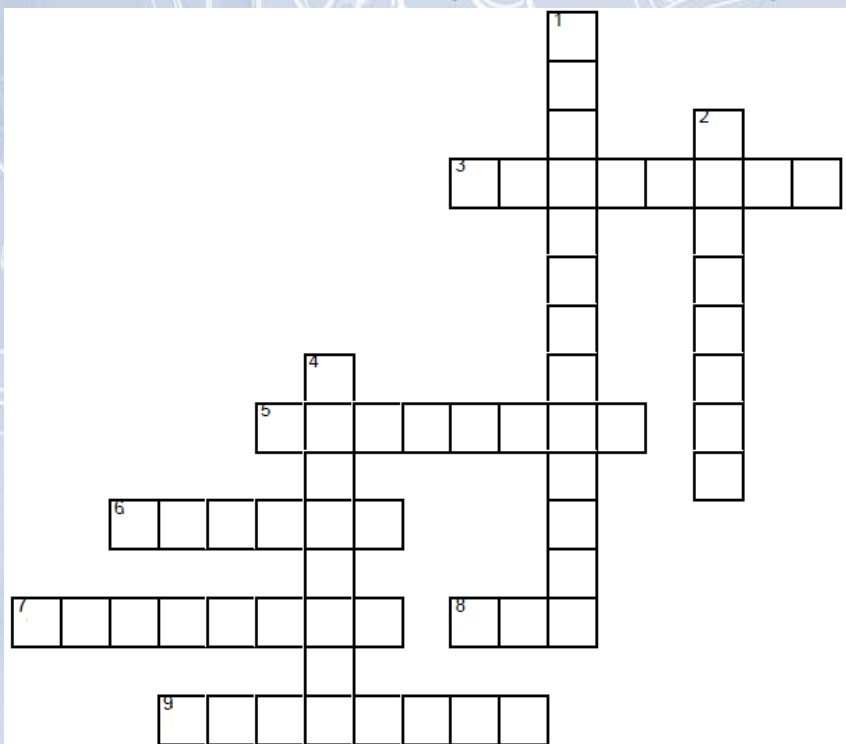
| Base de datos | Documentos revisados | Título | Autor | Año | Tipo |
|---|--|--|---|------|--------------|
| Dialnet Plus  | Total:13 Escogidos: 1 Descartados:12 | Recomendaciones para el aprendizaje de la epigenética en la educación secundaria | María Isabel Zudaire Ripa, María Napal Fraile | 2018 | Artículo |
| Scielo  | Total:0 Escogidos: 0 Descartados: 0 | | | | |
| Scopus  | Total: Escogidos: Descartados: | | | | |
| Google Académico  | Total: 3.910 Escogidos: 8 Descartados: 3.902 | ¿Debe incorporarse la epigenética al currículum de la educación secundaria? | ZUDAIRE RIPA, María Isabel. | 2016 | Tesis master |

| | | | | | |
|--|--|--|--|------|------------------------|
| | | Recomendaciones para la enseñanza de la epigenética en la educación secundaria: informe final para los centros, septiembre 2017 | Zudaire Ripa, María Isabel, Arantxa Larrañeta Iribarren, and María Napal Fraile. | 2017 | Informe |
| | | Epigenética: una propuesta de aula sobre la influencia de factores externos en la expresión génica y la salud. | CARDENAS GRILLO, Maura Yenith. | 2016 | Tesis |
| | | Puesta en práctica de metodologías activas en la enseñanza de la asignatura Biología Evolutiva. | Elvira Payán, B., Almodóvar Pérez, A. M., Ayllón Fernández, D., Leal García, M. S., Olmedo Salinas, C., Alonso Sánchez, J., ... & Tenaguillo Arriola, I. | 2020 | Proyecto de Innovación |
| | | Lamarck y la evolución en la enseñanza en España entre 1966 y 2016 | Camós, Agustí | 2017 | Artículo |
| | | INTEGRACIÓN DE LOS CONCEPTOS DE EQUILIBRIO DE HARDY Y WEINBERG Y LA TEORÍA DEL EQUILIBRO PUNTUADO EN LA ENSEÑANZA DE LA EVOLUCIÓN. | Jorge G. Valdez | 2017 | Ponencia |
| | | Enseñanza de la biología evolutiva: una mirada desde el conocimiento didáctico del contenido. | González, L., G. Pérez, and E. Meinardi. | | Artículo |
| | | Propuesta didáctica para la enseñanza-aprendizaje de “la historia y evolución de la vida en la tierra” dirigida a estudiantes de grado utilizando como estrategia el juego | Molina Martínez, Ana Leidy | 2015 | Tesis |

ANEXO 2

GUIA 0: ASPECTOS PREVIOS

1. Completa el crucigrama:



Horizontales

3. Conjunto de los genes que existen en el núcleo celular de cada individuo.
5. Rasgos observables de un individuo, tales como la altura, el color de ojos, y el grupo sanguíneo.
6. Padre de la genética.
7. Es el estudio de la herencia.
8. Acido desoxirribonucleico que contiene las instrucciones genéticas.
9. Cambio al azar en la secuencia de nucleótidos o en la organización del ADN (genotipo) de un ser vivo.

Verticales

1. Proceso en el que la secuencia de ADN de un gen se copia (transcribe) para hacer una molécula de ARN.
2. Base nitrogenada representada con la letra C.
4. Proceso por el cual las características de los progenitores se transmiten a sus descendientes.

2. Reúnete con tus compañeros y socializa los términos encontrados en el crucigrama, luego discutan la utilidad que pueden tener esos términos en las diferentes áreas de la biología y la vida cotidiana.

3. Discutan y definan con sus propias palabras los siguientes términos

- ¿Qué entiendes por ADN y cuál es la función del ADN?

- ¿Qué entiendes por herencia biológica?

- ¿Qué conoces del trabajo de Gregorio Mendel?

4. A partir de los términos desarrollados en el crucigrama, elabora un mentefacto.

ANEXO 3

GUIA 1 EL AMBIENTE

1. Realiza la siguiente lectura y responde las preguntas:

¿Qué determina el sexo de los cocodrilos?

Los bebés cocodrilos no tienen cromosomas para el sexo. La temperatura a la cual el huevo se desarrolla determina el sexo. Es un sistema biológico que, decide las características sexuales de un organismo dependiendo de la temperatura ambiental durante la incubación. Este fenómeno se da en huevos de ciertos reptiles, como las tortugas, cocodrilos y algunos lagartos. Todos estos reptiles que dependen de la temperatura ambiental carecen de cromosomas sexuales. Por increíble que parezca, las características ambientales del nido entre el primer y segundo tercio del período de incubación, definen la sexualidad del individuo en desarrollo. La temperatura modifica el metabolismo y la diferenciación de las células embrionarias, haciendo que se distingan unas de otras y fijando el sexo. Los datos de las temperaturas varían según la especie. En los cocodrilos con temperaturas cálidas superiores a 27°C nacen machos, y con temperaturas más frías, nacen hembras.

Respecto a las tortugas, el proceso es inverso, bajas temperaturas de incubación en el nido (menos de 25°C aprox.) producen machos, mientras que, con más calor ($26-30^{\circ}\text{C}$ aprox.) nacen hembras.

Adaptado de <https://es.quizclub.com/trivia/que-determina-el-sexo-de-los-cocodrilos/answer/297351>

A. Explica la frase subrayada. ¿Qué relación tienen los cromosomas con el sexo en otras especies de animales?

B. Imagina que trabajas en un proyecto de biodiversidad y deben resolver el problema de la baja población de hembras de cocodrilos y tortugas en la cuenca del Orinoco.

- ¿Qué propuestas realizarías para resolver ese problema



- Diseña un protocolo o experimento para resolver el problema. Recuerda identificar el problema y las variables que vas a tener en cuenta.

Problema:




Variables

Experimento

2. ¿Es posible afirmar que el ambiente tiene influencia en el desarrollo de los cocodrilos al interior del huevo? Explica tu respuesta. _____

3. Escribe con tus palabras el significado de ambiente, luego selecciona un ser vivo y describe su ambiente. _____

5. Todos los seres vivos nos encontramos en un ambiente desde el momento de la fecundación. Describe las características y elementos que forman parte del ambiente de los organismos de las imágenes:

| Huevos de tortuga | Embrión humano | Huevos de pez |
|---|--|---|
|  |  |  |
| ¿Cómo es el ambiente del embrión de tortuga? | ¿Cómo es el ambiente del embrión humano? | ¿Cómo es el ambiente del embrión de pez? |

ANEXO 4

GUIA 2: ¿QUÉ TAN IDÉNTICOS?

1. Observa la imagen, lee y resuelve la actividad:

¿GEMELOS IDENTICOS?

Jaime y Felipe son un par de gemelos idénticos, ellos cuentan que la edad de seis años, Jaime tuvo varicela y, dos semanas después, la padeció Felipe. Unos meses después a Jaime le empezaba a doler la garganta, y a Felipe le diagnosticaban amigdalitis unos días más tarde. Lo mismo ocurría con la gastroenteritis y las incómodas liendres. A ambos les tuvieron que sacar las cuatro muelas del juicio por falta de espacio, pero Felipe tuvo un tipo de conjuntivitis un par de veranos y Jaime no. Además, a Jaime le aparecían constantemente hongos en la planta de los pies y a Felipe no; y lo tuvieron que intervenir de una hernia y a Felipe no le diagnosticaron ninguna. Ambos son hermanos son idénticos, es decir, comparten el 100% de la información genética, lo que se traduce en el mismo peso, la misma altura y similares facciones.





Los hermanos gemelos lo comparten todo: el peso, la altura, la cara, los gestos, etc. Los gemelos que nacen idénticos comparten algo más que la cara y los gestos, comparten todo su material genético, lo que significa que es muy difícil distinguirlos físicamente.

Adaptado de https://www.crg.eu/sites/default/files/crg_media/343505.PDF

- A. ¿Crees que las personas de la imagen realmente son gemelos? Argumenta tu respuesta. _____

B. Completa el siguiente cuadro comparativo a partir de la información del párrafo y la imagen:

| | | |
|--|----------------------------|--|
|  | <p>Similitudes:</p> | <p>¿Cómo puedes explicar estas similitudes?</p> |
|  | <p>Diferencias:</p> | <p>¿Cómo puedes explicar estas diferencias?</p> |

C. Escribe un párrafo que explique la frase subrayada en el texto. _____

2. ¿Cuál de las ramas de la biología crees que podría dar respuestas a las preguntas planteadas anteriormente? _____

3. La imagen está relacionada con la herencia de caracteres y conocerla es necesario para lograr explicar las semejanzas entre los gemelos, Escribe en el párrafo todo lo que conoces sobre esta imagen.



ANEXO 5
GUÍA 3. LA EPIGENÉTICA Y GEMELOS

1. Realiza la lectura y responde las preguntas:

¿Por qué los gemelos no son exactamente idénticos si comparten el mismo ADN?

Todos nosotros, en alguna ocasión hemos conocido a una pareja de hermanos gemelos que, al principio, no somos capaces de diferenciar. Sin embargo, al cabo de un tiempo (puede que minutos o puede que algunos días), somos conscientes de que existen bastantes diferencias entre ellos.

Los hermanos gemelos comparten el 100% del ADN, Pero, ¿por qué no son exactamente iguales? Una de las primeras respuestas a esta pregunta está en un estudio de las diferencias en los factores ambientales que los rodean, relacionados con su estilo de vida (tratamientos farmacológicos, consumo de alcohol y tabaco, actividad física o hábitos nutricionales), esto se traducen en cambios epigenéticos.

El término epigenética significa etimológicamente "por encima de la genética", es decir, son cambios que se dan físicamente en el ADN, pero sin afectar a la secuencia. Por tanto, somos nosotros mismos los que podemos controlar ciertos factores genéticos de nuestro propio organismo.

Adaptado de <https://nkaiglobal.wordpress.com/2013/06/04/gemelos-epigenetica/>

A. ¿Por qué no son completamente idénticos los gemelos? _____

B. ¿Qué estudia la epigenética? _____

C. Explica la frase subrayada: _____

2. Observa las imágenes, describe lo que ocurre.



Blank rounded rectangular box for answer.

Blank rounded rectangular box for answer.

Blank rounded rectangular box for answer.

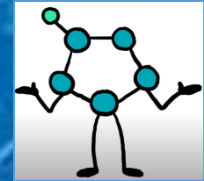
A. ¿Cómo se relaciona la situación de las imágenes con la lectura? _____

B. ¿Qué factores han influido para que las gemelas no padezcan las mismas enfermedades? _____

3. Observa el video que se encuentra en el siguiente link:

<https://www.youtube.com/watch?v=aAhcNjmsbc>

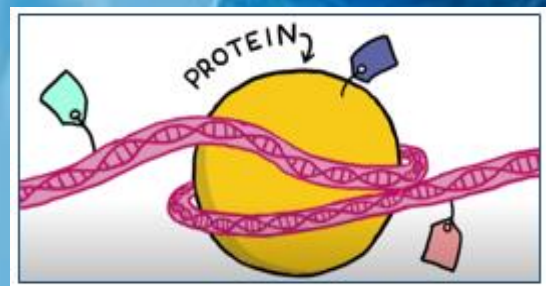
A. La siguiente imagen representa el grupo metilo, una etiqueta química que al unirse a la cadena de ADN o a las histonas promueve la expresión o el silenciamiento de ciertos genes. Explica con tus palabras los términos subrayados.



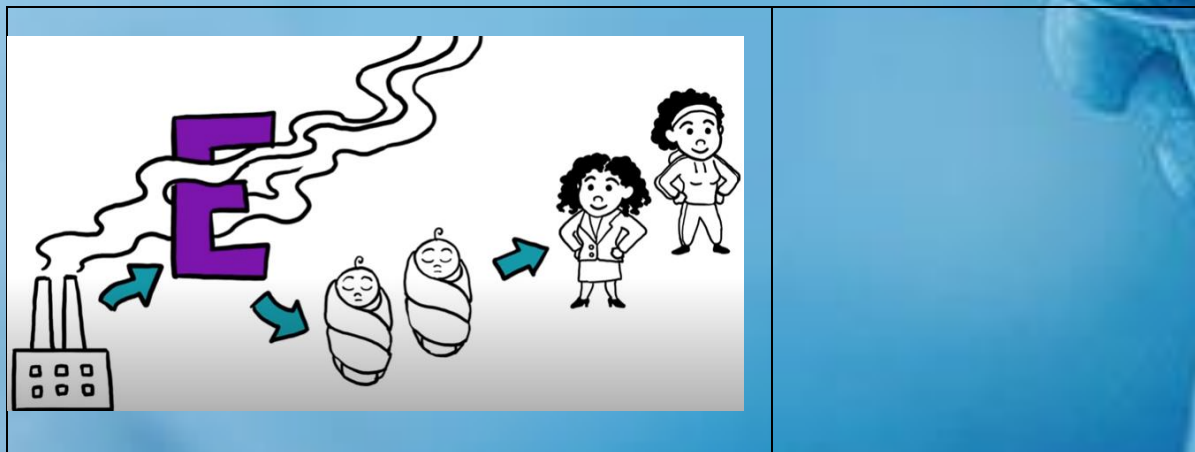
- Expresión: _____
- Silenciamiento: _____

B. Encierra de rojo la etiqueta química que está unida al ADN y de azul la que está unida a la histona (proteína).

C. ¿Cuáles pueden ser las consecuencias de la etiqueta química sobre el gen o sobre una histona (proteína)? _____



4. Explica la siguiente ilustración.



5. ¿Puede el ambiente influir en la expresión o silenciamiento de un gen? Explica tu respuesta. _____

ANEXO 6

GUIA 4: EPIGENÉTICA

Para lograr comprender las causas de las diferencias y similitudes entre los

Algunos conceptos básicos

La herencia es el proceso por el cual se transmiten las características de los organismos a su descendencia.

La genética: es una rama de la biología que estudia como los caracteres hereditarios se transmiten de generación en generación.

¿Qué es el ADN?: El ADN es la molécula portadora de la información genética de un organismo.

Las características heredables: Son aquellas que los progenitores transmiten a la descendencia gracias a la información genética contenida en el ADN.

El genotipo: Es la composición genética de un organismo. Los alelos de cada gen que un organismo tiene.

Fenotipo: Características físicas de un organismo. Puede definirse como apariencia externa, como conducta, o en términos moleculares.

LOS GEMELOS Y LA HERENCIA

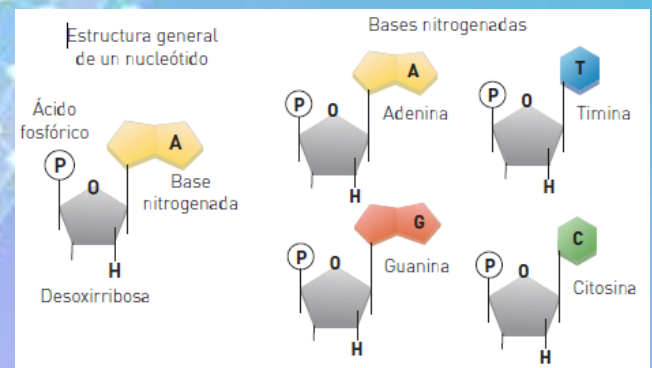
gemelos es necesarios recordar algunos conceptos básicos de genética.

La estructura del ADN

La macromolécula de ADN está formada por moléculas llamadas nucleótidos.

Existen cuatro tipos de nucleótidos, que se diferencian por la composición química de la base: Adenina (A), Timina (T), Guanina (G) y Citosina (C).

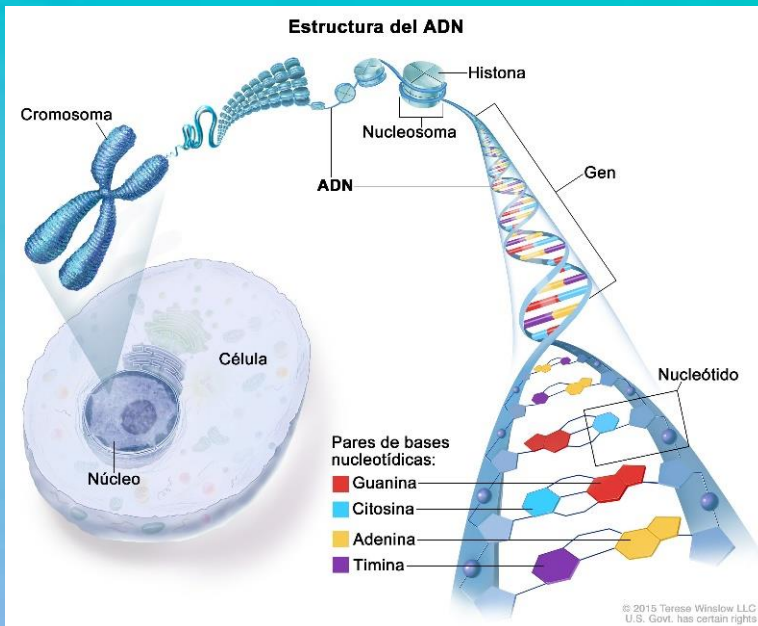
La unión de nucleótidos da lugar a una larga cadena en la que se alternan las desoxirribosas y los ácidos fosfóricos, ligados por enlaces químicos. Hay dos tipos de bases: Las purinas (Adenina y Guanina) y pirimidinas (Timina, Citocina y Uracilo). La timina es específica del ADN y el Uracilo es propio del ARN.



Empaquetamiento del ADN

Un cromosoma eucariota contiene una única doble hélice de ADN. Este se enrolla en proteínas llamadas histonas y forma nucleosomas que son las unidades de empaquetamiento del ADN, con lo que reduce su longitud. Otras proteínas enrollan las esferas de ADN e histonas

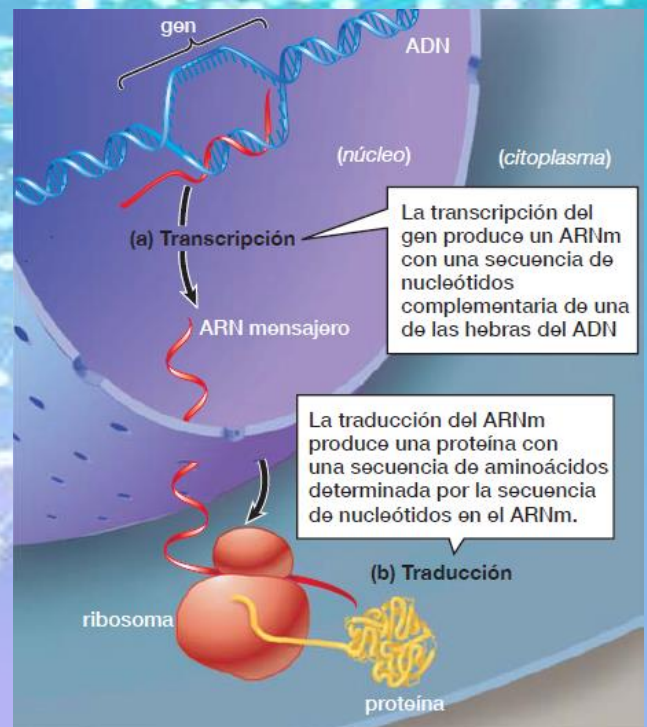
(nucleosomas), de forma parecida al resorte, lo que nuevamente reduce la longitud. Estos espirales se unen en bucles a "andamios" de proteína para completar el cromosoma como se presenta durante la mayor parte de la vida de la célula. La envoltura, enrollada y retorcida hace al cromosoma unas mil veces más corto que la molécula de ADN que contiene. Durante la división celular, otras proteínas producen otra compactación del cromosoma para condensarlo unas 10 veces más.



Transcripción y traducción

La transcripción es el primer paso de la expresión génica, el proceso por el cual la información de un gen se utiliza para generar un producto funcional, como una proteína. El objetivo de la transcripción es producir una copia de ARN de la secuencia de ADN de un gen.

La información genética pasa del ADN al ARN y las proteínas (a) En la transcripción, la secuencia de nucleótidos de un gen especifica una secuencia de nucleótidos de una molécula de ARN complementario. Para los genes que codifican genes, el producto es una molécula de ARNm que sale del núcleo y entra en el citoplasma. (b) En la traducción, la secuencia en una molécula de ARNm que especifica la secuencia de aminoácidos de una proteína.





Observa el video que se encuentra en el siguiente link:

<https://www.youtube.com/watch?v=s83b9Y4Q5qg&t=40s>

Responde las siguientes preguntas:

1. ¿Qué diferencias encuentras entre las mutaciones y los mecanismos epigenéticos?
2. ¿Qué ocurre en el ADN cuando hay una mutación?
3. ¿Por qué no se expresa el gen que determina una característica (ejemplo: color) en un individuo (ratón)? _____

4. Explícalo las diferencias en el fenotipo (color) de los ratones desde el punto de vista de la mutación y desde la epigenética.

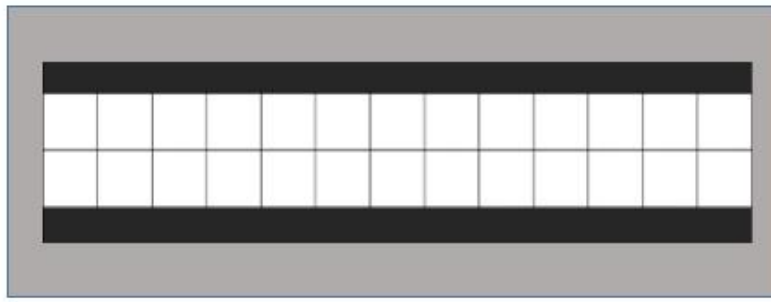
| | Desde la mutación | Desde la epigenética |
|---|---------------------|----------------------|
|  | ¿Por qué es blanco? | ¿Por qué es blanco? |
|  | ¿Por qué es gris? | ¿Por qué es gris? |

5. ¿Sobre cuáles bases nitrogenadas aparece el grupo metilo que se relaciona con los cambios epigenéticos? _____

6. ¿Qué son las histonas y cómo se relacionan con la epigenética?

7. Escribe abajo la secuencia de nucleótidos correcta y ubica el grupo metilo donde corresponda. Luego responde las preguntas:

C=Rojo / G=Blanco / A=Amarillo / T=Gris / Grupo metilo: CH₃



- A. ¿La secuencia de ADN cambia cuando se une el grupo metilo?
- B. ¿Qué pasa cuando se une el grupo metilo?
- C. ¿Estos cambios (metilación) afectan el genotipo o el fenotipo del individuo?
- 8. En el video se hace un ejercicio de modelización de la epigenética utilizando fichas de Lego. Crea tu propio modelo para explicar la epigenética y preséntalo a tu clase. Inicia completando los siguientes espacios:

Materiales que usarás:

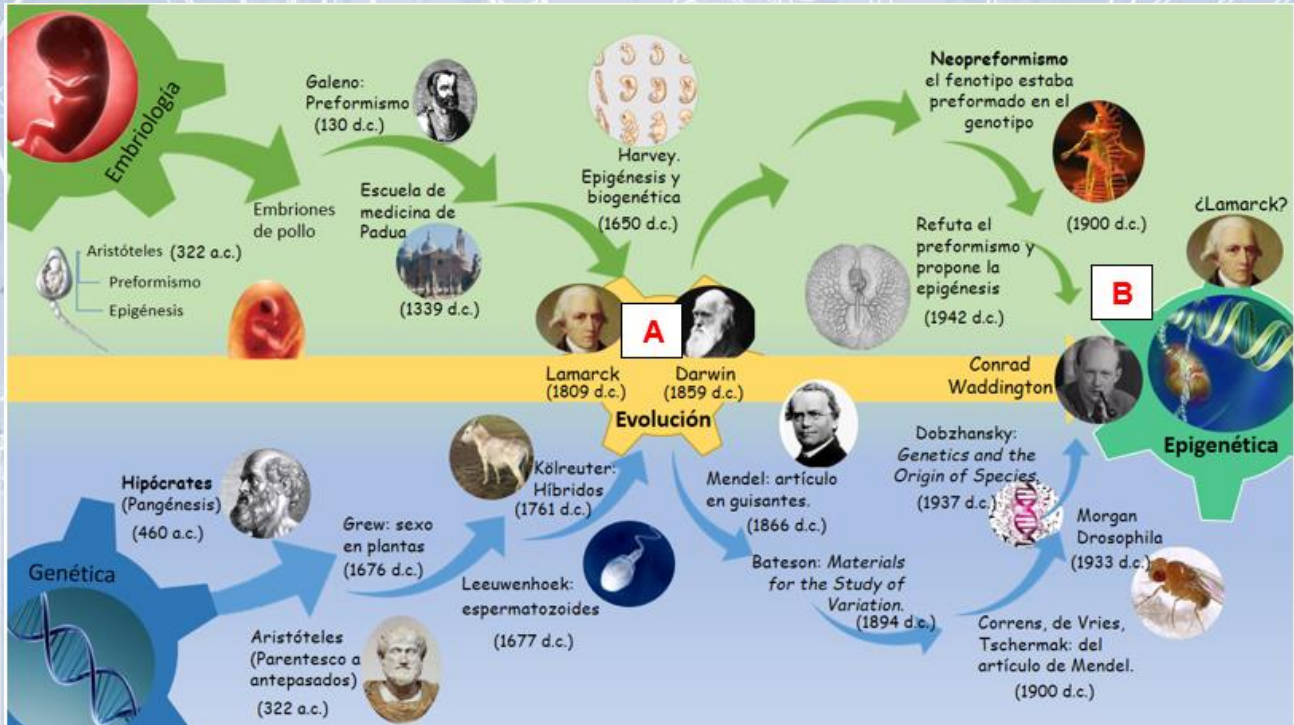
Dibuja tu modelo

Explica el modelo

ANEXO 7

GUIA 5: LA EPIGENÉTICA Y LOS CAMBIOS EN LA BIOLOGÍA

1. El siguiente esquema representa algunos de los hechos y autores que posibilitaron el desarrollo de la genética, la embriología y la evolución.



A. ¿Cuáles fueron las dos teorías propuestas por Aristóteles sobre el desarrollo embrionario? _____ y _____.

B. ¿Consideras que la genética tiene sus orígenes en 1900 con el redescubrimiento de las leyes de Mendel? O ¿Crees que el estudio de la genética tiene un origen más antiguo? _____

C. En la siguiente tabla aparecen dos acontecimientos del esquema, escribe la disciplina a la cual pertenecen y otra disciplina a la cual le pudo haber aportado.

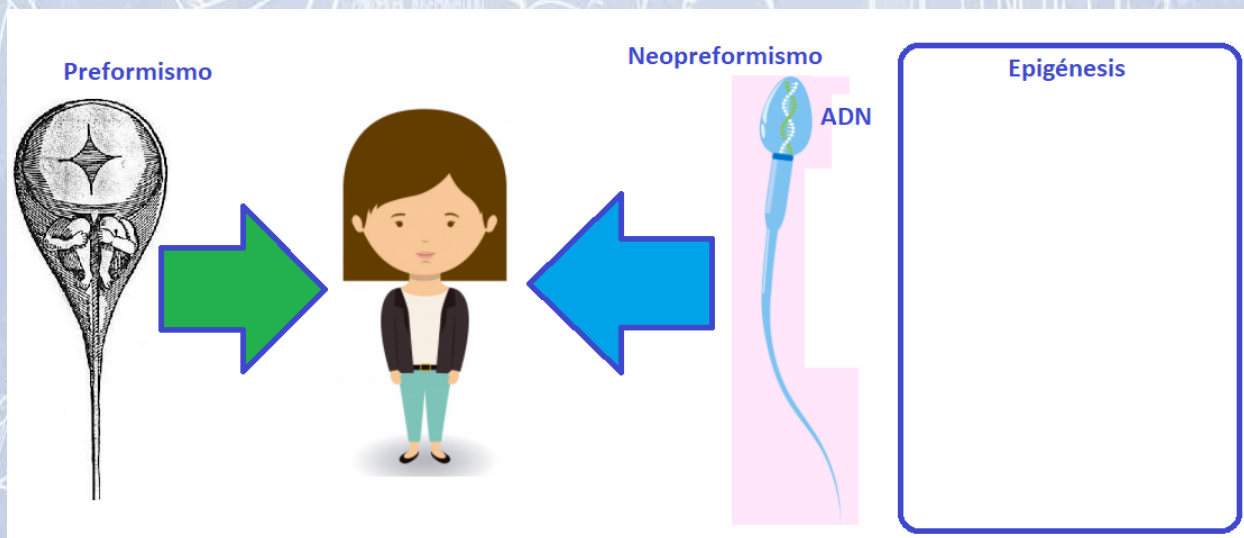
| Acontecimiento | Disciplina a la que pertenece | Disciplina a la que le pudo aportar |
|---|-------------------------------|-------------------------------------|
| Observación del espermatozoide al microscopio | | |
| Resurgimiento de la epigénesis y la biogenética | | |

D. Lamarck aparece dos veces en el esquema porque con el surgimiento de la epigenética se empieza a reconsiderar el papel del ambiente en la expresión del fenotipo, o como lo llaman los Lamarckistas: la herencia de caracteres adquiridos.



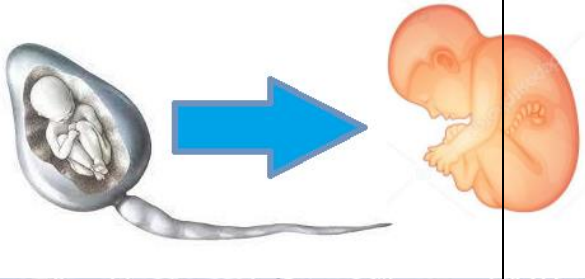
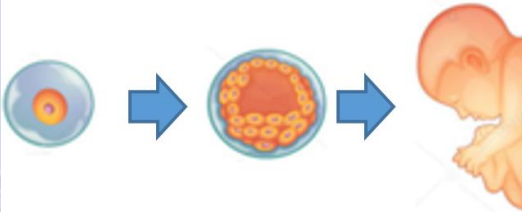
¿Consideras posible que una teoría que fue descartada hace más de dos siglos pueda resurgir y ser considerada como una explicación actual?

2. ¿Cómo han cambiado las percepciones de la embriología desde la antigua Grecia hasta hoy? _____
3. La teoría de Darwin encontró en la genética una valiosa evidencia, con los nuevos descubrimientos sobre la epigenética, ¿cómo crees que puede cambiar la percepción de la evolución? _____
4. ¿Qué diferencias y similitudes encuentras entre el preformismo y el neopreformismo representados en la imagen? Al lado derecho representa la epigénesis.

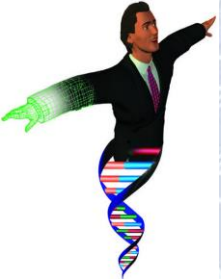
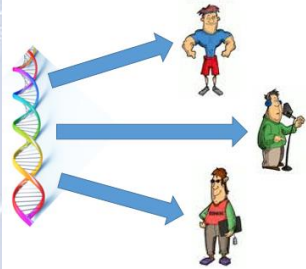


5. El estudio de la epigenética ha dado paso a algunas reflexiones sobre las teorías que se han consolidado y trabajado durante las últimas décadas en diferentes disciplinas de la biología. Observa las imágenes de cada una de las tablas y explica lo que entiendes de cada una de las teorías representadas, de ser necesario consulta otras fuentes de información.

La embriología

| Preformismo | Epigénesis |
|---|--|
|  |  |

Genética

| Determinismo genético | Indeterminismo |
|---|--|
|  |  |

ANEXO 8

MATRIZ DE UNIDADES DE REGISTRO

Las matrices de unidades de registro fueron realizadas en Excel y debido a su extensión no es posible insertarlas completas en este anexo, sin embargo, aquí se presenta una muestra de su organización.

| J | D | E | F | G | H | I | J | K | L |
|---|-------------------|------|--------------------|----------------|--------------------------------|--------------------------------|--|--|---------------|
| | Tipo de documento | Año | País | Palabras clave | Institución | Disciplinas o ramas | Hallazgos | Unidades de registro | Base de datos |
| | Tesis doctoral | 2013 | España | | UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MADRID | Evolución, paradigma sistémico | Esta tesis persigue una reformulación integral de la biología evolutiva a través de la integración de las ciencias de la complejidad con las ciencias biológicas bajo el paradigma sistémico. Para ello, se generará un nuevo catálogo de categorías, herramientas conceptuales y dinámicas concretas que amplíen, potencien y den consistencia al estudio de la evolución a través de una nueva área de conocimiento: la biología evolutiva de sistemas. Esta propuesta toma como eje teórico el modelo de Máximo Sanfín, y trata de sistematizar y explorar nuevas fronteras sobre el mismo, formalizar términos y unificar de manera no sólo coherente, sino inseparable, a buena parte de los fundamentos heterodoxos clásicos (predarwinistas y presintéticos) y de los nuevos retos de la biología del siglo XXI. Lo que se plantea como una alternativa plausible y potente a la síntesis moderna y al pensamiento darwinista (Heredia, 2013) | "existe un creciente número de datos que demuestran que la herencia de la información epigenética no es un fenómeno restringido al desarrollo somático del organismo, sino que, al menos en ciertas ocasiones, las marcas y estructuras adquiridas o desarrolladas por un individuo pluricelular a lo largo de su vida pueden pasar a la descendencia e influir en el fenotipo de los organismos superiores y su adaptación" "En consecuencia, sería posible hablar de una herencia epigenética [de caracteres adquiridos] cuando el estado epigenético es conservado transgeneracionalmente y ha sido inducido de novo en respuesta a señales procedentes del medio, como la alimentación o la temperatura (Jablonska y Raa 2009, Gilbert y Epel 2009)." "conclusión, aunque a día de hoy no se puede saber el alcance real de esta epigenética transgeneracional sobre la biología de las especies, ni valorar toda su importancia en la evolución y la adaptación al medio, los cierto es que las evidencias siguen acumulándose" "Un bucle en el que la información fluye desde el genoma hasta el ambiente, pasando por el epigenoma, y viceversa (figura 3.1). La información, de este modo, circulará de forma continua a través de los canales genético, epigenético y ambiental (Heredia 2012), lo cual es concordante con las pautas de organización de los sistemas biológicos y recupera las nociones más básicas del evolucionismo primigenio, al devolver al organismo ese papel activo en su evolución. El fantasma de Lamarck ha vuelto para quedarse." | Dialnet Plus |
| | Acta de congreso | 2004 | España: Valladolid | | Universidad del País Vasco | Evolución, paradigma sistémico | Esta tesis persigue una reformulación integral de la biología evolutiva a través de la integración de las ciencias de la complejidad con las ciencias biológicas bajo el paradigma sistémico. Para ello, se generará un nuevo catálogo de categorías, herramientas conceptuales y dinámicas concretas que amplíen, potencien y den consistencia al estudio de la evolución a través de una nueva área de conocimiento: la biología evolutiva de sistemas. Esta propuesta toma como eje teórico el modelo de Máximo Sanfín, y trata de sistematizar y explorar nuevas fronteras sobre el mismo, formalizar términos y unificar de manera no sólo coherente, sino inseparable, a buena parte de los fundamentos heterodoxos clásicos (predarwinistas y presintéticos) y de los nuevos retos de la biología del siglo XXI. Lo que se | "Otro aspecto de los procesos epigenéticos está relacionado con la influencia del entorno para construir o inducir ciertas variaciones. La variación epigenética (variaciones del fenotipo inducidas por factores ambientales o del comportamiento que actúan sobre la variación genética a nivel poblacional) puede sesgar la evolución fenotípica mediante la modulación de normas de reacción genéticas y de desarrollo (Nanjundiah 2003). El mismo genotipo, en el mismo entorno, puede dar lugar a más de un fenotipo y, a la inversa, a pesar de una fuerte variabilidad genética puede darse una fuerte constancia fenotípica en un entorno dado" "La Síntesis Moderna asume que la causa principal de todo proceso de desarrollo es genética, sin embargo se muestra incapaz de dar cuenta del origen y conservación de las homologías puesto que la información morfológica se está codificando en epigenomas variables durante su | Dialnet Plus |

| J | D | E | F | G | H | I | J | K | L |
|----|-------------------|------|-----------|--|---|----------------------------|--|---|------------------|
| | Tipo de documento | Año | País | Palabras clave | Institución | Disciplinas o ramas | Hallazgos | Unidades de registro | Base de datos |
| 1 | Artículo | 2018 | México | ADN, caracteres adquiridos, Darwin, evolución, herencia. | Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. | Evolución | La evolución orgánica, desde cualquier punto de vista y desde cualquier vertiente, es la fuerza que ha impulsado a las diferentes especies a seleccionar las mejores características de sobrevivencia y desarrollo para su perpetuación exitosa. Los organismos vivos pueden cambiar sus rasgos fisiológicos y de comportamiento para adaptarse y sobrevivir a entornos cambiantes. Sin embargo, si estos rasgos adquiridos pueden heredarse o no a través de generaciones mediante alteraciones no genéticas ha sido un tema de debate durante más de un siglo (Seaman, 2018). | "El papel de la epigenética en la evolución y la ecología está surgiendo como una fuente importante de variación fenotípica entre individuos y que son ejemplos de la denotada "herencia de caracteres adquiridos" propuesta por La-marck hace más de 200 años." "La mejor evidencia para ejemplificar la herencia epigenética o de caracteres adquiridos es el de los experimentos con ratones Agouti. Una característica de estos ratones es que su color amarillo puede cambiarse a marrón con la ingestión de alimentos ricos en grupos metilo (grupos químicos que se unen al ADN para modificar la expresión de genes) (Wolff et al., 1998)." "En algo si podemos estar seguros, Lamarck estuvo incorrecto en pensar que la herencia de los caracteres o rasgos adquiridos era el único mecanismo de evolución. La selección natural es más común. Sin embargo, ahora sabemos que la herencia de caracteres adquiridos a veces sucede a través de la herencia de modificaciones epigenéticas. Así, la epigenética en conjunto con la genética puede promover silenciosamente la evolución de las especies." | Google Académico |
| 12 | Notas de simposio | 2009 | Argentina | Epigénesis, genética, biología evolutiva, evolución. | Asociación de Antropología Biológica Argentina | Evolución, salud, genética | Desde la formulación por Waddington del término epigenética este campo disciplinar ha manifestado un desarrollo lento pero sostenido. Sin embargo, en los últimos veinte años se produjo, debido al progreso tecnológico y conceptual experimentado por la biología, un gran crecimiento que está cambiando muchos conceptos en diversos campos de la biomedicina y de la biología evolutiva. La herencia epigenética describe la transmisión de la información sobre la base de la expresión genética, a diferencia de la herencia genética que se basa en la información codificada en el ADN. Los mecanismos epigenéticos incluyen metilación del ADN, modificación de histonas, acetilación, etc. y pueden actuar en el "encendido" o "apagado" de ciertos genes modificando así la expresión de éstos. Estos mecanismos son heredables pero su alcance no perdura más allá de cierto número de generaciones dependiendo de la especie. Una característica interesante de estos mecanismos es que permiten corregir defectos genéticos mediante el aporte de grupos metilo aportados por la alimentación. Frente a este escenario los biólogos sistémicos están realizando importantes esfuerzos para incorporar los cambios epigenéticos a su teoría. La razón de ello es que este tipo de transmisión de caracteres se vincula a | "Los biólogos sistémicos están realizando importantes esfuerzos para incorporar los cambios epigenéticos a su teoría. La razón de ello es que este tipo de transmisión de caracteres se vincula a | Google Académico |

| 4 | D | E | F | G | H | I | J | K | L |
|----|-------------------|------|-----------|---|--|------------------------------------|--|--|------------------|
| 1 | Tipo de documento | Año | País | Palabras clave | Institución | Disciplinas o ramas | Hallazgos | Unidades de registro | Base de datos |
| | Artículo | 2015 | Argentina | ambiente, evolución biológica, Lamarck, Darwin, Síntesis Moderna, epigenética | Universidad Nacional de Córdoba, Argentina | Evolución, epistemología, historia | La palabra ambiente y el concepto al que refiere siempre estuvieron presentes en la historia de las ciencias naturales, particularmente en las ideas relacionadas a la evolución biológica. El presente artículo pretende hacer una revisión de cuál fue el rol asignado al ambiente dentro del contexto de las principales teorías evolutivas que se fueron sucediendo, desde los primeros trabajos de Lamarck y Darwin, pasando por las críticas de sus contemporáneos, el auge y las crisis de la teoría de la Síntesis Moderna de la evolución, hasta las nuevas ideas que alcanzan nuestros días. A pesar de que los autores a lo largo de la historia hicieron referencia al concepto de ambiente de formas muy diversas, muchas veces implícitas, se reconoce que la relación inferida de éste con los organismos ha ido cambiando, pasando de una influencia unidireccional desde el ambiente hacia el organismo a una visión integral en la cual los organismos inciden, a través de sus actividades, en su propio ambiente y por consiguiente en el curso de la evolución (Gimenez, 2015). | "no puede ignorarse en épocas actuales el fuerte desarrollo de un área de investigación que, ya esbozada por Waddington hace más de medio siglo con el nombre de "epigenética" (Waddington, 1957), retoma las ideas propuestas por el olvidado Lamarck. Los nuevos desarrollos en epigenética han llegado a tener consecuencias similares tanto a la dimensión genética y su relación con el ambiente, así como a la dimensión simbólico-cultural de la herencia y la evolución (Jablonka y Lamb, 2013)." "En la esfera humana, por ejemplo, rasgos tales como la longevidad, la protección contra virus, la capacidad de adaptación, la tendencia al tipo de cuidado materno y la propensión a distintas enfermedades estarían siendo regulados epigenéticamente, lo que muestra las innumerables y sutiles relaciones que existen entre la biología del desarrollo, la psicología y la coevolución de la historia genética y la historia cultural (Jablonka y Lamb, 2013)." | Google Académico |
| 23 | Artículo | 2002 | España | | Universidad Autónoma de Madrid | Evolución, epistemología | La victoria del darwinismo ha sido tan completa que es un shock darse cuenta de que vacía es realmente la visión darwinista de la vida. Esta rotunda frase no parece significar solamente la manifestación de una opinión personal. Pertenece a un editorial publicado en Nature y firmado por Henry Gee, uno de sus comentaristas sobre evolución. El motivo de que una revista científica de las más prestigiosas (que se pueden considerar como las mantenedoras de la ortodoxia), haga suyo ese comentario es que las investigaciones más recientes (especialmente en el campo de la embriogénesis) han revelado unos fenómenos que han puesto de manifiesto su absoluta incompatibilidad con la teoría darwinista de la evolución. Las consecuencias de esto son obvias, y las precisa otro editorialista de Nature, Philip Ball, en un comentario sobre la secuenciación del Genoma humano: «Los biólogos van a tener que construir una nueva Biología». Tenemos por delante un duro y largo trabajo científico por realizar, pero también tenemos una tarea previa: depurar la Biología de la, tan arraigada, terminología darwinista, cargada de conceptos y prejuicios deformadores de los fenómenos biológicos | "Cabe preguntarse, si la revisión de la teoría de Darwin, llevada a cabo por los neodarwinistas en la primera mitad del siglo XX, y aceptada mayoritariamente por la comunidad científica, sigue siendo válida a la luz de los nuevos descubrimientos de la Biología de los últimos cincuenta años, o si por el contrario es necesario iniciar una nueva revisión de las ideas evolutivas." "La necesaria revisión de las ideas evolutivas no sólo está propiciada por la nueva visión holística de los organismos y de la vida, sino también por los nuevos descubrimientos de la Biología Molecular que está poniendo de manifiesto una complejidad del genoma muy alejada de la clásica visión mendeliana de una disposición lineal de genes independientes, sobre la que se edificó la teoría neodarwinista" "Hay aspectos del genoma, como las modificaciones epigenéticas o la presencia de elementos transponibles que pueden tener una clara incidencia evolutiva." "Estas modificaciones epigenéticas que alteran la capacidad de transcripción de los genes, ocurren con más frecuencia que los cambios genéticos, y pueden ser heredadas a través de la línea germinal (14). Estas modificaciones epigenéticas pueden dar lugar a cambios morfológicos heredables" | Google Académico |

