

**LA HERENCIA: LA CUESTIÓN DE LO EVIDENTE AL MODELO PARA SU
COMPRENSIÓN**

LEIDY BIBIANA ARIZA TRASLAVIÑA

VIVIANA CAICEDO PINEDA

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
MAESTRÍA EN DOCENCIA DE LAS CIENCIAS NATURALES
BOGOTÁ, COLOMBIA
2018**

**LA HERENCIA: LA CUESTIÓN DE LO EVIDENTE AL MODELO PARA SU
COMPRENSIÓN**

LEIDY BIBIANA ARIZA TRASLAVIÑA

VIVIANA CAICEDO PINEDA

Trabajo de grado presentado para optar al título de:

Magister en Docencia de las Ciencias Naturales

Asesores:

GRUPO DE INVESTIGACIÓN ECO-PERSPECTIVAS

Olga Méndez Núñez

Steiner Valencia Vargas

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
MAESTRÍA EN DOCENCIA DE LAS CIENCIAS NATURALES
BOGOTÁ, COLOMBIA
2018**


Agradecimientos

Primeramente a Dios por su amor, por permitirme terminar esta etapa de mi vida y por darme una hermosa familia. A mis hijos Nicolás y Emmanuel, la mayor bendición de mi vida, A mis padres Lidia y Antonio por ser mi ejemplo y apoyo incondicional. A mi esposo José Luis, por su amor, comprensión y compañía durante estos 14 años. A mi hermano Juan David, por llegar en el momento indicado para alegrarme la vida, por permitirme entrenarme como mamá, antes de serlo, por su cariño y amor. A mi compañera de batalla en este camino Viviana por su paciencia y colaboración en momentos tan difíciles, a nuestros asesores Olga y Steiner por su tiempo, comprensión y disposición permanente.

Leidy Bibiana Ariza

A mi padre, por ser el que me impulsa a dar siempre lo mejor sin importar las circunstancias. A mi hermana Nathaly, pese a la distancia estuvo presente en cada momento del desarrollo de esta maestría. A mi hermana Mileidy, por soportar ideas de constancia y determinación en la culminación del presente trabajo. A mi compañera Bibiana y su hermoso bebé quien nos acompañó en este proceso. A las demás personas protagonistas de cada momento significativo para terminar este proyecto.


Viviana Caicedo Pineda

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <small>CONSEJO NACIONAL DE UNIVERSIDADES</small>	FORMATO	
	RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE	
Código: FOR020GIB	Versión: 01	
Fecha de Aprobación: 10-10-2012	Página 4 de 124	

1. Información General	
Tipo de documento	Tesis de grado
Acceso al documento	Universidad Pedagógica Nacional. Biblioteca Central
Título del documento	La herencia: de la cuestión de lo evidente al modelo para su comprensión
Autor(es)	Ariza Traslaviña, Leidy Bibiana; Caicedo Pineda, Viviana
Director	Méndez Núñez, Olga; Valencia Vargas, Steiner
Publicación	Bogotá. Universidad Pedagógica Nacional, 2018 143 p.
Unidad Patrocinante	Universidad Pedagógica Nacional
Palabras Claves	HERENCIA, ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS NATURALES, HISTORIA Y EPISTEMOLOGÍA DE LAS CIENCIAS

2. Descripción
<p>Trabajo de grado que realiza una profundización histórica y teórica en la constitución de la teoría de la herencia como campo de conocimiento científico, que es susceptible de ser analizado según las preocupaciones generadas desde la experiencia como maestras de ciencias, debido a las distintas dificultades que se presentan al momento de abordar niveles explicativos complejos, que solo generan confusiones y baja comprensión de conceptos científicos relacionados con la herencia.</p> <p>A través del estudio histórico y epistemológico realizado en este trabajo, bajo la construcción de elementos de análisis elaborados a partir de la Unidad Básica de Estany, se abordan seis propuestas explicativas específicas planteadas por: <i>Mendel, Sutton, Morgan, Griffith, Avery, Hershey y Chase, Watson y Crick</i>, que demuestran que dependiendo los intereses, el contexto y la época de los científicos, las explicaciones construidas para dar cuenta de la herencia divergen o convergen según el análisis histórico del desarrollo científico sobre la transmisión de los caracteres hereditarios, que a propósito de los modelos que estudian el progreso o cambio científico, se considera va más allá que un simple reemplazo de teorías, las cuales constituyen una dinámica científica que se retroalimenta de diversas perspectivas.</p>

3. Fuentes
<p>Para este trabajo se utilizaron 74 referencias bibliográficas compuestas por 28 libros, 33 artículos científicos y de divulgación científica, 6 tesis, de las cuales 1 a nivel de doctorado, 1 nivel</p>

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <small>CONOCIMIENTO AL SERVIDICIO</small>	FORMATO	
	RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE	
Código: FOR020GIB	Versión: 01	
Fecha de Aprobación: 10-10-2012	Página 5 de 124	

especialización y el resto nivel maestría de la Universidad Pedagógica Nacional y Universidad Nacional de Colombia; de los cuales se destacan las siguientes referencias:

Barahona, A. (2007). *De los genes como unidades fisiológicas a la construcción de los mapas genéticos*. En E. Suarez. México D.F: Editorial Limusa. Burgos, J. C., & Hernández, S. (2016). *¿Por qué los hijos se parecen a sus padres? una mirada desde la herencia biológica. (Tesis de maestría)*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.

Canteras, J. (Enero de 2012). *La evolución del concepto de gen. Eikasia*, 85.

Castro, A. (2008). *Interrelaciones entre historia, epistemología y didáctica de las ciencias: el caso del modelo del Operón Lac en biología molecular. Un análisis de textos universitarios*. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.

Estany, A. (1990). *Modelos de cambio científico*. Barcelona: Crítica.

Estany, A. (1996). La estructura fina de la revolución química del siglo XIII. *Endoxa: Series filosóficas* (7), 21-42.

Giordan, A., Host, V., Tesi, D., & Gagliardi, R. (1988). *Conceptos de Biología 2*. Madrid: Editorial Labor. Maestría en Docencia de las Ciencias Naturales. (s.f.). Departamento de Física, Universidad Pedagógica Nacional. Bogotá.

Jacob, F. (1970). *La lógica de lo viviente*. Tusquets, España: Metatemas.

Jacob, F. (1999). *Una historia de la herencia*. Barcelona: Tusquets.

Stutervant, A. H. (1965). *Una historia de la genética*.

Suárez, E. (2007). *Variedad Infinita. Ciencia y representación. Un enfoque histórico y filosófico*. México: Universidad Autónoma de México.


Suarez-Díaz, E. (2007). *Variedad infinita. Ciencia y representación. Un enfoque histórico y Filosófico*. . México: Universidad Autónoma de México.

Torrens, E., Villela, A., Suarez-Díaz, E., & Barahona, A. (2015). *La biología desde la historia y la filosofía de la ciencia*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.

4. Contenidos

Como primera parte, se presenta una introducción que justifica el trabajo a través de la importancia de conocer y profundizar sobre la historia y filosofía del conocimiento científico dada las problemáticas que existen a la hora de abordar la herencia en el aula de clase, puesto que requiere de un conjunto de conocimientos que el análisis histórico puede proporcionar desde la posición como docentes de ciencias.

En este contexto, el objetivo general es analizar los aportes de la genética mendeliana, la teoría cromosómica y la biología molecular como objeto de estudio y de su enseñanza. Para poder alcanzar las pretensiones del trabajo se realiza un estudio comparativo en los aspectos epistemológicos y ontológicos que constituyen la teoría cromosómica, la genética mendeliana y la biología molecular y así derivar elementos conceptuales para la enseñanza de la herencia biológica en educación media.

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <small>CONOCIMIENTO AL SERVICIO DE LA EDUCACIÓN</small>	FORMATO	
	RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE	
Código: FOR020GIB	Versión: 01	
Fecha de Aprobación: 10-10-2012	Página 6 de 124	

En la búsqueda de antecedentes sobre la problemática de la herencia en el aula, se citan cuatro antecedentes, de los cuales (Burgos y Hernández 2016 y Castro 2008) concuerdan con las intenciones del presente trabajo en la forma de proceder y de utilizar la historia de las ciencias para enriquecer el conocimiento de los maestros.

La tercera parte del documento expone la metodología usada que permite estructurar la cuarta parte del documento que consta del marco teórico construido desde los intereses particulares y preguntas que surgen desde la práctica docente. Este marco se divide en cuatro partes *la herencia desde la cuestión de lo evidente, la herencia desde el mundo microscópico no evidente, la herencia más allá de los microscópico, el mundo de los átomos y las moléculas, de los átomos y las moléculas al modelo de la doble hélice para la comprensión de la herencia.*


La quinta parte del documento, concreta el análisis histórico a partir de la profundización teórica de la teoría de la herencia basada en los elementos construidos retomando algunas ideas de la Unidad Básica de Estany. Por último, se presenta a manera de reflexión, las consideraciones sobre la importancia de la profundización teórica desde la historia y epistemología de las ciencias en el quehacer docente, así como ciertas recomendaciones para la enseñanza de la teoría de la herencia.

5. Metodología

Desde la preocupación en la construcción histórica y epistemológica de la teoría de la herencia, como parte esencial dentro del conocimiento biológico, se realiza un marco conceptual de las diferentes explicaciones que a través de la historia han surgido al respecto, mediante tres acciones principales, primero con una ubicación de tipo historiográfico basado en fechas, autores y concepciones sobre la herencia, usando fuentes secundarias, libros de historiadores de las ciencias tales como André Giordan (1988), Garland Allen (1983), Francis Jacob (1970), entre otros.

Segundo, se seleccionaron tres momentos que desde la experiencia como docentes eran relevantes para profundizar, *la genética mendeliana, la teoría cromosómica y la biología molecular*, acudiendo a las fuentes o referencias primarias que proporcionan datos de primera mano que incluyen los resultados de los estudios correspondientes. La revisión documental nos sitúa en los trabajos de Gregor Mendel, Thomas Morgan, Walter Sutton, Frederick Griffith, Avery, el grupo del Fago y James Watson y Francis Crick.

La tercera parte del proceso que se realizó de manera simultánea a la búsqueda de información, fue la selección del modelo que permitiera la comprensión de las condiciones que hicieron posible la constitución de la herencia como campo de conocimiento, ubicándonos en el modelo de dinámica científica de Anna Estany (1990). A partir de este referente, se construyeron 6 elementos de análisis

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <small>CONSEJO NACIONAL DE UNIVERSIDADES</small>	FORMATO		
	RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE		
Código: FOR020GIB	Versión: 01		
Fecha de Aprobación: 10-10-2012	Página 7 de 124		

que sirvieron para realizar una matriz de cada uno de los autores. Para conseguir un análisis más holístico se agruparon en cuatro los elementos: *Antecedentes, preguntas, hipótesis y preocupaciones. Cuerpo teórico, explicaciones teóricas y conceptuales del fenómeno. La ontología del cuerpo teórico, elementos que delimitan al fenómeno. Campo de aplicación y metodología*, que permitieron estudiar y profundizar en detalle las propuestas de los científicos seleccionados.

6. Conclusiones

Se realizó un análisis de las teorías que conforman a la herencia como cuerpo de conocimiento y su historia en un intento por comprender cómo se ha construido este campo de conocimiento, acudiendo a las herramientas que nos ofrecen actualmente los estudios en la epistemología de las ciencias. A través de este proceso se consolidan ciertas reflexiones que realizamos en nombre propio y que contribuyen a nuestro quehacer como docentes, desde el punto de vista de las posibles acciones que ayuden en el crecimiento profesional y que direccionan de manera consciente la práctica educativa. Pensar sobre lo que se hace, antes, durante y después, se convierte en un factor muy importante en el ejercicio profesional de los maestros.

Reconocer la historia en la constitución del campo de conocimiento ofrece la posibilidad de visualizar hechos científicos proyectados a futuro, mostrando que la ciencia es un proceso en permanente cambio y que se encuentra permeada por factores sociales, políticos y económicos, sujetos a tensiones, crisis y retrocesos propios de la actividad humana.

Consideramos la imperativa necesidad de conocer el cuerpo de conocimiento que se enseña. El docente debe realizar una serie de acciones que le permitan establecer sus propias explicaciones y por tanto, formas de entender las teorías que enseña, no solo desde el punto de vista de lo conceptual sino desde su propia construcción, la historia de las ciencias ofrece entonces un contexto al maestro de ciencias y la facilidad de comprender la actividad científica.

Las prácticas deben ser re evaluadas y buscar tanto el momento como las actividades adecuadas que generen comprensiones acerca de la transmisión de los caracteres hereditarios, que aporten a las situaciones actuales, tales como las cuestiones que involucran la toma de decisiones, como los problemas bioéticos y el papel que el conocimiento científico juega allí.

Elaborado por:	Ariza Traslaviña, Leidy Bibiana. Caicedo Pineda, Viviana.
Revisado por:	Méndez Núñez, Olga; Valencia Vargas, Steiner

Fecha de elaboración del Resumen:	07	02	2018
--	----	----	------

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	13
CUESTIONES SOBRE EL CONOCIMIENTO DE LA HERENCIA Y SUS PROBLEMAS DE ENSEÑANZA	15
LA HERENCIA EN EL CONTEXTO ESCOLAR	26
CONSIDERACIONES METODOLÓGICAS.....	33
DEL GUISANTE AL NUCLEÓTIDO: EL MARCO TEÓRICO DE LA HERENCIA..	38
La herencia desde la cuestión de lo evidente.....	42
La herencia desde el mundo microscópico-no evidente.....	49
La herencia más allá de lo microscópico. El mundo de los átomos y las moléculas	56
De los átomos y las moléculas al modelo de la doble hélice para la comprensión de la herencia.....	69
CONVERGENCIAS Y DIVERGENCIAS EN LA CONSTITUCIÓN DE LA HERENCIA COMO PROBLEMA DE CONOCIMIENTO EN BIOLOGÍA	75
1. Antecedentes, preguntas, hipótesis y preocupaciones	76
2. Cuerpo teórico, explicaciones teóricas y conceptuales del fenómeno	81
3. La ontología del cuerpo teórico-elementos que delimitan al fenómeno	86
4. Campo de aplicación y metodología	91
LA CUESTIÓN DE LA HERENCIA EN LA PRÁCTICA DOCENTE	97

BIBLIOGRAFÍA	106
ANEXOS	113

TABLA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Criterios epistemológicos derivados de la UB de Estany	36
Ilustración 2. Proceso de mitosis, dibujo realizado por Walter Flemming (Flemming, 1965)	51
Ilustración 3. Mosca de la fruta, <i>Drosophila melanogaster</i> . (Morgan T.1909)	54
Ilustración 4. Factores para color de ojos <i>Drosophila</i> , ojos blancos (femenino) con ojos rojos (masculino) los factores para estos caracteres son llevados por los cromosomas X, el factor para el rojo por el X negro, y el factor para el blanco por el X llano. La historia del cromosoma se muestra en el medio del diagrama. (Morgan, Sturtevant, Muller, & Bridges, 1915)	54
Ilustración 5. La micrografía electrónica tomada por Anderson muestra el fago T4 que infecta una bacteria <i>E. coli</i> . El virus infectante permanece unido por su cola a la superficie de la bacteria, a medida que se produce un nuevo virus dentro de la célula. Se muestra con el diagrama del fago T2, con capa proteica y ADN en la cabeza. (Diagrama T2, Wikimedia Commons) Estas fotografías fueron analizadas por Hershey y Chase para diseñar el experimento de la licuadora. (Sciopic, s.f)..	65
Ilustración 6. Licuadora que usó Hershey and Chase para centrifugar el virus y así separar por densidades los compuestos moleculares del bacteriófago T4. http://www.themadscienceblog.com/2013/10/gender-bias-in-science-part-iv-martha.html	67
Ilustración 7 Experimento de Hershey and Chase. (Aldridge, 1999)	67
Ilustración 8. Cromatografía en papel realizada por el homólogo Gerard Wyatt en 1951	70

Ilustración 9. Diagrama molecular del tetra nucleótido propuesto por Phoebus Levene alrededor de 1910.	71
Ilustración 10. Modelo de la triple hélice de Linus Pauling para explicar los resultados de la cristalografía de muestras de ADN	73

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Elementos de la Unidad básica (UB) de Anna Estany (1990).....	21
Tabla 2. Matriz inicial sobre teorías de la herencia basados en la UB de Estany (1990).....	35

INTRODUCCIÓN

A lo largo del desarrollo y establecimiento de la humanidad, la ciencia ha tenido un papel fundamental en la comprensión del mundo natural y la resolución de problemas a través de avances científicos y tecnológicos que posibilitan la permanencia de nuestra especie en el mundo. La comprensión de lo viviente ha permitido dar explicación a la mayoría de los fenómenos naturales a través de la formulación de distintas teorías que constituyen el conocimiento en Biología, dentro de ellas la teoría de la herencia. El campo de conocimiento sobre la herencia, se remite a épocas atrás hasta la actualidad donde su cuerpo de explicaciones ha cambiado permitiéndonos utilizar estos conceptos en muchas áreas como la medicina, la agricultura, la biotecnología, entre otras.

Dicho campo de conocimiento, se ha construido desde distintas perspectivas, preocupaciones y contextos de cada uno de los científicos involucrados en dar explicaciones sobre la herencia, lo que indica que, como el conocimiento en ciencias en general se ha establecido de manera no lineal, como se presenta generalmente en los libros de textos educativos y en el aula de clase.

Por esta razón, realizar un rastreo histórico y epistemológico del desarrollo de la teoría de la herencia como campo de relevancia para la biología, permitirá la reconstrucción de tensiones e intereses propios del desarrollo de cada modelo explicativo, con el fin de establecer diferencias claras, de acuerdo con su construcción inicial en conceptos como: *gen*, *chromosoma*, *alelo*; siendo esta una herramienta útil en la enseñanza de las ciencias para el diseño de estrategias alternativas que favorezcan aprendizaje, así como mejorar las prácticas docentes, partiendo de una claridad brindada por la profundización teórica.

Este documento es el resultado de una profundización histórica y teórica en la constitución de la teoría de la herencia como campo de conocimiento científico, que es susceptible de ser analizado según las preocupaciones generadas desde la experiencia como maestras de ciencias, debido a las distintas dificultades que se

presentan al momento de abordar niveles explicativos complejos, que solo generan confusiones y baja comprensión de conceptos científicos relacionados con la herencia.

Inicialmente, se realiza un rastreo documental que mostró algunas cuestiones sobre la enseñanza de la teoría de la herencia en el aula de clase, a partir de lo cual se establece la problemática debido a la forma en como los estudiantes y docentes comprenden estos conceptos. Por tal razón es pertinente realizar un estudio comparativo en los aspectos epistemológicos y ontológicos que constituyen la teoría cromosómica, la genética mendeliana y la biología molecular para derivar elementos conceptuales para la enseñanza de la herencia biológica en educación media.

Se muestra el marco teórico sobre de la teoría de la herencia, resultado del rastreo histórico de los hechos más relevantes para el caso de la genética mendeliana la teoría cromosómica y la biología molecular que dan cuenta de las explicaciones que surgieron sobre la transmisión de los caracteres hereditarios. Estas se presentan según niveles explicativos, como lo macroscópico -evidente, lo microscópico y lo molecular.

Basados en la construcción de elementos de análisis elaborados a partir de la Unidad Básica de Estany, se abordan seis propuestas explicativas específicas planteadas por: *Mendel, Sutton, Morgan, Griffith, Avery, Hershey y Chase, Watson y Crick*, que demuestran que dependiendo los intereses, el contexto y la época de los científicos, las explicaciones construidas para dar cuenta de la herencia divergen o convergen según el análisis histórico del desarrollo científico sobre la transmisión de los caracteres hereditarios, que a propósito de los modelos que estudian el progreso o cambio científico, se considera va más allá que un simple reemplazo de teorías, las cuales constituyen una dinámica científica que se retroalimenta de diversas perspectivas

Finalmente, se muestran las reflexiones que como docentes de ciencias hemos establecido como resultado de la profundización y análisis histórico- epistemológico de la teoría de la herencia, al igual que algunas cuestiones para abordar esta temática en clase.

CUESTIONES SOBRE EL CONOCIMIENTO DE LA HERENCIA Y SUS PROBLEMAS DE ENSEÑANZA

El estudio de lo vivo ha sido de gran interés para los científicos de distintas épocas, quienes se han preocupado por comprender los procesos que hacen de los organismos vivos seres independientes, autónomos y que garantizan su existencia y permanencia en el planeta, a través de ellos diferenciándose claramente de las máquinas. La explicación a los procesos vitales como la división celular, la reproducción de los seres vivos, el funcionamiento de los ecosistemas, la transmisión de la información hereditaria, entre otras, constituye un campo amplio de teorías, base fundamental de la biología.

En la constitución de la teoría de herencia se han presentado diferentes interpretaciones acordes a los autores y sus intereses, contextos y épocas, por tal razón la emergencia de este cuerpo teórico se construye, como en general en la ciencia, a partir de múltiples situaciones que no corresponden a una acumulación lineal de hechos como se muestra frecuentemente en libros de ciencias, puesto que esta tradición y visión de ciencia se encuentra claramente influenciada por perspectivas positivistas, donde es común un excesivo componente de objetividad, racionalidad, exactitud, precisión, y formalización matemática del conocimiento, como si los conceptos y fenómenos científicos se generaran de manera invariable en el tiempo, es decir, carentes de argumentación y complejidad histórica de su génesis, construcción, evolución y comunicación (Quintanilla, 2005).

Para comprender este campo como objeto de conocimiento en biología y a su vez como objeto de enseñanza, nos situamos en dos contextos, primero la importancia de conocer la historia y la filosofía de la ciencia y segundo la situación actual de la enseñanza de la herencia en la escuela.

En este sentido, la profundización en la historia y filosofía de las ciencias permite mostrar que los conocimientos actuales no son “verdades eternas” sino construcciones sociales realizadas en un contexto definido con sus respectivos

procesos e implicaciones, lo que posibilita cambios respecto a la concepción de la naturaleza de la ciencia a través de la reconstrucción de los contextos, también demuestra que la ciencia es mutable, cambiante y que, en consecuencia, el conocimiento científico actual es susceptible de ser transformado (Matthews, 1994).

Por tal razón es posible encontrar distintas perspectivas o modelos que muestran la construcción del conocimiento científico en lo que se puede llamar la nueva filosofía de la ciencia (Jiménez & Sanmartí, 1997), cuyos representantes principales son Thomas Kuhn, Stephen Toulmin, N. Russell Hanson, Paul Feyerabend e Imre Lakatos (Estany, 2006).

La corriente filosófica iniciada por Kuhn además de ser considerada la nueva filosofía de la ciencia, se reconoce como una revolución historiográfica o una rebelión contra el positivismo, *la estructura de las revoluciones científicas* (1962) es una propuesta unificada de la ciencia que aborda los aspectos sociales, políticos, éticos, psicológicos y educacionales que intervienen en la actividad científica, en cuanto que es una actividad humana (Estany, 1998). En la *estructura* Kuhn plantea que el progreso en la ciencia se ve marcado por sucesos de revoluciones científicas, es decir que el cambio es la sustitución de un paradigma distinto en el proceso de entender algún fenómeno. El modelo que propone posee unos componentes fundamentales, explicados a continuación:

La *ciencia normal* inicia con el surgimiento de una teoría que explica algún hecho o evento, *el paradigma*, durante este periodo los científicos se dedican a resolver problemas o enigmas respecto al paradigma. Estos logros son acumulados en libros que serán guía para las nuevas generaciones en cuanto a la resolución de problemas asociados. De esta forma el paradigma se define como una forma nueva y aceptada de resolver un problema en la ciencia, que más tarde es utilizada como modelo para la investigación, posterior a la publicación de su libro al paradigma se atribuye una serie de valores compartidos y es reemplazado por la matriz disciplinar (Estany, 1990) donde se puede encontrar las *generalizaciones simbólicas*, que se refieren a los componentes formales de la matriz, los *modelos* que son las guías para la investigación como los conjuntos de métodos o reglas y los *valores* utilizados

conjuntamente por aquellos entrenados para realizar el trabajo científico de investigación.¹ La revolución científica se da según Kuhn cuando ocurre un cambio de paradigma, al cual es posible llegar cuando se ha atravesado un momento de ciencia extraordinaria, que corresponde a la investigación que se realiza al margen del paradigma establecido generando un lenguaje no común entre los dos paradigmas para un hecho o evento, esta característica entre las matrices disciplinares o paradigmas se le conoce como *inconmensurabilidad* (incapacidad de compararlos) que es la carencia de conceptos con significado común entre teorías, en este sentido habría una revolución científica en tanto, las nuevas explicaciones sobre el mismo fenómeno sean más generales, soportadas por la experimentación, y por supuesto aceptadas frente a una comunidad.

En el caso de Lakatos el cambio científico consiste en el cambio de programa de investigación (PI), los programas de investigación son una serie de reglas metodológicas que indican los patrones a seguir y los que se deben evitar. El paso de un PI a otro según Estany (1990) es un proceso muy complejo, pero lo que garantiza su racionalidad es que siempre depende de un proceso o razones internas. Las unidades de los PI son el centro firme o núcleo, son las leyes, axiomas, descripciones o hipótesis que son asumidos por todos los científicos pertenecientes, su carácter es refutable y debe ser abandonado por cuestiones lógicas y empíricas. La heurística positiva y negativa son respectivamente líneas maestras que indican cómo se puede desarrollar el programa de investigación. Dicho desarrollo conlleva a completar el núcleo central con supuestos adicionales en un intento de explicar fenómenos previamente conocidos y de predecir fenómenos nuevos y la negativa cumple la función de desviar las anomalías hacia el cinturón protector, el cual está constituido por hipótesis auxiliares u observacionales. Lakatos considera dos tipos de cambio, los que se dan en el mismo PI y otro que es el cambio a su rival, cuando se da este cambio significa que el centro firme ha cambiado y por tanto hay un cambio científico.

¹ Debido a múltiples críticas que recibe Kuhn por la ambigüedad del término paradigma en el libro de la estructura de las revoluciones científicas, en 1970 escribe la Posdata donde aclara lo que para su modelo significa el paradigma, que es reemplazado por la matriz disciplinar.

La propuesta de Laudan corresponde a un modelo basado en tradiciones de investigación, que se asumen como un conjunto de suposiciones generales acerca de un área de estudio, sus entidades, métodos y técnicas para realizar investigaciones y construir teorías en esa misma área, en este caso las teorías no pueden ser vistas sin evaluar su contexto histórico, todas las tradiciones de investigación poseen dos características esenciales interdependientes la una de la otra, metodológica y la ontológica. La función ontológica se refiere, esencialmente, a los objetos de estudio de la tradición y la función metodológica consiste en un grupo de reglas de lo que es permisible hacer y no hacer en el área. Para Laudan, la actividad científica es esencialmente una actividad dirigida a la resolución de problemas, de tal forma que la función metodológica debe establecer cánones de legitimidad para proponer preguntas o problemas y formas de responderlas o resolverlos. De la misma forma en que hay métodos legítimos e ilegítimos de estudio, hay objetos o fenómenos legítimos e ilegítimos. La tradición determina sus límites, su rango de aplicabilidad y sus criterios de relevancia científica. En términos de Laudan (Estany, 1990) las tres funciones importantes de una tradición de investigación son: a) la de determinar los límites de aplicación de las teorías que constituyen una disciplina; b) la de proveer heurísticas negativas y positivas, esto es, proporcionar ideas iniciales que permitan la formulación de teorías explicativas, predictivas y verificables, todo esto con el objeto de incrementar la capacidad de la tradición de investigación para resolver problemas; y, finalmente, c) la de justificar racionalmente la existencia de teorías científicas. Según estas finalidades Laudan mantiene entonces nociones de progresividad y degeneración como criterios de evaluación científica.

Los modelos hasta aquí mencionados, muestran que no son fácilmente ajustables a cualquier cambio científico, su condición de modelos estándar, únicos y universales, dada su estructura rígida, su utilidad está restringida solo a ciertos casos seleccionados por los mismos autores para mostrar su potencialidad (Mora , García , & Mosquera, 2002), por otra parte, en la mayoría de referencias que emplean estos autores, lo hacen sobre casos relacionados exclusivamente en el campo de la física y la química. Particularmente, el caso del modelo de cambio

científico de Kuhn, el carácter revolucionario asume una destrucción total del paradigma antiguo que conduce a uno nuevo que es inconmensurable con el precedente, lo cual no es aplicable para todas las teorías, especialmente en biología, donde la introducción de un nuevo paradigma no siempre es resultado la sustitución inmediata del anterior, se pueden presentar coexistencias entre dos o más paradigmas. (Mayr, 2005)

Según Mayr (2006) la biología y específicamente el caso de la herencia no presenta cambios paradigmáticos que hagan posible su estudio desde el punto de vista de Kuhn, debido a que se da lugar a un campo con sus nuevos métodos experimentales, nuevos problemas, nuevos científicos, que se constituyó en una continuación de varios trabajos anteriores a 1953 en el campo de la genética. En este sentido, se hace necesario para la comprensión de los sucesos presentados en estas teorías una visión más flexible, que dé cuenta de las multiplicidades de estructuras conceptuales que se superponen frente a otras, y que estará influenciada por las ideologías y las constricciones socio- políticas frente a la construcción del conocimiento, sobre sus fuentes, sobre lo que se considera legítimo o aceptable (Elkana, 1983)

Anna Estany ², en respuesta a las dificultades en estos modelos de la nueva filosofía de la ciencia, menciona que la maquinaria conceptual que ofrecen dichos modelos es insuficiente para abordar la historia de la ciencia, además que no es posible dar cuenta de todos los casos históricos importantes con un sólo modelo, de aquí la propuesta de tipologías en la explicación de la dinámica científica (Estany, 1996), esta solución más flexible no corresponde directamente a un modelo, sino una perspectiva para construir modelos propios acordes para el análisis, siendo la finalidad crear mecanismos de construcción de tipos de modelos de cambio científico en un enfoque de metodología tipológica con distintos elementos para ser

² Anna Estany (Balaguer, 1948) es doctora en Filosofía por la Universidad de Barcelona y Master of Arts. por la Universidad de Indiana (EE.UU.). Actualmente es catedrática de filosofía de la ciencia en el Departamento de Filosofía de la Universidad Autónoma de Barcelona. Sus líneas de investigación son modelos de cambio científico, enfoque cognitivo en filosofía de la ciencia y de la tecnología y filosofía de las ciencias de diseño. Es miembro fundador del "Centre d'Estudis de Història de les Ciències" de la Universitat Autònoma de Barcelona. Es miembro del grupo consolidado y financiado por la Generalitat de Catalunya GEHUCT (Grup d'Estudis Humanístics sobre Ciència i Tecnologia)

tenidos en cuenta en cada análisis, generando modelos "a la medida" para cada cambio científico y de esta manera poder adaptarlos más ajustadamente a cada especificidad en estudio.

Según Mora, García & Mosquera (2002) Estany opta por una tipología de naturaleza cualitativa que tiene como potencial la extensión y la complejidad en las descripciones, pero sin descuidar en lo que son fuertes las tipologías cuantitativistas esto es, en explicación y en predicción. La autora sustituye el concepto de "cambio científico" a favor del concepto de "dinámica científica", pues dice que la palabra cambio da a entender una postura como la de Kuhn a la manera de revoluciones totales de la ciencia y que como no todos los cambios de las ciencias son totales o revolucionarios, debería plantearse otra opción que tampoco es la palabra "progreso", tal como lo plantearan Lakatos y Laudan ya que la ciencia no siempre apunta hacia el progreso. En cambio, el concepto de "dinámica" da sentido a la elección racional de diferentes teorías tanto por análisis sincrónico de las mismas como por evolución de la teoría en un análisis diacrónico.

Según Estany (1990), los modelos de dinámica científica responden a dos presupuestos: distinción de elementos dentro del modelo y tipología de modelos. La maquinaria analítica o elementos responden a categorías conceptuales que son ineludibles distinguir en toda secuencia de la historia de una disciplina científica: i) el cuerpo teórico; ii) la ontología del cuerpo teórico; iii) el campo de aplicación; iv) los principios metodológicos; y v) los instrumentos y técnicas. Por lo que respecta a una alternativa al modelo único, la idea es que pueden darse diversos tipos de cambios, por ejemplo, cambios totales en que cambian todos los elementos antes citados y cambios parciales en que cambian algunos de los elementos; también puede haber cambios en que uno de estos elementos sea el motor del cambio; o estructuraciones distintas a partir de los mismos elementos.

Esta maquinaria constituye lo que Estany (1990) llama una unidad básica (UB) (Tabla 1): que se refiere a la situación de un campo de conocimiento en un tiempo t , lo que hace de la historia de las ciencias una sucesión de unidades básicas.

Tabla 1. Elementos de la Unidad básica (UB) de Anna Estany (1990)

Estructura del cuerpo teórico	Conjunto de teorías, reglas, leyes, en general conjunto de conocimientos sistematizados de un campo de fenómenos.
Ontología del cuerpo teórico	Elementos sobre los que se teoriza y a partir de los cuales se formulan las leyes.
Campo de aplicación	Fenómenos que son explicados por el cuerpo teórico. En algunos casos se comprueba que a mayor campo de aplicación menor poder explicativo de una teoría.
Principios metodológicos	Abarca todos los principios que actúan como guías metateóricas y que marcan cómo ha de realizarse la investigación.
Instrumentos y técnicas	Entre mayor disponibilidad de estos mayor el poder explicativo de las teorías, aunque provengan de otros campos científicos.

Otro aspecto a tener en cuenta en la explicación de la dinámica científica es el que se refiere los criterios para la elección entre teorías ya que, si queremos que los modelos de dinámica científica no sean sólo una reconstrucción de la historia de la ciencia sino también una evaluación epistemológica de los cambios científicos, entonces es imprescindible que en todo análisis filosófico de los casos históricos entre en juego el contexto de la justificación. La idea que está a la base de estas últimas reflexiones es que es imprescindible recurrir al contexto de la justificación si los modelos de cambio científico tienen que dar cuenta del progreso cognitivo de la ciencia, es decir, sí hay que evaluar hasta qué punto los científicos se han guiado por fines cognitivos (Estany, 1996). Estos criterios son conocidos como criterios de actuación racional que evalúan la coherencia lógica interna, la reproducibilidad de los experimentos, el intercambio académico e intelectual de la comunidad científica y el estatus epistemológico a través de la historia de cada teoría existente, pueden ser criterios lógicos, criterios empíricos, criterios sociológicos y criterios históricos.

Considerar algunos componentes de la propuesta de Anna Estany resulta importante en la comprensión del conocimiento y consolidación de la teoría de la

herencia, permitiendo establecer relaciones entre épocas y los sucesos involucrados, desde la mirada de maestros de ciencia, siendo conscientes de la necesidad de conocer la historia de la ciencias en pro de mejorar las prácticas docentes, desde la apropiación crítica del conocimiento, enriquecer la idea misma acerca de su naturaleza, que puede dar coherencia y estructura a cada uno de los conceptos que se conocen y enseñan.

En el contexto histórico, Jacob (1999) menciona que el estudio sobre la herencia en el siglo XVIII y XIX se reducía a la observación, donde la organización de lo viviente constituía el dato fundamental, representado por todo lo perceptible en el organismo, cualquier observación o comparación de la estructura visible servía como punto de referencia para estudiar lo viviente, situación que se ve cambiada a segunda mitad del siglo XIX, donde la organización de lo viviente ya no es punto de partida para el estudio de procesos, para esto hay que revisar a profundidad las leyes que dirigen su función y funcionamiento, este desplazamiento de la organización de lo viviente plantea todo un conjunto de nuevas posibilidades de estudiar y analizar lo vivo, al organismo considerado en su totalidad vienen a añadirse nuevos objetos de análisis, las células, las reacciones, las partículas. Estas transiciones y cambios epistemológicos en la teoría de la herencia pueden ser esbozados haciendo un análisis histórico del desarrollo sobre la transmisión de los caracteres hereditarios, que a propósito de los modelos que estudian el progreso o cambio científico, se considera va más allá que un simple reemplazo de teorías, las cuales constituyen una dinámica científica que se retroalimenta de diversas perspectivas como hemos mencionado se entiende desde la postura filosófica de Estany.

En segundo lugar, en el contexto educativo se ha reportado desde hace más de cuatro décadas investigaciones sobre aspectos como la importancia y las dificultades en la enseñanza de la herencia, Ayuso y Banet (2002) mencionan como relevante la enseñanza de estos conceptos debido a que permiten la comprensión de ciertos fenómenos biológicos importantes, como la división celular o la reproducción de los seres vivos, así como ofrecer la posibilidad de que los niños y

jóvenes estén informados y comprendan los avances de las investigaciones en este ámbito de estudio y las repercusiones tecnológicas y sociales. A su vez, muestran cómo en el rastreo de trabajos realizados en el campo educativo se evidencian algunos problemas recurrentes siendo uno de estos la escasa comprensión de la mitosis y la meiosis y por ende la función que tiene cada progenitor en el aporte de la mitad de la información genética, entre otras cosas.

Así mismo, Ayuso y Banet (2002) hablando acerca de las dificultades en la enseñanza de la herencia biológica, mencionan como primer problema la organización en los estándares básicos de ciencias naturales propuestos por el Ministerio de Educación Nacional (MEN), los cuales son poco coherentes o apropiados para los fines del aprendizaje de las ciencias, debido a que establecen como objetivos en los grados octavo y noveno el reconocimiento de la importancia del modelo de la doble hélice para la explicación del almacenamiento y transmisión del material hereditario y establecer relaciones entre los genes, las proteínas y las funciones celulares; este propósito no se logra alcanzar si los estudiantes no han establecido una conexión entre los modelos genéticos basados en explicaciones en el área de la química y lo que representan en términos de los mecanismos de transmisión de características. Este objetivo resulta prácticamente inalcanzable y no promueve la comprensión de estos conceptos, sino una transmisión de información, alejada de la experiencia y sin preocupación en las situaciones cotidianas de los estudiantes.

En segundo lugar, el currículo y los libros de texto en su apartado de la herencia o genética, basan sus explicaciones en dos principales fuentes de conocimiento, por un lado, la genética mendeliana, las técnicas de hibridación y el establecimiento de las tres leyes de Mendel, las cuales se mencionan como universales y válidas para cualquier situación, y por el otro lado el modelo de la doble hélice del ADN; que son temas que se exponen de manera consecutiva y secuencial, donde una misma explicación se reduce a los mismos conceptos y significados. En términos de Orozco (2013) se evidencia una fragmentación del conocimiento y no se favorece una integración de conceptos por parte del estudiante para que desarrolle una mejor

comprensión de lo vivo, debido a que normalmente estos temas se abordan realizando actividades de tipo repetitivo como memorizar el complemento en las bases nitrogenadas (adenina-guanina) o completar un cuadro de Punnett para determinar probabilidad de herencia de un carácter según las leyes de Mendel, desconociendo que están en campos diferentes de explicación.

Consideramos entonces, que el abordaje de la herencia en la educación básica corresponde en términos generales a tres niveles mencionados por Suarez (2007), una organización de primer nivel, estudiada por anatomistas, el segundo nivel, referido a formas y propiedades, o comprender la explicación desde una concepción de mundo vivo distinto y un tercer nivel referido a un mundo molecular accesible mediante instrumentos intencionalmente diseñados. Dichos niveles de entendimiento, teniendo en cuenta a Jacob (1999), se encuentran desde lo observable y lo inmediato por la percepción humana y están basados en las concepciones culturales del momento, que alcanzan otros niveles explicativos más complejos, en donde para abordar el tercer nivel es necesario el diálogo entre las distintas ciencias, como lo es la Biología y la Química, para complementar el estudio de la herencia.

Se hace necesario en la comprensión de estas formas de conocer, establecer claridades históricas y epistemológicas que resultan importantes en la labor docente, estas prácticas se enriquecen cuando se acude a las fuentes de información que no solo se enfocan en las cuestiones conceptuales, sino que consideran las diferentes variables que intervienen en la construcción de conocimiento, esta idea de profundización da herramientas al maestro para considerar cambios en la forma de abordar los conceptos, donde cuestiona sus conocimientos tanto disciplinares como pedagógicos, así como también lo relacionado con las necesidades educativas de los estudiantes.

Ahora bien, como se ha esbozado la herencia biológica no es un tema más a enseñar sino un campo de conocimiento que amerita ser profundizado. Estas cuestiones nos llevan a considerar que es necesario un cambio en la forma de abordar la herencia, donde principalmente el maestro es quien debe poner en

cuestión sus conocimientos tanto disciplinares como pedagógicos, para responder a las necesidades educativas de los estudiantes, reconociendo el papel del maestro en la estructuración de su propio saber y conocimiento en ciencias. Si bien, el interés inicial estaba situado en la enseñanza de la herencia y las formaciones disciplinares complementarias en biología y química, la revisión bibliográfica y las discusiones generadas en el proceso de elaboración del presente trabajo al interior del grupo de investigación han considerado la necesidad de la ubicación histórica de este conocimiento planteando el supuesto que existen diferencias y convergencias epistémicas y ontológicas entre la explicación sobre la herencia que plantea la genética mendeliana, la teoría cromosómica y la biología molecular, que deben valorarse desde una posición intelectual como maestro en ciencias, preocupado por la profundización en la construcción del conocimiento científico para lograr establecer herramientas a la hora de abordar estos conceptos en el aula de clase.

En este contexto, el objetivo general es analizar los aportes de la genética mendeliana, la teoría cromosómica y la biología molecular como objeto de estudio y de su enseñanza. Para poder alcanzar las pretensiones del trabajo se realiza un estudio comparativo en los aspectos epistemológicos y ontológicos que constituyen la teoría cromosómica, la genética mendeliana y la biología molecular y así derivar elementos conceptuales para la enseñanza de la herencia biológica en educación media.

LA HERENCIA EN EL CONTEXTO ESCOLAR

La herencia como teoría en el campo biológico ha tenido su incursión hace ya varias décadas en los currículos de ciencias y son objetivo de investigaciones en el ámbito educativo, Finley et al (1982) mostraron la importancia que los profesores de ciencias le atribuían a la enseñanza de la genética y las crecientes investigaciones en las dificultades de aprendizaje, formas de enseñanza, ideas previas de los estudiantes e implementaciones didácticas. El reconocimiento de trabajos realizados en el campo permite como docentes tomar posición crítica y reflexiva frente a ellos, por tanto, acercarse o distanciarse de ellos en los objetivos de estudio.

En primer lugar, se revisa el trabajo realizado por Osorio (2016) titulado *enseñanza aprendizaje del concepto de síntesis de proteínas en educación secundaria rural*. Esta tesis de maestría concuerda con la idea de que la síntesis de proteínas, como uno de los procesos del dogma central de la biología molecular (transcripción de ADN en ARN), es uno de los conceptos más complejos en la enseñanza de las ciencias naturales en grados escolares básicos. Por tanto, se convierte en un punto clave para el desarrollo de habilidades de pensamiento de los estudiantes, que en noveno grado aún no tienen conceptos base sobre química; por tal motivo la comprensión de este tema, se transforma en un reto para la capacidad imaginativa del estudiante. Este trabajo enmarcado en una metodología cualitativa, hace énfasis en una revisión conceptual sobre el concepto de síntesis de proteínas, analizando fuentes bibliográficas sobre los aspectos históricos epistemológicos relacionados con el tema. A nivel de enseñanza, se basó en métodos de recolección de datos no estandarizados, donde se da importancia a las perspectivas y puntos de vista de los participantes.

Dentro de los resultados obtenidos con la aplicación de una unidad didáctica, se infiere que los alumnos no tienen una idea clara sobre el concepto de síntesis de proteínas, lo confunden con división celular y en algunos casos específicos llegan a comparar el proceso de síntesis de proteínas analógicamente con la construcción

de un muro de ladrillos, es posible que alguna vez se haya usado ésta analogía para explicar el fenómeno. Los autores mencionan que los estudiantes tal vez no han comprendido las similitudes entre la analogía y el concepto científico. Presenta como obstáculos el uso de lenguaje cotidiano y el uso de lenguaje tautológico, representaciones antropomorfas, uso de analogías, dificultad para diferenciar la estructura celular, sus componentes y funciones.

Frente a este trabajo se considera que no es posible a partir de la enseñanza del concepto mismo de proteínas, implementar actividades que solo refuerzan la idea de ciencia acabada y que muestra una verdad absoluta. Es posible identificar que desde el inicio se concibe el concepto científico a manera de definición sin realizar un abordaje pertinente que le permita al estudiante, al menos, construir el concepto célula, para llegar a la síntesis de proteínas. En nuestra opinión se reconoce la importancia de generar construcción, más allá del simple aprendizaje de un concepto científico, y del inicio de actividades que den cuenta inmediatamente de éste.

Por otro lado, el trabajo de tesis de maestría titulado *desarrollar una estrategia didáctica constructivista a partir de los conceptos de gen y cromosoma que permitan una mejor comprensión de la herencia biológica en el grado noveno del seminario menor de la arquidiócesis de Medellín* de Moreno (2014) plantea que los conceptos de gen y cromosoma constituyen un elemento clave para entender la herencia biológica, sin embargo dichos conceptos no son comprendidos por los estudiantes de noveno respectivamente, debido a tres asuntos principalmente: la desinformación transmitida a través de los medios de comunicación, las creencias de tipo religioso, pues se genera una fuerte confusión entre lo científico y lo aprendido tradicionalmente en el hogar, generando dificultad en los estudiantes para comprender conceptos desde el proceso de lectura de un texto.

A través de un trabajo de tipo cualitativo y el diseño de cuestionario de preconceptos y actividades que permitan la construcción del concepto cromosoma-gen, se obtiene como resultados que los educandos olvidan conceptos fundamentales frente a los procesos de división celular, los cuales son básicos para entender los mecanismos

de cómo se transmite la herencia a nivel genético en los seres vivos. Según Moreno (2014) se debe evaluar de una manera constante dichos conceptos por medio de experiencias más prácticas como actividades de observación, salidas de campo que involucren colecciones completas de organismos, conferencias relacionadas con la herencia biológica que pongan al estudiante en contacto con el mundo natural que lo rodea.

De acuerdo a los intereses de este trabajo, puede cuestionarse que este antecedente se limita a la caracterización de las ideas de los estudiantes, ideas que resultan escasas debido a la intención del investigador. Aunque este trabajo aborda de manera común a nuestro interés los conceptos relacionados con la herencia, la metodología utilizada difiere en cuanto se presentan directamente los conceptos sin permitir a los estudiantes construir de acuerdo a sus experiencias y comprensiones respecto al conocimiento sobre la herencia, dado que las actividades tienen relación con vídeos y preguntas- talleres exclusivamente.

Se han mostrado dos trabajos que concuerdan con que el problema surge en la necesidad de que se apropie de manera teórica algunos conceptos relacionados con la herencia y el DNA. La mayoría de la población se encuentra cursando los grados octavo y noveno respectivamente, sin embargo, no se ve la acción del estudiante en la construcción de explicaciones, pese al enfoque constructivista utilizado, se parte del concepto mismo para abarcar las ideas "previas" de los estudiantes. De igual manera, se resalta la dificultad de abordar estos temas dado que requieren de procesos de abstracción y racionalización determinados por las habilidades de los estudiantes, conocimientos básicos sobre química y la articulación de la teoría celular para comprender la herencia biológica, sin embargo, se limita a la realización de actividades que son evaluadas de acuerdo al uso de los términos que se esperan como fenotipo, genotipo, entre otras. Estos trabajos se enfocan en una investigación cualitativa, sin embargo, las ideas de los estudiantes solo son un protocolo para formular unas actividades en relación con la estructura del DNA, y del concepto cromosoma.

Desde un contexto investigativo diferente se ubican dos trabajos que acorde con sus intencionalidades y resultados, podrían ser de mayor cercanía con los intereses del trabajo de profundización realizado como maestras de ciencias y las necesidades propias en la práctica docente.

El trabajo de maestría titulado *¿Por qué los hijos se parecen a sus padres?: una mirada desde la herencia biológica* de Burgos & Hernández (2016) es un antecedente relevante para este trabajo de profundización debido a que mediante la reconstrucción histórica epistemológica logran identificar aspectos importantes que han hecho de la herencia biológica un campo amplio de conocimiento, consolidando la misma genética como una disciplina científica de gran influencia en la vida cotidiana. La descripción y análisis de las discontinuidades que se han dado a través del tiempo, permite entender la diversidad de emergencias que han conformado este campo, de manera que se reconozcan los dilemas, las controversias, las incertidumbres y las construcciones de las personas en el devenir histórico sobre la teoría acerca de la reproducción de los organismos, la teoría celular, la teoría evolutiva y la materialidad de la herencia. El análisis de los elementos desde los cuales se bosqueja el problema de la herencia y sus tensiones es realizado a partir de las diadas: finalidad frente a mecanismo, continuidad frente a discontinuidad, necesidad frente a contingencia y estabilidad frente a variación basado en la lógica de lo viviente (Jacob, 1999).

Descifrar algunas de las tensiones en la profundización les permitió proponer una serie de actividades en el aula que revelan los matices de la comprensión de lo vivo, en las cuales también se adquiere una nueva forma de construir relaciones y la reconstrucción del mundo, representando la complejidad que constituye la herencia como problema de interés biológico. De acuerdo a estos criterios se proponen las siguientes fases: *uno*, del todo a la parte y de la parte al todo, donde se reconoce la importancia de la teoría celular; fase *dos*, uno más uno son tres, se propone la pregunta *¿Qué relaciones se establecen entre un organismo y sus antecesores?* Desde las actividades de la fase uno esta pregunta cobra sentido cuando se puede hablar de la reproducción abordado en cuatro guías de trabajo y finalmente la fase

tres en la que se llega a la herencia por medio de la pregunta ¿Por qué los hijos se parecen a sus padres? a través de cuatro guías, las cuales muestran de manera teórica y experimental los sucesos en la constitución de la herencia. Resulta interesante la forma en la que se realiza la intervención en el aula y análisis teniendo en cuenta que a diferencia de otros trabajos de profundización e intervención didáctica, mostrados anteriormente, no obedecen a la repetición o memorización de conceptos, fechas, experimentos, sino que resalta las elaboraciones propias de los estudiantes.

De igual forma, el trabajo es de gran interés en la medida que resalta la necesidad e importancia de profundizar teóricamente y analizar ese devenir histórico, por parte del maestro para articular y establecer claridades a nivel histórico y epistemológico que le permitan reconocer la importancia de los interrogantes, la adecuada selección de información, así como generar condiciones teóricas desde las cuales sea posible artificializar la naturaleza y generar nuevas comprensiones. Es justamente en este ámbito en el cual se tienen encuentros de interés con el presente trabajo, en la profundización teórica que contribuya en la práctica docente, en mejorar las prácticas de enseñanza de las ciencias, específicamente de la herencia desde el punto de vista químico y biológico, establecer condiciones de no diferenciación en las ciencias naturales que en gran medida crean profundos vacíos conceptuales. Aunque en la profundización de Burgos & Hernández (2016) se llega a un momento importante de la historia para establecer explicaciones al ¿por qué los hijos se parecen a los padres?, no se aborda la biología molecular, siendo también relevante dados los avances científicos actuales con respecto al ADN y que para efectos del presente trabajo hará parte de los modelos que permiten a la herencia biológica ser un campo de estudio tan importante, que se mantiene en la actualidad y que plantea aún muchos retos.

Al considerar el anterior trabajo se reconoce, a partir de la profundización teórica, la importancia y necesidad de la teoría celular y la idea de reproducción en la comprensión de la herencia, razón por la cual es importante en este trabajo,

encontrar de manera analítica y reflexiva otros elementos que enriquezcan el campo teórico abordado de manera que las prácticas docentes se vean favorecidas.

En segundo lugar, se resalta como antecedente en tanto que reconoce de manera novedosa el problema de la enseñanza de conceptos abstractos como los relacionados con el ADN, la tesis de maestría realizada por Castro (2008) *Interrelaciones entre historia, epistemología y didáctica de las ciencias: el caso del modelo del operón lac en biología molecular. Un análisis de textos universitarios* presentado en el Departamento de Química de la Universidad Pedagógica Nacional.

Dentro del trabajo se destaca la reconstrucción histórica epistemológica sobre el modelo del *operón Lac*, en donde a través de análisis de 10 libros de texto universitarios se evidenció la manera cómo es abordado dicho modelo en algunos libros de texto universitarios especializados en temas como bioquímica, biología molecular, biología general, biología celular, microbiología y genética. La importancia de realizar trabajos de orden histórico epistemológico se destaca en dicho trabajo, puesto que enmarca la formación de profesores en ciencias, específicamente en las posibilidades que existen en la didáctica de las ciencias sobre estos temas de gran nivel de abstracción.

De igual manera, Castro (2008) destaca el concepto de modelo para abordar de forma explicativa representaciones dentro del ámbito de la historia y epistemología de la ciencia, para poder comprender la manera cómo se ha construido y cimentado el conocimiento científico. Asimismo, se considera el concepto de modelo dentro de la estructuración en la didáctica de las ciencias. A través de la propuesta del modelo de *interrelaciones entre los aspectos histórico-epistemológicos y didácticos de las ciencias con la actividad científica*.

En lo que se refiere al modelo nombrado anteriormente, se reconocen elementos indispensables en la interrelación entre didáctica, historia-epistemología. Son seis contextos los cuales componen al modelo: *el contexto científico* que se relacionan como procesos de representación con el *contexto didáctico* y como procesos de reflexión con el *contexto histórico epistemológico*; entre estos dos últimos contextos existen procesos de contextualización. De la relación de estos tres contextos *el*

científico, el didáctico y el histórico- epistemológico surgen procesos dialógicos que dan origen a un nuevo contexto *profesionalización docente*, que a través de procesos de enseñanza y aprendizaje se origina *el contexto escolar* relacionado con el *contexto cotidiano* donde puede haber procesos de negociación entre las dos partes. El *contexto sobre el conocimiento científico y el conocimiento cotidiano* se diferencian en su objeto natural, puesto que mientras el primero se da a través de procesos de investigación científica, reconociendo que cuando investiga sobre ello se desnaturaliza a los objetos naturales y los transforma en culturales, el segundo surge de procesos de precepción e intuición.

A partir del desarrollo del trabajo de Castro (2008) se hacen evidentes conclusiones que se relacionan directamente con la búsqueda e intereses del presente trabajo de profundización. Se considera que la reconstrucción histórico-epistemológica del modelo operón-lac permitió reconocer a los científicos como personas comunes que pertenecen a una determinada cultura en un tiempo específico y que, por lo tanto, están influenciados por algunas representaciones culturales.

El modelo propuesto por dicho trabajo, permitió, asimismo, reconocer que el conocimiento científico no se ha construido de manera lineal, ni que es acumulativo ni continuo, si no que más bien está marcado por discontinuidades y bifurcaciones. Estos aspectos de la historia de las ciencias y de la naturaleza de la misma, normalmente no se tienen en cuenta dentro de la elaboración de textos que ilustran algún tópico científico relevante.

De esta manera, el trabajo de Castro (2008) retoma elementos abordados de forma integrada, la parte histórica epistemológica, la concepción de ciencia y lo que implica la construcción de conocimiento, el reconocimiento de la didáctica de las ciencias y la importancia en la formación de profesores de dicha área. Asimismo, fundamenta de manera específica la construcción histórica del modelo del Operón-Lac, que surge posterior a la propuesta del modelo del ADN. Debido a esto, se considera un antecedente significativo para el presente trabajo.

CONSIDERACIONES METODOLÓGICAS

La comprensión y análisis de la actividad científica desde el campo histórico se convierte en el proceso más importante en el presente trabajo, en el marco del programa de Maestría en Docencia de las Ciencias Naturales de la Universidad Pedagógica Nacional, el cual corresponde a un programa de profundización donde se sitúa al maestro en su carácter profesional y asume su condición en términos de reflexión sobre su práctica, el ejercicio crítico sobre la manera como ha asumido el papel ideológico en la formación científica de sus estudiantes, el estudio propositivo de los modelos y metodologías de enseñanza y aprendizaje de las ciencias y el abordaje riguroso de la bibliografía y referentes teóricos que orientan su práctica. La maestría ahonda en la Docencia de las Ciencias Naturales como espacio que permite pensar los problemas de la formación del maestro como un profesional, sujeto de saber, reconociendo en la enseñanza de las ciencias su objeto de reflexión. (Maestría en Docencia de las Ciencias Naturales, s.f)

En el programa de maestría existe un interés por incluir la Historia y Epistemología de las Ciencias como uno de los pilares de la propuesta curricular con el fin de aportar elementos de juicio y crítica conceptual sobre las teorías, leyes, explicaciones y conceptos de naturaleza científica, a partir de la reflexión en torno a la relación que los maestros guardan con el conocimiento (Orozco & Valencia, 2009), sus comprensiones y explicaciones sobre el saber que posee, el cual también es objetivo de enseñanza.

De esta forma, se reconoce la importancia y el interés particular por situarnos en el contexto mencionado y establecer una serie de reflexiones sobre nuestro propio quehacer como maestras de ciencias. Desde la preocupación planteada como problema se lleva a cabo este trabajo enfocado en la teoría de la herencia, como parte esencial dentro del conocimiento biológico, y se realiza en este marco conceptual un análisis de las diferentes explicaciones que a través de la historia han surgido al respecto, mediante tres acciones principales, primero con una ubicación

de tipo historiográfico basado en fechas, autores y concepciones sobre la herencia, usando fuentes secundarias, libros de historiadores de las ciencias tales como André Giordan (1988), Garland Allen (1983), Francis Jacob (1970), entre otros; esta amplia búsqueda nos llevó a la selección de unos momentos en la historia específicos que se ven frecuentemente en las diferentes fuentes de información, especialmente para la enseñanza en el nivel básico y en los currículos de ciencias y que se muestran como una selección bastante restringida de estos eventos, obviando las situaciones que hicieron posible las distintas transiciones en esta forma de conocer, los tres momentos principales son objetivo de la enseñanza de la ciencia y que muestran también los mayores cambios en la formulación de explicaciones sobre lo viviente, estos son el mendelismo, la teoría cromosómica y el modelo del ADN.

Sobre la selección de estos tres momentos se inicia la segunda acción, en la que se realiza la búsqueda exhaustiva y profunda, acudiendo a las fuentes o referencias primarias que proporcionan datos de primera mano, pues se trata de documentos que incluyen los resultados de los estudios correspondientes que permiten establecer en ellos los eventos presentados, los contextos, los instrumentos y las explicaciones teóricas para la comprensión de la construcción de este conocimiento, reconociendo que la ciencia no es un conjunto objetivo de teorías y artefactos sino que ante todo es una actividad social e históricamente constituida, en donde se destacan las preguntas que los científicos hacen a la naturaleza y los métodos usados para contestar esas preguntas, enfrentar los aspectos referentes al cómo esas preguntas y respuestas cambian con el desarrollo de nuevas teorías y con los nuevos descubrimientos experimentales. La revisión documental nos sitúa en los trabajos de Gregor Mendel, Thomas Morgan, Walter Sutton, Frederick Griffith, Avery, el grupo del Fago y James Watson y Francis Crick.

Una tercera parte del proceso que se realizó de manera simultánea a la búsqueda de información, fue la selección del modelo que permitiera la comprensión de las condiciones que hicieron posible la constitución de la herencia como problema de conocimiento en biología, ubicándonos en el modelo de dinámica científica de Anna

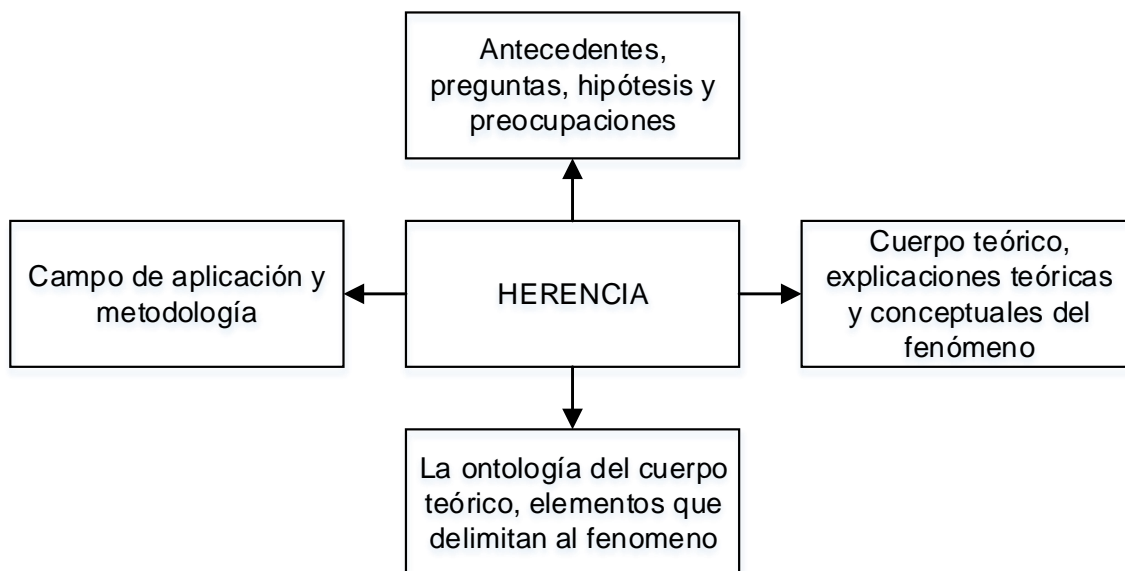
Estany (1990) teniendo en cuenta los aspectos sobre el progreso de la ciencia donde otros modelos propuestos por autores como Kuhn (revoluciones científicas), Lakatos (programas de investigación) y Laudan (resolución de problemas o tradiciones de investigaciones), resultan ser universales, rígidos y poco aplicables a las teorías de la biología, como se mencionó en la introducción, la construcción de modelos de dinámica científica que propone Anna Estany, se compone de tres partes: la unidad básica, los cambios y los criterios de cambio. Para efectos de este trabajo se toma como referencia únicamente los elementos de la unidad básica, por tanto, no se pretende hacer un uso estricto de este modelo de dinámica científica. Sino partiendo de los elementos mencionados realizar una reflexión que permita encontrar aspectos relevantes en la construcción del conocimiento sobre la herencia en biología. El producto de estas dos etapas se concreta en una matriz de análisis como la que se muestra en la **Tabla 2** que permite realizar una lectura tanto descriptiva cuando se tiene en cuenta a cada autor, como analítica cuando se interpreta horizontalmente a través de uno de los elementos de la unidad básica, el resultado final de esta se encuentra en los anexos al trabajo.

Tabla 2. Matriz inicial sobre teorías de la herencia basados en la UB de Estany (1990)

UNIDAD BÁSICA DE LA TEORIA DE LA HERENCIA	ELEMENTO	MENDEL	MORGAN	SUTTON	GRIFFITH	AVERY, MACLEOD , MCCARTY	HERSHEY AND CHASE
	Cuerpo teórico						
	Ontología del cuerpo teórico						
	Campo de aplicación						
	Principios metodológicos						
	Instrumentos y técnicas						

Al respecto para la construcción de nuestro marco teórico -que para el presente trabajo se estructura más allá que una actividad de compendio de información - se realiza una descripción intencionada a la luz de los elementos de la unidad básica (UB) de Estany propuestos (ilustración 1) los cuales muestran la situación de un campo de conocimiento en un tiempo t determinado, estos elementos permitieron hacer la descripción de los autores mencionados en la teoría de la herencia biológica y la agrupación en 4 acápites correspondientes a niveles de comprensión propuestos a partir de la interpretación de la información obtenida y las disertaciones en el grupo de investigación sobre los intereses de estudio, los objetos de investigación y las explicaciones propuestas por cada autor estudiado: **La herencia desde la cuestión de lo evidente** incluye las primeras perspectivas de los hibridadores y los estudios de Mendel; **La herencia desde el mundo microscópico-no evidente** se muestran los trabajo de Sutton y Morgan, **La herencia más allá de lo microscópico. El mundo de los átomos y las moléculas** con las propuestas de Griffith, Avery, Hershey y Chase y **De los átomos y las moléculas al modelo de la doble hélice para la comprensión de la herencia** las concepciones químicas y la explicación en términos de la sustancia ADN por Watson y Crick.

Ilustración 1. Criterios epistemológicos derivados de la UB de Estany



En términos del análisis realizado al marco teórico construido se realiza una comparación entre los autores, sus aportes explicativos y teóricos en cada uno de los elementos de la unidad básica propuestos, que nos permiten encontrar cambios totales, parciales, divergencias y convergencias en cada uno de ellos que dan razón a los aspectos de cambio en este campo de conocimiento de las ciencias naturales. Por tanto, el análisis del marco teórico resulta de la lectura de cruzada de los criterios derivados de la unidad básica de Estany.

En términos generales, la metodología empleada para este estudio es propia de la *investigación cualitativa* con un carácter *interpretativo* según Gutiérrez (1999) y Hernández, Fernández y Baptista (2010), donde el principal objetivo de la investigación es la *interpretación y/o comprensión* particularmente de la información en términos de la herencia. Esta interpretación se realiza desde una mirada pragmática, donde cada una de las fuentes utilizadas y las formas de proceder corresponden al interés principal de maestros de ciencias, con el fin de establecer unas comprensiones y sentido propio que puedan servir de guía en la práctica docente. Se resalta la importancia de formular permanentemente preguntas que fueron la guía en el desarrollo del trabajo y por supuesto de nuevos puntos de partida.

De igual forma, enriquece el trabajo la intervención en el aula con actividades diseñadas para cada uno de los momentos establecidos en la constitución del conocimiento sobre la herencia, el diseño y la aplicación de actividades conllevaron a plantearnos cierto tipo de necesidades de tipo conceptual y metodológico que fueron enriqueciendo la búsqueda de información por tanto el marco teórico construido.

DEL GUISANTE AL NUCLEÓTIDO: EL MARCO TEÓRICO DE LA HERENCIA

Lo que sabemos sobre la herencia hasta el momento, es gracias a los distintos trabajos científicos que han tratado de proponer explicaciones coherentes sobre cómo se heredan las características.

Las primeras interpretaciones sobre la herencia tienen un punto común: suponen la existencia de partículas o elementos que se transmiten de una generación a otra. El afán por entender la transmisión de caracteres llevó a filósofos como Demócrito, Leucipo, Hipócrates y Empédocles a afirmar que las partes del feto se encuentran dispersos en la simiente³, en este punto resulta importante diferenciar dos corrientes principales en la reproducción de los organismos y por tanto, en cómo se heredan las características; una de ellas corresponde a los *epigenistas*, quienes afirman que los dos padres participan conjuntamente en la formación del nuevo ser, aportando cada uno la simiente cuya mezcla produce el hijo. La segunda corriente los *preformistas* mencionan que la simiente no era producto de los padres, sino que fue creada por dios al comienzo del mundo. Según esta teoría, se consideraba que todos los organismos que han existido, existen y existirán, están contenidos los unos en los otros, sea en los óvulos o en los espermatozoides, un solo padre aporta a través de la simiente el principio esencial para la generación, los que consideraban que este principio se encontraba en la hembra se llamaron *ovistas* y los que creían que se encontraba en los espermatozoides se llamaron *animalculistas*. (Giordan, Host, Tesi, & Gagliardi, 1988, pág. 59)

³ La simiente en términos de cada una de las interpretaciones no es igual, puede corresponder como en el caso de Empédocles a una sustancia que se secreta en la hembra igual que en el macho; ya cada una de las simientes masculinas y femeninas existen partes del feto distintas. Esta concepción de sustancia se mantiene en Demócrito, Hipócrates y Aristóteles, aunque el origen y función no sea el mismo. Algunos consideraban que la simiente procedía de todo el cuerpo de cada uno de los parentales, y que tras el paso por la médula espinal y los riñones, estas simientes se acumulaban en los testículos, presentes en el macho y la hembra. (Giordan, 1988)

Aristóteles llegó a negar la existencia de la simiente femenina, lo fundamental consistía en un juego de potencias capaces de pasar al acto, (Giordan, et al 1988) Como menciona Stutervant (1965) Aristóteles no solo realizó interpretaciones respecto a la concepción de nuevos seres, sino que como naturalista describió muchos tipos de animales, mencionando por ejemplo que la mula era un híbrido y se atrevió a realizar otras suposiciones como que la jirafa era un híbrido entre un camello y un leopardo.

Sin embargo, el obvio parecido con la madre, plantea problemas con la teoría preformacionista. El acontecimiento de los problemas de la herencia viene a introducir brechas en el ser perfectamente preformado, puesto que según el parecido con la madre, tiene que haber una división del aporte del padre y la madre. La solución para este problema, es descomponer lo preformado en partículas. Dichas partículas estarían dotadas de memoria. (Giordan, et al 1988)

Hipócrates desarrolló una teoría parecida a la que más tarde usó Darwin para explicar la teoría de la selección natural, la "pangénesis". Según este punto de vista, cada parte del cuerpo produce algo (denominado "gémulas" por Darwin) que, de alguna manera, es recolectado por el "semen" - o, como diríamos ahora, las células germinales. (Stutervant, 1965)

Este pensamiento influenció una de las explicaciones más importantes en la Biología. Darwin en el capítulo 27 de la variación de animales y plantas bajo domesticación dedica una primera aproximación a la teoría de la pangénesis. En su capítulo, Darwin sostiene que la transmisión de cualidades hereditarias, así como la guía del desarrollo, es causada por partículas individuales diferentes muy pequeñas, por lo tanto invisibles, denominadas gémulas. El mosaico que se presenta entre los híbridos se debe a la mezcla de las gémulas de los parentales.

Antes del nacimiento de la genética como la ciencia que trata los procesos de la herencia, las teorías acerca de esta última tuvieron tres vertientes conceptuales principales: dos de ellas relacionadas con la forma en la que los caracteres se heredan de padres a hijos y la tercera con la generación celular (Torrens, Villela, Suárez-Díaz, & Barahona, 2015).

La primera trata sobre los mejoradores de plantas que consideraban que los caracteres importantes para la utilidad del ser humano podían estudiarse para conseguir cosechas con características deseables, para esto los mejoradores utilizaron experimentos con el objetivo exclusivo de obtener buena calidad en los cultivos relacionados con la alimentación, es decir que el interés fundamental radica en la manipulación de caracteres específicos que les proporcionarán ganancias económicas.

La segunda vertiente surgió de la importancia que se le otorgó a la herencia de caracteres en relación con el problema de ¿Qué significa una especie? Lo cual inició con Linneo, su interés se centraba en descubrir si la especie contenía una esencia. Con la finalidad de entender cómo se heredan las características individuales se usaban árboles familiares o pedigríes. Aunque este método se utilizó por mucho tiempo no fue suficiente para generar una teoría de la herencia. Otra manera consistía en realizar cruces entre individuos con características distintas sobre todo en plantas. A estas prácticas se les denominó hibridología. Muchos de estos trabajos convergen en el sentido de responder a preguntas similares, sin embargo, hay investigaciones que aportaron a la consolidación del conocimiento sobre la herencia desde otras perspectivas divergentes, tanto en sus preocupaciones, como métodos y conclusiones. (Torrens, et.al, 2015).

La tercera y última vertiente, la teoría celular mostró por primera vez que la célula es la unidad constitutiva de los organismos, y que estas y sus núcleos tiene una continuidad en su generaciones⁴ (Torrens, et.al, 2015). A mediados del siglo XIX la biología estaba en condiciones de llegar a otro nivel de organización estructural más fino. La estructura celular de todos los organismos desde su composición elemental, permitiría discriminar de manera particular el análisis de lo vivo. Para dicha época, se hacía necesario concordar la estructura de la materia de lo viviente con su particularidad en sus moléculas. Con la teoría celular no se limita entonces a la

⁴ Esta concepción de continuidad de las células permitió años más tarde fundamentar la genética actual, junto con el redescubrimiento de Mendel (mendelismo)

cuestión de la estructura, con Schwann la célula se convierte en la unidad de lo viviente (Jacob, 1999).

La teoría celular y el acercamiento a lo no visible hasta entonces se pueden entender como una forma de cambiar la representación del mundo, en palabras de Jacob:

En este sentido, la función de la ciencia es dar una representación del mundo, de los seres vivos y de las cosas, respondiendo así a ciertas exigencias: ir más allá de la superficie de los objetos, su apariencia e ir a lo más profundo, quitarse, en medida de lo posible, estas ilusiones que nos impone la naturaleza de nuestros sentidos y de nuestro cerebro. La dotación de nuestro cerebro le permite identificar los objetos de la realidad cotidiana, en cuanto uno se va de este mundo percibido por nuestra experiencia directa, se aleja de los objetos de dimensión inmediata (Jacob, 2005, pág. 85).

Para comprender a profundidad la construcción del conocimiento sobre la herencia, se reconoce que los cambios en las teorías no solo corresponden a su cuerpo de explicaciones, sino a la forma de investigar, los instrumentos, las técnicas y por supuesto el interés mismo de los investigadores, haciendo el abordaje explicativo y experimental a partir de distintos niveles de comprensión, *lo evidente, lo microscópico no evidente, lo atómico-molecular y el modelo*, por las que ha pasado la construcción en torno a la herencia⁵. Estos niveles de comprensión establecidos para abordar históricamente el conocimiento sobre la herencia, son resultado del análisis primario realizado a la luz de los planteamientos de Estany (1990) y las discusiones del equipo de trabajo, donde se considera que las explicaciones sobre la herencia, producto de distintas preocupaciones, en distintas áreas de conocimiento pueden converger para establecer un cuerpo de conocimiento. Evidencia de que la ciencia no es lineal y consecutiva, tal como se muestra la

⁵ Estos niveles son considerados en el texto como base para abordar los distintos estudios que permitieron establecer el conocimiento sobre la herencia. A partir de una revisión bibliográfica general, que pasa desde los aportes de Mendel hasta la biología molecular actual, se encontró que las teorías y distintas explicaciones se basaban en distintos objetos de estudio que reducían a los organismos, hasta llegar a la modelización para comprender la herencia.

mayoría de veces en la enseñanza de la herencia. A continuación, se expone el marco teórico construido bajo estos cuatro títulos, que corresponde a los niveles de comprensión que hemos determinado, cada uno de ellos nombrado de acuerdo a los instrumentos utilizados como objeto de estudio y la ontología misma del cuerpo de conocimiento de cada autor.

La herencia desde la cuestión de lo evidente

Este apartado corresponde a los aportes y explicaciones que realizó principalmente Gregor Mendel, quien a partir de la hibridación de diferentes variedades de plantas establece una serie postulados que dan una idea sobre por qué existen diferentes clases de plantas. Se considera evidente desde el punto de vista del objeto de estudio, siendo los guisantes *Pisum* y sus diversas características donde se centra el análisis de los autores, los colores y las formas juegan el papel más importante para dar cuenta de aquello que se hereda.

Durante el desarrollo y estudio de la herencia en el siglo XVIII y XIX, se propusieron teorías iniciales sobre este fenómeno, una desde la tradición del mejoramiento, especialmente en plantas y la segunda desde la preocupación del concepto de especie y su variación (Torrens, et.al, 2015).

El mejoramiento de las plantas era una de las técnicas más importantes en el siglo XVIII, puesto que con esto se obtenían de manera artificial características deseables según las necesidades de la época. Thomas Knight (1759 – 1838) fue uno de los primeros mejoradores de plantas, trabajó con árboles frutales, pero se dedicó finalmente a trabajar con los guisantes. Él describió sus hábitos, las variedades y la experimentación de introducir polen de una flor de cierta variedad a otra flor de una variedad distinta, además describió la dominancia y la segregación de los cruces que realizaba, sin embargo, nunca contó los distintos tipos de semillas obtenidas en cada experimento (Torrens, et. al, 2015).

Dentro de los resultados de estos cruces realizados por los mejoradores de plantas, ya se reconocía que los híbridos no eran formas intermedias de los padres, si no

que se parecía más a uno de los padres, es decir la condición de dominancia de un carácter ya era claro, sobre todo para Seton y Gross. De igual manera, Sageret ya sabía sobre las características ancestrales que reaparecen en generaciones salteadas (Torrens, et. al, 2015).

En la época existían los denominados hibridólogos y los mejoradores de plantas, estos se caracterizaban principalmente por la búsqueda de la naturaleza de la especie, como es el caso de Kolreüter, quien también experto en polinización de plantas logró cruzar 138 especies, deduciendo que los híbridos producidos de los cruces eran altamente fértiles (reproducción intraespecífica), y los mejoradores de plantas, trabajaban con los cruces pero con intereses por mejorar la calidad de cosechas; en este contexto aparece Gregor Mendel (1822-1884) quien se aparta de los intereses anteriores, puesto que se preocupa por las diferencias de carácter unitario dentro de la especie, distinto de la preocupación de los hibridólogos (búsqueda de la esencia de la especie) enfocándose en la incertidumbre generada por su profesor Unger⁶ y el problema de la evolución (Torrens, et. al, 2015), Unger resaltaba en sus enseñanzas los últimos descubrimientos de fisiología y anatomía vegetal, dando especial importancia al estudio de la variación, especialmente en el proceso de la reproducción, como una forma de entender el proceso por el cual las plantas contemporáneas habían cambiado desde formas primitivas.

A pesar de haber utilizado las mismas técnicas que usaban los hibridólogos o los mejoradores de las plantas, Mendel respondía a otras preguntas e intereses, relacionadas con el problema de la estabilidad de las especies, siendo marcada la influencia de Unger en su propuesta experimental, tal como se aprecia en su rigurosidad taxonómica, la escogencia de rasgos característicos de las plantas y en su novedosa propuesta sobre la herencia. (Suarez & Ordoñez, 2011). Además Olby (1997) afirma que Mendel tenía un especial interés por comprobar la teoría⁷ de

⁶ Franz Unger, el profesor de botánica de Mendel, adoptó la teoría de la evolución de 1852, *la cual consideraba que las variantes aparecen en poblaciones naturales que a su vez dan lugar a variedades o subespecies* (Torrens, et.al. pág 437. 2015).

⁷Dentro de los resultados del trabajo de Mendel descritos en su publicación sobre hibridación en plantas, se evidencia la preocupación a nivel poblacional, puesto que las proporciones y las conclusiones a las que llega *solo pueden averiguarse promediando la suma de tantos casos*

Unger quien menciona la hibridación como fuente de nuevas especies. Esta inferencia la realiza a partir de escritos posteriores a los de la segregación, Mendel confiesa: "...no poseemos una teoría completa de la hibridación y podemos llegar a conclusiones erróneas si tomamos las reglas deducidas de la observación de otros híbridos como leyes de hibridación y tratamos de aplicarlas a *Hieracium* sin más consideración" (Mendel, 1869, S & S, p.52) (Olby, 1997), estos experimentos con esta especie le dieron a Mendel mayores satisfacciones sin embargo por cuestiones de tiempo no pudo ahondar más en ella.

A pesar de que Mendel hizo uso indiscriminado de la palabra híbrido, con los resultados de sus experimentos logró reconocer la notable regularidad con que reaparecen las mismas formas de híbridos siempre que la fertilización se realiza en las mismas especies (Mendel, 1865). Con esto logró determinar el número de formas diferentes bajo las que aparecen los brotes de los híbridos, y ordenar con certeza según las generaciones separadas, descubriendo así, las relaciones estadísticas de dicha regularidad.

Los híbridos y sus brotes no tenían que sufrir ninguna alteración en su fertilidad dentro de las generaciones sucesivas, a pesar que dentro de su población de estudio, había plantas enfermas, probablemente afectadas por el ambiente, él las discriminaba y eliminaba de sus experimentos, puesto que no dan flores y sus semillas eran pocas y de baja calidad. De sus cartas a Nageli y de las notas manuscritas, se puede inferir que la idea fundamental para Mendel era la de separar los caracteres hereditarios y que estos se transmitían inalterados e independientes a la siguiente generación (Torrens, et.al, 2015). Mendel debió ser consciente del hecho de que este principio de independencia y características constantes no podían ser aceptados por sus contemporáneos, quienes basaron sus ideas en la visión holística de Darwin, en donde se consideraba la especie variable. A pesar de

particulares como sea posible, cuanto mayor sea el número más se eliminan los efectos puramente aleatorios. (Newman. Pág 223. 1997)

haber leído a Darwin, Mendel no fue capaz de una refutación formal (Heimans, 1969)

Dentro de los postulados de Mendel se destaca la variabilidad, no en el cambio de características de una generación a otra, sino que dentro de las generaciones puede haber variación en términos de qué aparece y desaparece (observable –dominante invisible- recesivo) (Suárez, 2007), cambio que está circunscrito a las células germinales, mecanismo regulado por la relación de dominancia que se establece entre caracteres análogos y su segregación al formarse los gametos en los individuos de ambos sexos (Galera, 2000). Estos aportes de Mendel son importantes, dado que reconoce que dentro de las estructuras florales femeninas y masculinas existe lo que porta a los caracteres. A pesar de que no se arriesga a proponer ¿qué es lo responsable de las características de los seres?, puesto que se queda *hasta donde alcanza la experiencia* reconoce que la progenie constante solo puede formarse cuando una célula huevo y la célula polen son del mismo carácter, es decir cuando poseen el mismo material (Newman, 1997).

Los resultados de los experimentos descritos por Mendel lo condujeron a otros experimentos, que le permitieron arrojar conclusiones referentes a la composición de las células huevo y el polen de los híbridos. *La circunstancia de que aparezcan formas constantes en la progenie de los híbridos y de que esto ocurra también en todas las combinaciones de los caracteres asociados da una orientación importante, hasta donde alcanza la experiencia encontramos que la progenie constante puede formarse cuando la célula huevo y la célula fertilizadora son del mismo carácter, es decir cuando ambas poseen el material para crear individuos completamente semejantes.* (Newman, pág. 223, 1997). A pesar de que el método de Mendel haya sido influenciado por la física, la herencia para él no eran fuerzas o excitaciones, sino materiales concretos provistos por las células huevo maternas y por las células polen paternas (Torrens, et.al, 2015).

Los trabajos de hibridación de Mendel, fueron capaces de producir fenómenos *hereditarios medibles*, para establecer leyes y dar explicación sobre la herencia de manera matemática, lo cual le daría carácter de organizado y científico, Suarez

(2007) destaca que antes de Mendel estos mismos resultados mostraban irregularidad y poca capacidad de predicción.

La manera de representar el comportamiento de los caracteres a través de generaciones en las plantas de *Pisum* fue una práctica cualitativa, expresada a través de algoritmos matemáticos, donde el sentido es poder controlar y planear los cruces para obtener descendencia deseable, es decir que las variables eran tan controladas que no se podía obtener error alguno, lo cual permitió a Mendel proponer la existencia de factores que se pasaban de una generación a otra, y que dependiendo la naturaleza dominante o recesiva del factor, se iba a observar en la generación dichas características (Suárez, 2007). La elección de esta planta se debe a las características mencionadas por el mismo Mendel:

La selección del grupo de plantas que servirá para experimentos de este tipo debe ser hecha con todo el cuidado posible si se desea evitar desde un principio cualquier riesgo de resultados cuestionables.

Las plantas experimentales deben necesariamente:

- 1. Poseer características diferenciadoras constantes.*
- 2. Los híbridos de estas plantas deben, durante el período de floración, estar protegidas de la influencia de todo polen externo, o ser fácilmente proporcionables de dicha protección.*
- 3. Los híbridos y su descendencia no deben sufrir ninguna alteración notable en su fertilidad en las generaciones sucesivas.*

*Desde un primer momento se ha prestado especial atención a las Leguminosae a causa de su peculiar estructura floral. Experimentos realizados en varios miembros de esta familia llevaron al resultado de que el género *Pisum* cumplía los requisitos necesarios.*

Algunas formas completamente distintas de este género poseen caracteres que son constantes, y fácilmente y sin lugar a dudas reconocibles, y cuando sus híbridos son cruzados mutuamente dan progenie perfectamente fértil.

Además, una perturbación mediante polen extraño difícilmente puede ocurrir, ya que los órganos reproductores están estrechamente empaquetados dentro de la quilla y las anteras brotan dentro del capullo, de modo que el estigma es cubierto con polen incluso antes de que la flor se abra. Esta circunstancia es especialmente importante. Como ventajas adicionales que vale la pena mencionar, deben ser citados el fácil cultivo de estas plantas en campo abierto y en macetas, y también su relativamente corto período de crecimiento. La fecundación artificial es desde luego un proceso bastante elaborado, pero casi siempre tiene éxito. Para ello, el capullo se abre antes de su desarrollo completo, la quilla es eliminada y cada estambre extraído cuidadosamente con un fórceps, después de lo cual el estigma puede ser espolvoreado con el polen extraño. (Mendel, 1865)

Teniendo en cuenta que Mendel no conocía ninguno de los descubrimientos de la citología, las cuales se realizaron en la época de 1870 y 1880 (Torrens, et.al, 2015), logró deducir en una serie matemática que muestra que los caracteres tienen un comportamiento independiente en cada generación. Con estas relaciones numéricas estableció, a través de la observación de características, la segregación de los caracteres y la distribución independiente de los caracteres. Es importante resaltar lo que dice Torrens & et al (2015) que Mendel no fue mendeliano, esto quiere decir que él nunca nombró a los genes, ni asignó a *loci*, la mayor parte del escrito de Mendel solo hace referencia a caracteres heredados, no existía la noción entre genotipo y fenotipo, esto aparecerá 50 años más tarde. El mendelismo en este sentido, viene posteriormente con las interpretaciones de De Vries y Bateson, y la relación con la Teoría Celular.

Por su parte, en época muy cercana a los estudios de Mendel, August Weissman realiza en 1876 la publicación de su obra monumental *Keimplasma*, en la cual menciona que la herencia se debe a movimientos moleculares, rechaza a la teoría de la pangénesis y considera con certeza que el material hereditario era influido por condiciones externas. Sin embargo estas primeras afirmaciones fueron cambiando en la medida que realizaba numerosos experimentos, presentando cerca de 1885

dos tesis principales para su concepción de la herencia. La primera, todo material genético está contenido en el núcleo, y es transmitida por una sustancia molecular de una generación a otra y en segundo lugar, niega rotundamente la posibilidad de la herencia de caracteres adquiridos. (Mayr, 2015)

Desde el punto de vista de Jacob (1999) Weissman propone la primera teoría de la genética verdaderamente comprensible y su teorización preparó el camino para la investigación en la siguiente generación. Dice Weissman que la "esencia de la herencia" es una sustancia nuclear de una estructura molecular específica, solo los cambios en dicha sustancia, son capaces de provocar cambios duraderos en los seres vivos. El mecanismo de la herencia no se fundamenta en la adquisición de caracteres adquiridos, sino en las virtudes de una estructura molecular. De manera similar Morgan (1917) se refiere a Weismann dando el crédito por la popularización de la idea que el Material hereditario es llevado por la cromatina.

Hugo de Vries (1848 - 1935) fisiólogo de plantas difirió fundamentalmente de Weismann y de los citólogos alemanes. Su formación en química y física le permitió ver los problemas funcionales de la herencia bajo un pensamiento distinto. Sus conocimientos sobre células estaban a la par con los conocimientos que tenía Weismann, pero difería completamente en el énfasis sobre los mecanismos de la transmisión. A pesar de que De Vries estuvo influenciado fuertemente por la pangénesis⁸ se debe distinguir el impacto de tres de sus publicaciones, pangénesis

⁸ La hipótesis provisional de la pangénesis fue publicada en 1868, Charles Darwin la propuso como una ley incluyente o general que determinara los principios de la generación. Darwin imaginó a partir de ideas de fisiólogos del siglo XIX y de viejos supuestos de la generación que las unidades del cuerpo eran autónomas y propuso que cada una de ellas producía gérmenes o gémulas las cuales viajaban por los canales intracelulares y eran finalmente colectadas en los elementos sexuales, de esta manera: óvulos, espermatozoides, polen, huevos, semillas y brotes estaban constituidos por una gran cantidad de dichas partículas. Darwin pensaba que, así como una célula de una planta tiene la capacidad de producir un individuo en su totalidad, cada uno de los elementos anteriores podía producir un organismo completo debido a las gémulas contenidas en ellos, cuando estos gránulos diminutos eran suministrados con sustancias nutricionales se multiplicaban y se desarrollaban en unidades como aquellas de las cuales habían derivado, garantizando así la generación de las partes del cuerpo de donde las gémulas procedían. Las gémulas también tenían la capacidad de mantenerse activas generación tras generación o permanecer en estado de latencia, con ello explicaba la reaparición de caracteres ancestrales (Noguera & Ruiz, 2005). Cuando Mendel escribió su trabajo sobre experimentos de hibridación en plantas, envió su trabajo a Nageli, otro importante botánico de la época, pero que no logró comprender a Mendel, dado que concebía la teoría de la pangénesis para sus explicaciones.

intracelular (1889), reporte sobre el descubrimiento de Mendel (1900) y su teoría de la mutación (1901-1903).

De Vries (1889), fue el primero en afirmar que esta teoría genética y su propuesta de que varios caracteres de un organismo tienen bases corpusculares separadas e independientes, fue la primera bien definida e internamente congruente teoría de la herencia. Sin embargo, esta teoría fue incapaz de dar cuenta de una herencia de caracteres adquiridos ¿cómo podían el efecto del uso y desuso de órganos periféricos (manos, piel, ojos y cerebro) ser comunicados a los órganos reproductores? (Torrens, et al, 2015).

La herencia desde el mundo microscópico-no evidente

La herencia es un elemento que escapa a nuestro poder y del cual no podemos disponer como hacemos con otras propiedades vitales. Claude Bernard (Jacob, 1999 pág. 183)

La necesidad por ahondar más en aquello responsable de la herencia nos sitúa históricamente en un punto donde es posible acceder a todo aquello inaccesible anteriormente, el uso del microscopio para conocer más acerca de los organismos, permite generar nuevas explicaciones a partir del estudio detallado de las estructuras de los seres vivos, *la teoría celular transforma el estudio de los seres vivos. Para averiguar las características de lo viviente, de ahora en adelante hay que estudiar la célula, analizar su estructura, buscar lo que tienen en común los diversos tipos de células, es decir, lo necesario para la vida celular o, por el contrario, lo que es distintivo, es decir, apto para la realización de ciertas funciones.* Jacob la organización.

La imposibilidad del acceso a la experiencia fue superada gracias a las prácticas de mejoramiento en plantas (González & Pérez, s.f), que a pesar del interés de los responsables se encontraba alejado de la cuestión de la herencia, permitió constituir un campo experimental en el que Mendel logró interpretar cuestiones profundas sobre la distribución de las características, que no eran mezclas de pangenes u

otras esencias que se consideraban en la época, sino debido a la presencia de caracteres que se distribuyen de manera uniforme e independiente en cada generación.⁹

A pesar de este gran aporte de Mendel, el cual fue interpretado posteriormente por De Vries y Bateson adquirió un estatus científico cuando se pudo relacionar con la teoría celular. En este sentido, el campo experimental de la herencia necesitó otras técnicas y métodos para continuar formulando explicaciones. Ya no era suficiente observar características y cruzar individuos, se necesitaba lograr con profundidad explicaciones que dieran cuenta de este proceso. Es por esto que la herencia se posiciona en otros niveles de comprensión, donde ya no solo basta con la observación de características inmediatas, como colores de pelaje, de pétalos, textura de semillas, sino que debido al mismo contexto, donde se ha llegado a explorar aquello que hasta entonces no era evidente a través de los microscopios y el conocimiento sobre la célula para a partir de ellos generar nuevas explicaciones.

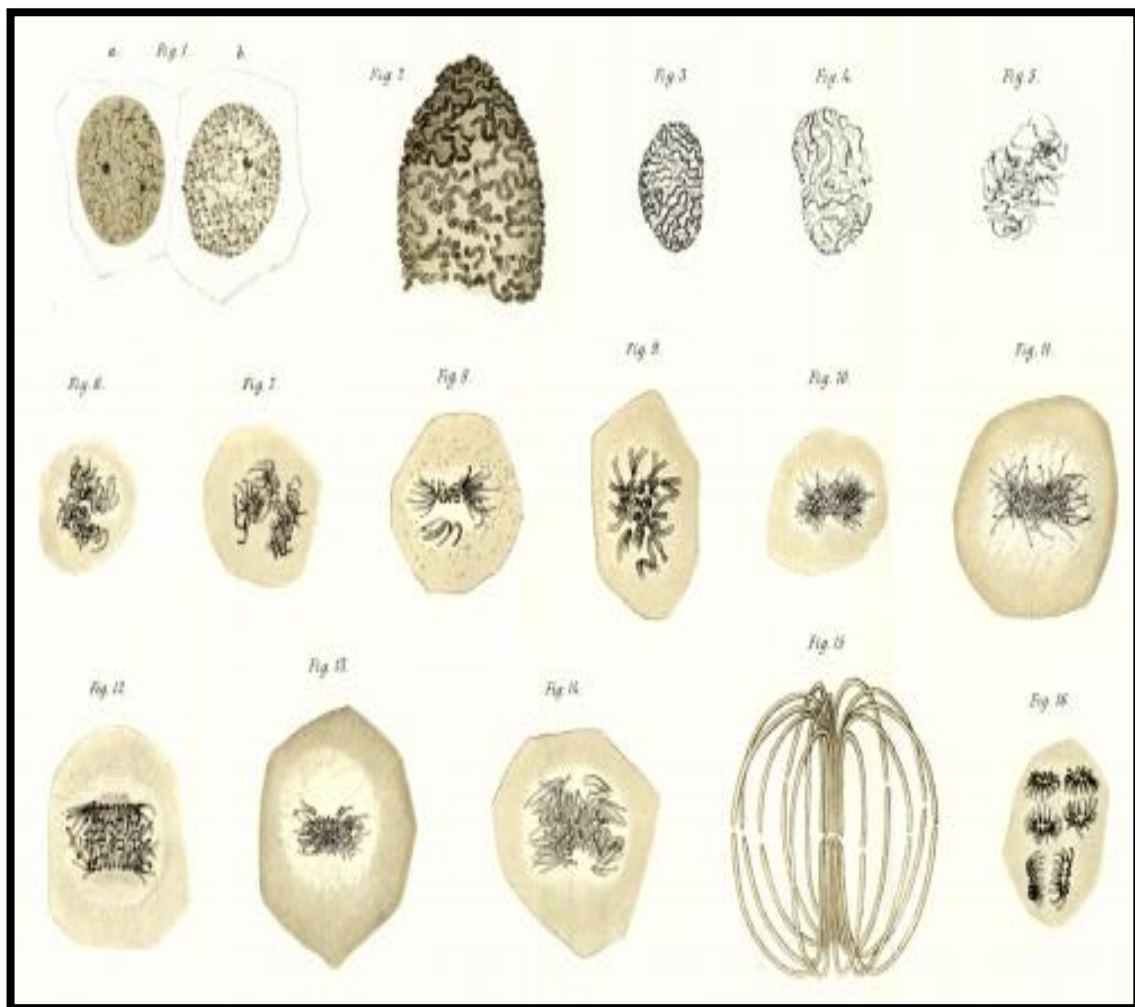
Durante el siglo XIX, los científicos reconocían que todas las células provenían de otras células y que la información hereditaria se encuentra en el núcleo¹⁰, pero la naturaleza física del material hereditario aún no se identificaba. Los microscopios de la época proporcionaron una resolución muy pobre de las estructuras celulares vivas, haciendo necesario que los investigadores utilizaran técnicas para fijar las células y utilizar diversas manchas para mejorar el contraste de sus contenidos. Así, utilizando técnicas de microscopía innovadoras y una precisión minuciosa, el anatomista alemán Walther Flemming en 1892, reconoció y exploró la red fibrosa dentro del núcleo, que denominó cromatina, o "material manchable". (Flemming había descubierto realmente el cromosoma, aunque el término sería acuñado unos

⁹ Mendel, así como De Vries contemplan la posibilidad de una herencia particulada, es decir, asumen que en algún elemento o partícula se controlan los caracteres. Esta concepción se aleja de la concepción de mezcla de caracteres común en la época y toma fuerza con Mendel y especialmente en el mendelismo la idea de que los factores que poseen los caracteres se encuentran de manera independiente en el gamoplasma, durante la formación de la misma célula germinativa los caracteres provenientes de padre y madre se separarían.

¹⁰ En este aspecto se considera que la Teoría celular era aceptada por toda la comunidad científica, permitiendo de esta manera avances específicos dentro de la preocupación de la consistencia y materiales que componían a la célula.

años más tarde por Heinrich Waldeyer). Flemming observó que durante la división celular, la cromatina forma cuerpos filiformes, que él llamó *mitosen* (Ilustración 2), de la palabra griega para hilo. Basándose en muchas observaciones de las células en diversas etapas de división, Flemming dedujo correctamente la secuencia de movimientos de los cromosomas durante la mitosis, lo que sería confirmado décadas más tarde por la microscopía de células divididas vivas. Con su característica atención al detalle, Flemming también hizo la importante observación de que los cromosomas se dividieron a lo largo de su longitud durante la mitosis, y correctamente formuló la hipótesis de que los cromosomas divididos se dividieron en diferentes células hijas al final de la mitosis (O'Connor & Miko, 2008).

Ilustración 2. Proceso de mitosis, dibujo realizado por Walter Flemming (Flemming, 1965)



Una pregunta importante desde el redescubrimiento de las leyes de Mendel en 1900¹¹ que se hacían Carl Correns y Hugo de Vries sobre lo planteado por Mendel, era si los "factores" mendelianos tenían bases materiales dentro de la célula (Torrens, et al, 2015). No lograron concluir dicha preocupación, sino hasta cuando Sutton en 1902 relacionó las leyes mendelianas y lo que estaba observando al microscopio. Con el uso de saltamontes, demostró que los cromosomas se organizaban en pares distintos y que se segregan en el proceso de meiosis. Su conclusión dice: "Finalmente, puedo llamar la atención sobre la probabilidad de que la asociación de los cromosomas paternos y maternos en parejas y su posterior separación durante la división reductora, pueda constituir la base física de la ley mendeliana de la herencia" Sutton (1902) citado en (Crow & Crow, 2002).

Los aportes de Sutton a la consolidación de la genética están en considerar que los pares de cromosomas maternos y paternos se segregan durante la división reductora, indicando que los cromosomas son *las bases físicas de la genética mendeliana*. Sus investigaciones junto con las de Boveri aportan a la consolidación de la citogenética, proporcionando las bases para la posterior constitución de la teoría cromosómica de la herencia (Henríquez & Parker, 1997). La formación académica de Sutton, le permitió unificar teorías y campos para establecer la herencia a nivel celular. Siendo citologista, aprovechó la gran abundancia de saltamontes en el estado de Kansas para el estudio de la célula. Dio un desarrollo mucho más completo de la hipótesis de los cromosomas y las leyes mendelianas, incluyendo la observación de diferentes pares de cromosomas que se orientan al azar sobre el eje, dando lugar a un surtido Mendeliano independiente (Sutton, 1902). Sin embargo, esta idea tenía una objeción importante: se expresaban más caracteres en el adulto que pares de cromosomas existentes¹².

¹¹ Cabe aclarar que se considera que el mendelismo hace parte de la reinterpretación de las leyes de Mendel.

¹² Dentro de sus conclusiones, Sutton plantea la cuestión de si existe también una individualidad fisiológica, es decir, si los cromosomas representan, respectivamente, diferentes series o grupos de calidades o si se dé una acumulación meramente diferentes tamaños del mismo material y, por lo tanto, cualitativamente iguales.

Por su parte, Thomas Hunt Morgan (1866- 1945) genetista estadounidense, interesado en el campo de las mutaciones (donde se destacaba el trabajo de Hugo de Vries), quiso llevar sus experimentos al reino animal y demostrar los cambios que se pueden presentar en las especies. Los aportes de Morgan, la escuela morganiana y su grupo de *Drosophila* o el grupo de las moscas se consideran altamente relevantes en la historia de la genética debido a que para la fecha se realizaban estudios principalmente con plantas. Cerca del año 1908 Morgan inicia su trabajo con *Drosophila melanogaster*¹³ (mosca de la fruta **Ilustración 3**) con el fin de establecer relaciones entre los factores durante el desarrollo morfológico. En diversos trabajos durante el redescubrimiento de las leyes de Mendel, intentaron encontrar las proporciones mendelianas y describir los procesos de transmisión a través de las generaciones. En el caso específico de Morgan y su grupo de trabajo se pretendía describir y clasificar la mayor cantidad de factores, para determinar cuántos de ellos estaban involucrados en la formación de características morfológicas. (Barahona, 2007)

En 1909 Morgan observó una mosca con una mutación extraña, a la que llamo “ojos blancos” debido al color de sus ojos, diferente a la normal que es de color rojo. Realizando cruces de estilo mendeliano entre el macho de ojos blancos (mutante) y hembras de ojos rojos, encontró que en la primera generación que todas las moscas tenían ojos rojos, sin embargo, en las moscas nietas resultaron machos de ojos blancos. Morgan relaciono el color de los ojos como una característica ligada al sexo, en este caso al cromosoma sexual. Es cuando se introduce el concepto del Sex-limited character, que actualmente se conoce como Sex-linked (**Ilustración 4**), lo que le permite a Morgan hablar sobre el gen del color de los ojos ubicado en el cromosoma sexual. (Giordan, et al, 1988).

¹³ La especie más estudiada, *D. melanogaster*, fue descrita en 1830 por Meigen y, de nuevo, bajo el nombre *D. ampelophila* (que aparece en parte de la literatura genética inicial), por Loew en 1862. Esta especie probablemente surgió en el sudeste de Asia, llegando a ser común en todas las regiones tropicales; fue introducida en los Estados Unidos antes de 1871, probablemente cuando se empezaron a importar bananas. La primera persona que cultivó *Drosophila* en el laboratorio parece haber sido el entomólogo C. W. Woodworth. A través de Woodworth, Castle conoció las ventajas del animal; y fue a través del trabajo de Castle como llegó a ser conocida por otros genetistas (Stutervant, 1965, pág. 52)

Ilustración 3. Mosca de la fruta, *Drosophila melanogaster*. (Morgan T.1909)

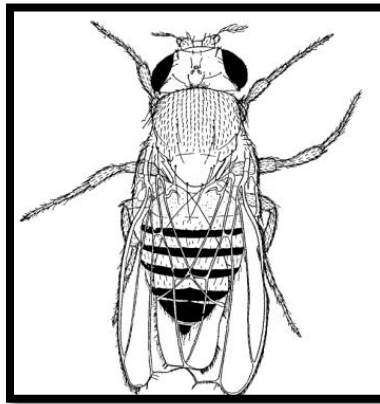
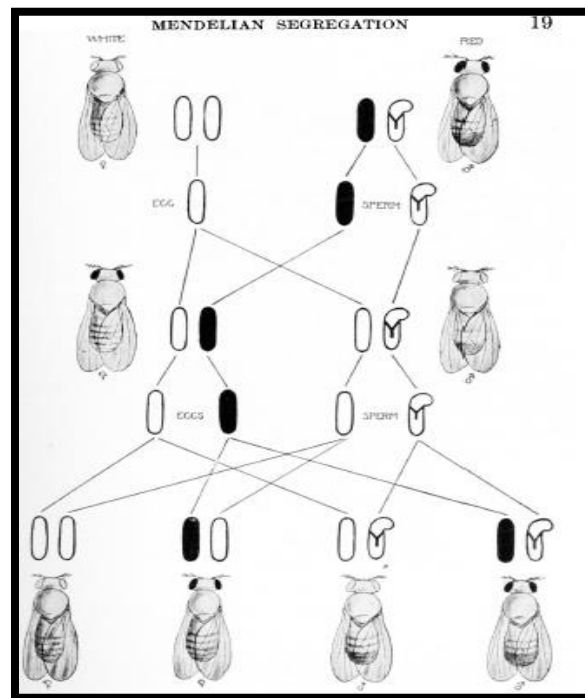


Ilustración 4. Factores para color de ojos *Drosophila*, ojos blancos (femenino) con ojos rojos (masculino) los factores para estos caracteres son llevados por los cromosomas X, el factor para el rojo por el X negro, y el factor para el blanco por el X llano. La historia del cromosoma se muestra en el medio del diagrama. (Morgan, Sturtevant, Muller, & Bridges, 1915)



Morgan propone una interpretación para el *Gen* directamente relacionado con el carácter, mencionando que se puede considerar una entidad imaginaria que da

cuenta del factor de Mendel. Sin embargo, sustenta la necesidad de este ideal en los siguientes términos.

“Los efectos múltiples de cada gen: Si tomamos casi cualquier raza mutante, tales como los ojos blancos en Drosophila, nos encontramos con que el blanco del ojo es sólo una de las características que muestra la raza mutante. En el presente caso también se ve afectada la solubilidad del pigmento amarillo del cuerpo; La productividad del individuo también; y la viabilidad es menor que en la mosca silvestre. Todas estas peculiaridades se encuentran cada vez que el ojo blanco emerge de un cruce, no son separables de la condición de los ojos blancos. Sin embargo, dado que estos efectos siempre van juntos y pueden explicarse por la suposición de una sola diferencia de unidad en el plasma germinal, este elemento particular o gen en el plasma germinal es más significativo que el carácter elegido como índice para uno solo de los efectos.” (Morgan T., 1917)

El gen resulta ser entonces el soporte físico de la herencia, pero debido a las dificultades para establecer relación entre el genotipo y el fenotipo, queda enunciado más en términos de unidad de mutación. Con respecto a otros hallazgos en el grupo de las moscas acerca de la relación de factores localizados en los cromosomas 1, 2 y 3, se da la razón a Morgan en que los genes eran transmitidos al mismo tiempo que el cromosoma, de tal forma que ciertos factores contenidos en los cromosomas darían el patrón de la herencia (Torrens et al, 2015).

Stutervant (1965) menciona que se introdujo el término *Crossing Over* (sobrecruzamiento o entrecruzamiento) y se concluyó que los genes estrechamente ligados están situados muy cerca el uno del otro, mientras que los que muestran un ligamiento menor están más lejos. Entonces, en 1911, nace la esencia de la interpretación cromosómica del fenómeno de la herencia.

En el año 1915 el grupo de las moscas publica el libro “el mecanismo de la herencia mendeliana” donde exponen el resultado de sus investigaciones, relacionado con aspectos como: durante la división celular, cada cromosoma se divide en dos cromosomas, y estos migran hacia los polos opuestos de la célula. (Barahona &

Piñero, 2013), asimismo como menciona Benson (2007) explican que los factores hereditarios eran particulados, estaban asociados a los cromosomas y seguían papeles precisos en su comportamiento. Con la intervención de Morgan los cromosomas adquirieron importancia como cuerpos morfológicos y eventualmente acumularon mayor significado conforme adoptaron o se les atribuyeron nuevas capacidades fisiológicas. (Benson, 2007, pág. 261)

En la interpretación de las leyes de Mendel, Morgan realiza una serie de afirmaciones que resultan ser de vital importancia en la comprensión de este nivel de especificidad, donde el conocimiento va más allá de lo visible y evidente para los seres humanos, por supuesto estas hacen parte de lo que se había trabajado en años anteriores acerca de la teoría celular, el espermatozoide de cada especie de animal o planta lleva un número definido de partes llamadas cromosomas. El huevo tiene el mismo número. En consecuencia, cuando el espermatozoide se une con el huevo, el huevo fertilizado contendrá el número doble de cromosomas. Para cada cromosoma aportado por el espermatozoide existe su correspondiente cromosoma, juntos constituyen un par. (Morgan, Sturtevant, Müller, & Bridges, 1915).

El comportamiento de los cromosomas es paralelo al comportamiento de las unidades mendelianas, en la célula germinal cada unidad derivada del padre se separa de la unidad correspondiente a los derivados de la madre. Estas unidades serán los factores y dos factores constituyen un par y se denominan alelomorfos el uno del otro y su separación en las células germinales se denomina segregación. (Morgan T., 1909).

La herencia más allá de lo microscópico. El mundo de los átomos y las moléculas

El gen propiamente dicho, el elemento de la herencia, aparece como una estructura tridimensional de una complejidad temible e inaccesible a la experimentación. (Jacob, 1999, pág. 214)

A finales del siglo XIX y principios del XX se individualiza toda una serie de objetos y de estudio nuevos. En biología se llega a abarcar un amplio abanico de disciplinas distintas que se distinguen por sus técnicas, fines, materiales y lenguajes que se usan en cada área del estudio de lo vivo (Jacob, 1999). Ya no es suficiente abordar el estudio de la herencia desde las prácticas tradicionales, es necesario enriquecer desde otras áreas, como la química o la física, el abordaje de los procesos biológicos. El mundo de las características superficiales y observables junto con las características microscópicas de la célula, deberán llegar a lo más profundo, a la organización molecular de las células, al punto de superar la frontera de lo vivo, donde se accede a un nuevo nivel que aumenta la capacidad explicativa hasta ahora de la herencia. *Que la complejidad del mundo de lo viviente se pueda descomponer en moléculas lineales, en cadenas y reacciones, era satisfactorio para un cerebro humano habituado a moverse en un tiempo continuo y lineal, del nacimiento a la muerte* (Jacob, 2005, pág. 90,).

Con el redescubrimiento de Mendel, la herencia fue entendida a través de la colección de unidades discretas en la cual cada una se encarga de un carácter. Como todo organismo recibe de cada progenitor un juego completo de unidades, éstas se reajustan a través de generaciones. *La organización que estudian los anatomistas, los histólogos y los fisiólogos, la estructura de segundo orden a la cual se refieren las formas y propiedades de un ser vivo, no es suficiente para explicar la herencia. Es necesaria una estructura superior, más oculta, más profundamente enterrada en el cuerpo. La memoria de la herencia se emplaza en una estructura de tercer orden* (Jacob, 1999, pág. 198). Esta estructura de tercer orden que menciona Jacob, hace referencia a aquello que está contenido en las mismas células, y que no se ha visto aún mediante las técnicas de microscopía descritas hasta el momento.

A base de símbolos y fórmulas, la genética compone una imagen del organismo cada vez más abstracta. De acuerdo a las explicaciones de Jacob (2005) el gen, ente de razón, se representa como una entidad sin cuerpo, sin densidad, sin sustancia. Se hace necesario sustituir esta concepción abstracta por un contenido

concreto. La mecánica de la herencia requiere la presencia en los cromosomas de una sustancia dotada de dos raras virtudes: el poder de reproducirse con exactitud y el de influir a través de su actividad en las propiedades del organismo. Para acceder a los detalles de la estructura que regula la herencia no es suficiente con observar unos cuantos caracteres, seguir las recombinaciones genéticas a través de las generaciones y medir las frecuencias de asociación. Se necesita un diálogo entre la genética y la química.

Surge así la necesidad de dotar de material al gen y a los cromosomas, puesto que las explicaciones construidas, concordaron en que eran dichos cuerpos coloreados los que se transmitían de generación en generación y que daban explicación a la propuesta de Mendel. El concepto gen¹⁴ aparece como un concepto que explica lo que estaría implicado en la transmisión de características específicas, como ya se sabía, dichos genes tenían una distribución específica en el cromosoma. Dado que el material empleado por la genética durante la primera mitad del siglo XX no era adecuado para estudiar las características físicas de la sustancia que compone los cromosomas, a pesar que desde la fisiología y la genética puso en evidencia a través de la *Drosophila melanogaster* que los genes tienen influencia en las características físicas, faltaba algún material que permitiera en poco tiempo evidenciar modificaciones que suceden en el organismo. Por su parte, en la época, la evolución de la medicina y de las industrias demandaba mayor rigor y profundización en el tratamiento de las enfermedades (Jacob, 1999, pág. 245).

Entre tanto, la base molecular y química de la herencia se trabajó de manera paralela a Mendel por Miescher (1844-1895) quien aisló de los espermatozoides de salmón y pus de heridas abiertas el ácido rico en fósforo, su localización en el núcleo

¹⁴ El concepto de gen fue acuñado en 1909 por Wilhelm Johannsen, en el contexto de la recuperación de los estudios mendelianos que se produjo a principios del siglo XX. El término ya contaba con otros antecedentes (además de los *elemente* de Mendel): los determinantes de Weismann, los pangenes de De Vries o las gémulas del mismo Darwin. Precisamente fue la falta de cargas semánticas lo que llevó a Johannsen a escoger esta sencilla y neutral palabra: "gen". Para él, los genes seguían siendo unos entes tan hipotéticos como para Mendel lo eran los *elemente*. A los genes solo se los conocía *ad consequentiam* (Canteras, 2012).

celular le valió el nombre de ácido nucleico, pero no se le encontró ninguna función (Jacob, 1999, pág. 215).

No fue hasta 1928 que Frederick Griffith, mientras trataba de encontrar una vacuna contra la neumonía causada por la bacteria *Streptococcus pneumoniae*, descubrió en una serie de experimentos, alejados totalmente de los intereses de los genetistas de la época¹⁵, una sustancia que hacía que las bacterias cambiaran su morfología. Dentro de sus experimentos reconoció que la bacteria tenía dos formas cuando crecía en placas de agar, una forma lisa (S) y una rugosa (R)¹⁶. Las bacterias R eran inofensivas, pero las bacterias S eran letales cuando se inyectaban en ratones. Las células S muertas por calor eran también inofensivas, pero cuando las células R vivas se mezclaron e inyectaron con células S muertas, murieron los ratones. Frederick Griffith había llegado a reconocer con sus experimentos que las bacterias aisladas de esos ratones vivos habían sido "transformadas" en el tipo S (Petsko, 2006).

El interés principal de Griffith era entender por qué una persona podía albergar varios tipos de *S. Pneumoniae* y en su investigación encontró que los neumococos experimentaban cambios en el tejido pulmonar como resultado de procesos inmunes y ambientales producidas por el huésped (McCarty, 1988), puesto que dentro de la mayoría de las muestras de pacientes con neumonía que enviaban a su laboratorio en Londres se encontraban múltiples cepas de dicha bacteria; sus inquietudes frente a la imposibilidad de que una persona haya adquirido por infección todas estas cepas, le llevó a concebir como explicación para el hallazgo de múltiples cepas en un solo huésped.

Esta última parte fue clave para que Griffith utilizara la expresión del *principio transformador* para dar explicación de los cambios de cepas, puesto que después de matar a la bacteria (S) (letal) con calor, y usar los residuos restantes para

¹⁵ Cabe resaltar que al mismo tiempo Morgan desarrollaba toda una serie de estudios sobre los cromosomas y los mapas genéticos. En su laboratorio por la misma época que Frederick Griffith.

¹⁶ Dentro de la morfología de las bacterias *Streptococcus pneumoniae* encontramos que existen varios tipos (cepas) una con presencia de envoltura bacteriana (R: roug: rugosa) y otra sin dicha estructura (S: smooth: lisa).

mezclarse con la bacteria inofensiva (R), esta última producía la muerte en los animales, es decir que perdía su característica rugosa. Aunque dentro de sus conclusiones él se refiere a que *la transformación aparente no es un cambio abrupto de un tipo en otro, sino un proceso de evolución a través de una etapa intermedia, la forma R, de la cual los caracteres de tipo han sido borrados* (Griffith, 1928) reconoce que la transformación es una especie de mutación dentro de las variedades de bacterias que producen la neumonía.

Desafortunadamente Griffith no realizó más publicaciones al respecto de la explicación sobre la transformación bacteriana, lo más cercano que llegó a analizar en detalle sobre el fenómeno de la transformación, fue la postulación basada en la termolabilidad relativa de ciertas suspensiones calentadas (Cepa S) de transformar a otra bacteria por una estructura de tipo proteica específica que le permite fabricar un hidrato de carbono soluble específico¹⁷. Es muy probable que esta hipótesis sea simplemente descriptiva, y no se pretendía que tuviera ninguna connotación enzimática o genética. Griffith difícilmente puede ser criticado por no llevar adelante su análisis porque, aparte de su interés primordial en los aspectos epidemiológicos de la transformación, las condiciones de su época ofrecían pocas pistas que pudieran haberle servido de base para continuar el trabajo (Hayes, 1966).

El intento y fracaso de Griffith en demostrar la transformación *in vitro* así como la actividad transformadora de los extractos sin células¹⁸, fueron establecidos más adelante por Dawson & Sia (1931) y Alloway (1933) respectivamente. Después de 16 años, tras la demostración de Alloway (1933) de que el principio transformador estaba presente en extractos libres de células de cepas donantes de neumococos,

¹⁷ *Streptococcus pneumoniae* es una bacteria aislada en humanos por Louis Pasteur. Esta bacteria la hace especial de las otras en la época, pues a pesar de las dificultades de entender la estructura interna de dichas células, la aparición de técnicas en tinción celular reveló a través de la observación microscópica que las bacterias estaban rodeadas por una estructura a la que se le denominó cápsula. El tamaño de dicha capsula varía entre las cepas de *S. Pneumoniae*. La composición química de dicha cápsula fue caracterizada por Avery y colaboradores años posteriores a la publicación de Griffith, al demostrar con una serie de experimentos de anticuerpos, la aparición de precipitados en el agar de crecimiento de dichas bacterias y su aislamiento, demostró, con ayuda del químico Heilderberger, que estaba compuesta por carbohidratos (McCarty, 1988).

¹⁸ Griffith había relatado sin éxito el intento de simplificar el experimento de transformación, realizando el procedimiento en tubo de ensayo, eliminando de este modo al ratón como protagonista del experimento (McCarty, pág 50, 1988).

O. T. Avery y sus colegas comenzaron un análisis sistemático de su naturaleza química (Hayes, 1966).

A mediados de 1928, cuando el *Journal of hygiene* dentro de su contenido traía a *THE SIGNIFICANCE OF PNEUMOCOCCAL TYPES* de Griffith, llegó a la biblioteca del Instituto Rockefeller, Avery y sus colegas interesados en el tema, leyeron los resultados a los que había llegado Griffith con el experimento del suero inyectado a los ratones, sin embargo, no lo tuvieron en cuenta en sus trabajos. Casualmente, uno de los colaboradores de Avery, Martin Dawson, había acabado un estudio sobre la mutabilidad de las formas R y S que había enviado a la *Journal of experimental medicine* para su publicación, le dio las herramientas para comprobar lo que Griffith había descrito. Con algunos cambios puntuales en la metodología rudimentaria de Griffith, Martin Dawson obtuvo en detalle los resultados descritos sobre los ratones inyectados (McCarty, 1988, pág. 50). En dichos resultados, se reconocía la existencia de alguna sustancia proveniente de las células bacterianas, que estaba implicada en el cambio de morfología de las bacterias.

Alloway, Dawson & Sia hicieron aportes muy importantes en el entendimiento de la naturaleza del elemento transformador antes de que Avery y colaboradores trabajaran sobre el tema. Con las tecnologías de la época era posible obtener precipitados a través de la centrifugación, Alloway realizó el primer aislamiento de dicho principio transformador, al agregar alcohol a la sustancia obtenida por la centrifugación obtuvo el aislamiento de las sales biliares, que se usaban para descomponer los componentes de los neumococos. Este aislamiento le permitió a Alloway realizar la transformación bacteriana sin necesidad de utilizar la célula del neumococo completa. Sin embargo, estos experimentos, a pesar de que demostraban la existencia de una sustancia soluble implicada en la transformación, *según siendo un proceso inconstante y desconcertadamente poco digno de confianza* (McCarty, 1988, pág. 55).

Avery había estado trabajando indirectamente en los experimentos de Dawson y Alloway, lo que le permitió tener claridad sobre los resultados que se obtenían en los precipitados al agregar alcohol. Al mismo tiempo el auge del uso de enzimas por

el instituto Rockefeller, inició un interés en determinar la naturaleza de la sustancia transformante. Los extractos neumocócicos relativamente no purificados se sometieron a actividad enzimática con la esperanza de que mediante este enfoque se pudiera obtener alguna pista en cuanto a la identidad del constituyente biológicamente activo. La tripsina cristalina, Quimotripsina y ribonucleasa no tuvo ningún efecto sobre la sustancia transformante, pero se encontró que ciertas preparaciones enzimáticas brutas eran capaces de producir una pérdida completa de actividad transformante. Cuando se sugirió la posible importancia del ADN en los experimentos con preparaciones de enzimas crudas, se usaron para determinar si su capacidad para destruir la actividad del principio de transformación podría correlacionarse con cualquier acción enzimática sobre muestras auténticas de ADN de bacterias (Robert, 1994).

Con el uso de las enzimas se tuvo la convincente evidencia de que la naturaleza química de lo que transformaba a las bacterias era ácido desoxirribonucleico (DNA) altamente polimerizado puro (Avery, MacLeod, & McCarty, 1944). Aparte de la evidencia química, se demostró que la actividad de los preparados transformantes no se ve afectada por el tratamiento con enzimas proteolíticas y la ribonucleasa (RN-ase), sino que se destruye rápida y completamente por la enzima desoxirribonucleasa (DN-ase) (Hayes, 1966).

Después de los resultados que obtuvo Avery, escribió a su hermano una famosa carta en la que exponía que las sustancias encontradas compuestas por ácidos no son sólo sustancias estructuralmente importantes, también tienen un papel activo en la determinación de las actividades bioquímicas y características específicas de las células. En su carta escribió *Parece un virus, puede ser un gen*. Sin embargo, Avery no se precipitó a determinar el mecanismo de esta sustancia en la regulación de los organismos. Su interés radicaba en saber cuál es la naturaleza química del principio transformador (Robert, 1994). Avery era consciente que para otorgar al ADN libre de proteínas una relación con el funcionamiento básico de los organismos, se requerían otros experimentos más detallados y especializados. La atención de sus experimentos se redujo a conocer la naturaleza química de la

sustancia transformadora, excluyendo aspectos importantes que se relacionaban con la herencia.

Muchas fueron las lecturas e interpretaciones que se realizaron en torno a los resultados obtenidos sobre la naturaleza química del principio transformador. Entre estas, destacamos las interpretaciones que realizó Dobzhansky (1968), quien estuvo visitando el laboratorio de Avery entre 1940 y 1942, y relaciono directamente los resultados obtenidos por Avery sobre el principio transformador con las mutaciones obtenidas en *Drosophila*. Frente a esta idea Avery se mostró un poco escéptico, sin embargo, en la época, junto con otras interpretaciones¹⁹, se marca una diferencia en la forma como se entiende la transformación y su relación con la genética, la virología y estudios sobre el cáncer. (Avery, et al., 1944)

Sin embargo, los aportes al estudio de lo vivo no provenían solo de la química, la incursión también de la física, provee diferentes herramientas que permitirían explicar a nivel molecular, la función genética, la composición y la estructura de genes y cromosomas. Como se ha venido mencionando las primeras cuatro décadas del siglo XX, las explicaciones físico-químicas del gen y su modo de acción (constancia, cambio y regulación) se construyeron principalmente dentro del marco de referencia explicativo de la visión proteica de la herencia²⁰ y estudios como los realizados por el grupo del Fago son realmente importantes para la comprensión de la genética, vista desde las moléculas.

Este grupo conformado principalmente por Max Delbruck, Salvador Luria y Alfred Hershey, se reunía para discutir especialmente la replicación de los virus

¹⁹ Otra interpretación del fenómeno ha sido sugerida por Stanley, que ha establecido la analogía entre la actividad del agente transformante y la de un virus. Por otra parte, Murphy ha comparado los agentes causales de los tumores de aves con el principio de transformación de *Pneumococcus*. Ha sugerido que estos dos grupos de agentes se denomina "mutágenos transmisibles" con el fin de diferenciarlos del grupo de virus. (Avery, & et al., 1944)

²⁰ Se hace referencia a la importancia que otorgaron diversos investigadores a la función de las proteínas en la célula, dentro de ellos Joseph Müller quien provocó mutaciones artificiales por medio de rayos X que penetraban en los cromosomas, generando cambios en sus estructura, que posteriormente Erwin Schrödinger explicaría en términos de saltos cuánticos en el interior del gen, afectando las macromoléculas proteicas, que en sus largas cadenas de aminoácidos, en donde se podrían encontrar las ilimitadas posibilidades de permutación entre sus componentes y originar así la variedad de características que muestran los seres vivos. que sugería también que la información genética se transmitía. (Papp, 1996)

(bacteriófago) en bacterias y la capacidad que tenían de multiplicarse en menos de una hora, dando lugar a copias idénticas a la partícula original. Para la época, se pensaba que las proteínas eran las responsables de aquellas propiedades de replicación (Maldonado & Jiménez, 1996). Ellos elaboraron métodos cuantitativos rigurosos, realizando simulaciones de la multiplicación de virus y el seguimiento de las fases en detalle. Estos estudios les hicieron en 1969 ganadores del premio Nobel de fisiología o medicina, por sus aportes en los mecanismos de replicación y la estructura genética del virus.

Los mencionados integrantes de este “grupo²¹” tenían intereses comunes desde lugares diferentes; Delbrück, alemán (1906-1981) físico²² de formación migró a los Estados Unidos con una beca ofrecida por la fundación Rockefeller y allí dio continuidad a sus intereses sobre genética, basándose especialmente en los virus, sugiriendo que la microbiología ofrecía una mirada directa a la física y la química del gen y de los procesos fundamentales de la vida. (Martínez & Guillaumin, 2005). Este interés de Delbrück por la biología fue suscitado por primera vez por Bohr, en relación con sus especulaciones de que el argumento de complementariedad de la mecánica cuántica podría tener amplias aplicaciones a otros campos del esfuerzo científico y especialmente en lo que respecta a las relaciones entre física y biología. (Nobel Lectures, 1963-1970). De sus grandes aportes se reconoce en 1946 el descubrimiento de la recombinación genética en el fago. Paralelamente Luria, un médico investigador, que acababa de llegar a los Estados Unidos desde Italia, estaba usando bacteriófagos en experimentos radiobiológicos, Delbrück y Luria se conocieron y colaboraron en varias ocasiones.

Entre 1940 y 1945 se establecieron los principales contornos de la multiplicación de bacteriófagos (duración del proceso infeccioso, número de bacteriófagos

21 No existió un grupo de trabajo, solo una colaboración basada en un intercambio libre de información y material, evitando la duplicación de esfuerzos y absteniéndose de toda forma improductiva de competencia científica. Posteriormente al éxito de sus investigaciones y ofrecer conferencias informales se formó una escuela, el llamado "grupo de fagos", en el Laboratorio Biológico en Cold Spring Harbor. (Nobel Prize, 1969).

22 Max Delbruck desarrolla sus estudios de física junto a otros grandes científicos como Max Born y Niels Bohr, en la universidad de Copenhague y se ve altamente influenciado por los desarrollos de la mecánica cuántica.

progenitores producidos por una bacteria infectada, las diversas etapas del proceso infeccioso, etc.) introdujeron criterios para distinguir la mutación de otras modificaciones en tanto bacteriófagos como bacterias²³. Comenzaron a explorar las interacciones que tienen lugar cuando partículas de virus de dos clases diferentes infectan la misma bacteria. Comenzaron a explorar las interacciones que tienen lugar cuando partículas de virus de dos clases diferentes infectan la misma bacteria. A propósito del estudio con bacterias (Delbrück & Luria, 1943) mencionan:

*Las bacterias han sido objeto de intensas investigaciones, fueron reconocidos como agentes causales en la enfermedad. A pesar de esto se consideró que las bacterias no eran aptas para investigación genética. En primer lugar, la reproducción bacteriana parecía asexual y por lo tanto no podría ser analizado con métodos genéticos estándar. Segundo, porque no se pudo detectar ningún cromosoma bacteriano bajo el microscopio de luz. Los bacteriólogos consideraban que las bacterias simplemente no podían poseer genes similares a los de organismos superiores. La primera demostración de verdadera mutación genética en bacterias implicó un estudio de la interacción entre una cepa de tipo salvaje de bacterias (*E. coli* B) y un tipo particular de virus que ataca, se multiplica dentro, y luego destruye las bacterias, liberando a cientos de progenie fago en el proceso. Los bacteriófagos son tan pequeños que son totalmente invisibles, incluso para el mejor microscopio óptico. (Delbrück & Luria, 1943)*

Ilustración 5. La micrografía electrónica tomada por Anderson muestra el fago T4 que infecta una bacteria *E. coli*. El virus infectante permanece unido por su cola a la superficie de la bacteria, a medida que se produce un nuevo virus dentro de la célula. Se muestra con el diagrama del fago T2, con capa proteica y ADN en la cabeza. (Diagrama T2, Wikimedia Commons) Estas fotografías fueron analizadas por Hershey y Chase para diseñar el experimento de la licuadora. (Sciopic, s.f)

²³ El trabajo de Luria es denominado como *la transformación del paisaje de la genética mendeliana* clásica en la escena crick-watsoniana molecular de los últimos días (Ordaza, 1994)



El trabajo realizado por Delbrück y Luria llamó la atención de Hershey, un químico microbiológico, quien llevaba años trabajando con bacteriófagos en su interés más en la inmunología. A partir de las observaciones de varios otros investigadores, se sabía que las partículas de bacteriófago estaban hechas de proteína y ácido nucleído, con el ácido nucleído localizado dentro de las partículas y la proteína fuera. También se había encontrado que manipulaciones relativamente simples podrían dividir los dos componentes. Hershey planteó la cuestión si la división de ácido nucleico y proteína se daba también en las infecciones de bacteriófagos en las células de *E. Coli*.

Hershey y Martha Chase prepararon un experimento en el cual pretendían conocer ¿Qué componentes del bacteriófago T2 ingresan a la bacteria?, este consistió en dos cultivos de *E. coli*, uno infectado con bacteriófagos T2, cuyas cubiertas proteicas fueron marcadas con azufre radiactivo [35S] y otro con DNA marcado con fósforo radiactivo [32P]; permitiendo que las bacterias se infectaran, separaron las mezclas mediante licuadoras. Las licuadoras (**Ilustración 6**) desprendieron las partículas de bacteriófagos de las células de *E. coli* (**Ilustración 7**). Esto separó las partículas del bacteriófago en el sobrenadante y las de las células bacterianas en el precipitado.

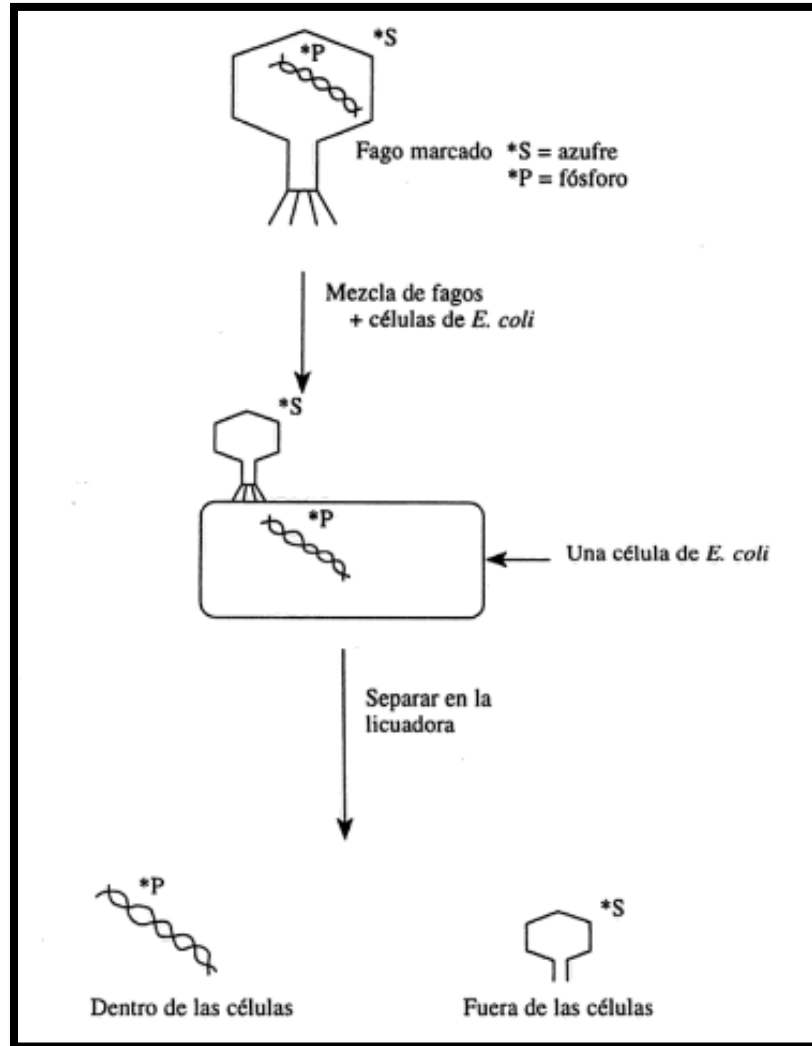
Hemos demostrado que cuando una partícula de bacteriófago T2 se une a una célula bacteriana, la mayor parte del ADN del fago entra en la célula, y

una parte del residuo al menos 80 por ciento de la proteína que contiene azufre queda en la superficie. Este residuo consiste en el material que forma la membrana protectora del fago en reposo, y no juega ningún papel adicional en infección después de la unión del fago a la bacteria. Estos hechos dejan en tela de juicio la posible función del 20 por ciento de azufre que contiene proteína que puede o no puede entrar en la célula. Nos encontramos con que poco o nada incorpora en la progenie de la partícula infectante, y que al menos parte de ella consiste en un material adicional que se asemeja al residuo que se puede demostrar permanece extracelular. Fósforo y adenina (Watson y Maaloe, 1952) derivado a partir del ADN de la partícula infectante se transfieren a la progenie del fago. Inferimos que la proteína que contiene azufre, no tiene ninguna función en el fago multiplicado y que el ADN si tiene alguna función. (Hershey & Chase, 1952)

Ilustración 6. Licuadora que usó Hershey and Chase para centrifugar el virus y así separar por densidades los compuestos moleculares del bacteriófago T4. <http://www.themadscienceblog.com/2013/10/gender-bias-in-science-part-iv-martha.html>



Ilustración 7 Experimento de Hershey and Chase. (Aldridge, 1999)



Mediante el uso de marcador radioactivo en la proteína o en el ácido nucleído, se pudo demostrar experimentalmente (1952) que sólo el ácido nucleico del virus entraba en la bacteria, por lo tanto, era suficiente para la reproducción completa del bacteriófago.

Este acontecimiento marca el camino para una serie de eventos que constituyen el gran campo de la biología molecular, donde se reconocen ampliamente los aportes de la química y la física, en cuanto a los instrumentos y técnicas tales como, la marcación radioactiva y la cristalografía de rayos X.

De los átomos y las moléculas al modelo de la doble hélice para la comprensión de la herencia

Luego de trabajo realizado por Hershey y Chase, la naturaleza del principio transformador quedó confirmada con la marcación radioactiva del compuesto fosfatado del ADN. Este trabajo generó opiniones entre los investigadores a favor del ADN como el que lleva la información genética hereditaria entre generaciones. Se dice que este trabajo produjo cambios respecto a lo que se entendía hasta el momento en términos de la herencia a nivel molecular, puesto que se pensaba que eran las proteínas las encargadas de pasar la información. Este cambio de perspectiva²⁴ generó una serie de nuevos problemas en lo referente a cómo transporta el ADN la información genética y cómo se traduce la actividad bioquímica en la célula. Dichas preguntas se convirtieron en los problemas centrales de la biología durante los siguientes años (Aldridge, 1999).

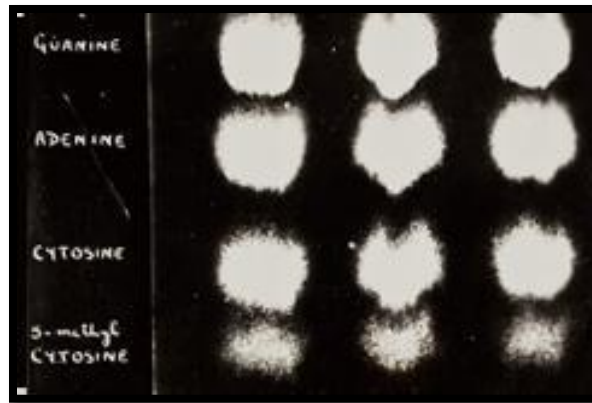
Los trabajos realizados por Avery habían impresionado a muchos investigadores preocupados por la estructura química y física de la molécula hereditaria, entre estos al químico austriaco Erwin Chargaff, quien dice que el trabajo de Avery ha dejado el inicio de una gramática de la biología, su trabajo dejó el texto de un nuevo lenguaje, o más bien ha mostrado dónde encontrarlo (Aldridge, pág. 18, 1999). En los años cuarenta, las técnicas y métodos para analizar más a profundidad el ADN estaban lo suficientemente avanzadas como para hacer aportes y descubrimientos nuevos. Una de estas técnicas fue la cromatografía en papel²⁵, de la cual Chargaff había usado en numerosas investigaciones. Sin embargo, con el interés que tenía sobre el ADN, utilizó su técnica en los ácidos nucleicos. Seccionó muestras de ADN en sus componentes incubándolos con enzimas. La muestra resultante fue

²⁴ Para el caso de la reacción provocada por los resultados del grupo del fago, se dice que se hizo un cambio de paradigma. Sin embargo, para efectos del presente trabajo, solo se reconoce un cambio de pensamiento frente a la sustancia que llevaba la información, puesto que ya el ADN estaba presente paralelamente a los estudios realizados con proteínas.

²⁵ La cromatografía en papel, se basa en la aplicación de una muestra consistente en una muestra de moléculas. Las moléculas se adhieren a la celulosa del papel, pero con diferentes afinidades, dependiendo la naturaleza química, Los que se unen débilmente a la celulosa se mueven más adelante del papel que aquellos que se han adherido con más fuerza. La cromatografía permite separar las mezclas de las sustancias químicas (Aldridge, 1999).

sometida a cromatografía en papel, en la visualización observó cuatro manchas o bandas distintas sobre el papel, una para cada nucleótido²⁶. Recortó cada banda de papel y lavó los nucleótidos con el disolvente para poder evaluar qué cantidad de cada uno se hallaba en la muestra del ADN (Aldridge, 1999).

Ilustración 8. Cromatografía en papel realizada por el homólogo Gerard Wyatt en 1951



Durante finales de los años cuarenta y principios de los cincuenta, Gerard Wyatt estudió las proporciones de las cuatro bases de ADN²⁷ - adenina, guanina, timina y citosina - en células eucarióticas. Su observación de que en el ADN siempre hay la misma cantidad de adenina que la timina, y la misma cantidad de citosina que la guanina, fue fundamental para la idea, desarrollada por James Watson, de que pares de bases estaban de alguna manera enlazados en la estructura del ADN.

Erwin Chargaff de la Universidad de Columbia hizo de manera independiente la misma observación, a menudo denominada "relaciones de Chargaff" o "reglas de Chargaff". Sin embargo, Wyatt al parecer utilizó mejores técnicas para dilucidar la concentración de bases nitrogenadas. Él también confirmó la presencia de 5-

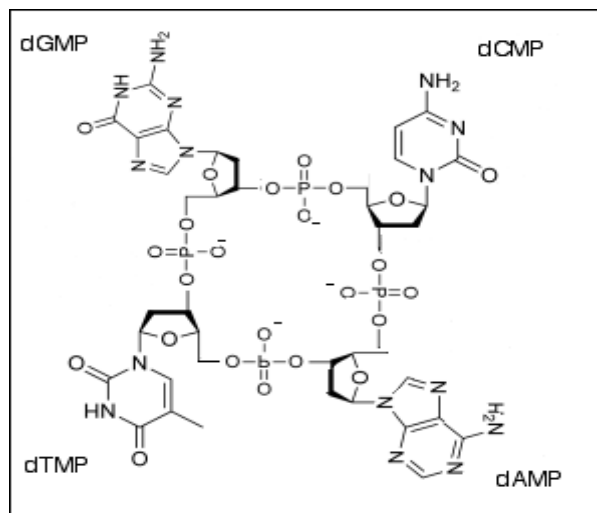
26 Cada Nucleótido se diferencia por la base nitrogenada que lo compone, Adenina, Guanina, Citosina y Timina.

27 El componente carbohidrato del ADN fue identificado en 1929 por Phoebus Levene, investigador lituano, mientras trabajaba en el Instituto Rockefeller de Investigaciones Médicas de Nueva York. Levene descubrió la ribosa y la desoxirribosa, acuñando los términos ácido ribonucleico y ácido desoxirribonucleico. También identificó en su composición el grupo fosfato, y que la conexión entre los componentes era fosfato-azúcar-base, formando lo que denominó nucleótido. (Wellcome library, s.f)

metilcitosina²⁸ en los ADN de algunos organismos. Su trabajo se cita tanto en Watson y Crick 1953 "Nature" y en el libro de Watson 1968, 'La doble hélice'. (Wellcome library, s.f).

El trabajo de Chargaff derribó la hipótesis tetranucleótida de Levene, puesto que después de todo, los nucleótidos no se hallaban en cantidades iguales en el ADN. Los análisis realizados en las moléculas de ADN provenientes de levaduras, bacterias, bueyes, ovejas, cerdos y humanos, demostraron que cada especie podría, al contrario, ser caracterizadas por unas cantidades específica de A-T-C-G. Por lo tanto, si el ADN del bulbo de una cebolla, hubiera sido analizado, el perfil de su contenido en bases hubiera sido el mismo si el experimento se hubiera repetido con hojas de cebolla. Esto fue un gran aporte en la Biología, puesto que ahora los organismos se diferenciaban por la cantidad de nucleótidos dentro de la misma especie. Sin embargo, la principal contribución de Chargaff, fue que el número de moléculas de Adenina en cualquier muestra de ADN era el mismo que la cantidad de moléculas de Timina, las cantidades de Citosina y Guanina eran similares también. Este aporte publicado en 1950, era tarea de otros investigadores aprovechar dicho conocimiento (Aldridge, 1999).

Ilustración 9. Diagrama molecular del tetra nucleótido propuesto por Phoebus Levene alrededor de 1910.



²⁸ En su estructura química, la citosina está metilada, lo que implica cambios relevantes en la función del ADN

A mediados del siglo XX, varias corrientes científicas estaban implicadas en el estudio del ADN: la bioquímica, representada por los trabajos de Avery y Chargaff, la genética, a través de los estudios de Salvador Luria, Max Delbruck y James Watson, y la química estructural, con las investigaciones de Linus Pauling, Lawrence Bragg, Max Perutz y Francis Crick (Gallardo,2007).

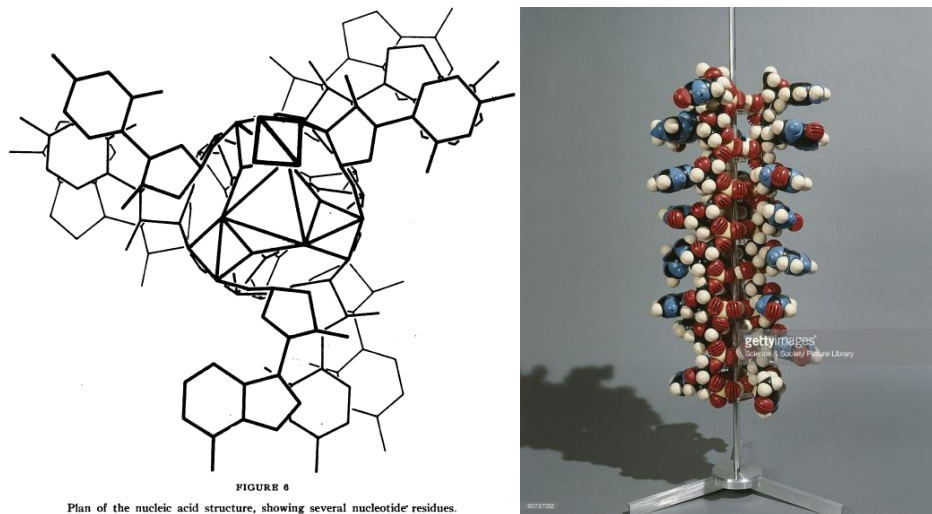
Dentro del grupo de los fagos, liderado por Salvador Luria, se encontraba trabajando su tesis doctoral James Watson acerca de los mecanismos por los cuales los bacteriófagos crecen dentro de las bacterias. Sin embargo, su tutor, Luria se percató de las deficiencias en química que poseía su discípulo, dispuesto a ayudarlo, lo envió a estudiar bioquímica a un laboratorio. Solo que hasta la llegada de un bioquímico Danés Herman Kalckar al laboratorio de Luria, en donde enviaría a James Watson a aprender sobre el tema, sin embargo esto no dio resultado. Kalckar decide invitar a Watson a una convención sobre estructura de grandes moléculas celulares en Nápoles en la primavera de 1951. Dentro de esta convección, Watson escuchó la ponencia del físico Maurice Wilkins quien realizaba estudios moleculares sobre el ADN (Gallardo, 2007).

La técnica llamada cristalografía de rayos X permite la proyección de imágenes tridimensionales de grandes moléculas biológicas, como proteínas y ácidos nucleicos, para obtener dichas imágenes, no era posible el uso de las técnicas de la química tradicional de la época, puesto que solo permitía imágenes de dos dimensiones de las moléculas. Promovida por los Bragg, William y Laurence (padre e hijo), la cristalografía consiste en la interacción de los rayos X con los electrones de los átomos de la muestra (Aldridge, 1999).

En el King's College de Londres, Maurice Wilkins (físico que se había dedicado a la biología luego de su participación en el proyecto Manhattan, construyendo bombas para la segunda guerra mundial), se preguntaba si las largas fibras de ADN que se forman cuando se aísla de las soluciones acuosas estaba organizada con alguna regularidad molecular. A mediados de 1951, Wilkins se unió con Rosalind Franklin, experta en cristalografía de rayos X. Franklin construyó un nuevo laboratorio de rayos X en el King's College y logró obtener excelentes imágenes sobre el ADN.

Ella suponía que la molécula del ADN estaba probablemente enrollada en forma helicoidal. La hélice como motivo en las moléculas biológicas fue propuesta por el químico Linus Pauling, quien había desarrollado la teoría del enlace químico. Por esto el concepto de que el ADN podría ser también helicoidal no era demasiado sorprendente (Aldridge, 1999).

Ilustración 10. Modelo de la triple hélice de Linus Pauling para explicar los resultados de la cristalografía de muestras de ADN



A mediados de los años treinta Pauling usó algunos datos no publicados de Bragg sobre estructuras de silicatos, recogidos durante una visita a Manchester. Linus Pauling, el químico más grande de la época, tenía una estructura para el ADN y estaba listo para la redacción del manuscrito. Dicho documento llegó a la Universidad de Cavendish en la última semana de Enero, donde inmediatamente se hizo evidente el error crucial, postulando una estructura de tres cadenas con esqueleto de azúcar fosfato central. Se parecía al modelo que más adelante Watson y Crick postularían en 1951, pero los grupos fosfato no estaban ionizados, de manera que no había nada que mantuviera junta las cadenas. Era químicamente imposible (Krude, 2008)

Cuando Watson y Crick se conocieron en la conferencia de Maurice Wilkins, se aliaron gracias a los intereses que tenían en conocer la estructura molecular del ADN. Ellos sabían que el ADN estaba compuesto por tres componentes, el primero

era una azúcar, la desoxirribosa, el segundo, un átomo de Fósforo rodeado por cuatro átomos de oxígeno, llamado fosfato, el tercero la base nitrogenada constituida por átomos de nitrógeno y carbono. Para construir el modelo molecular, Jim y Francis usaban recortes de cartón, pelotitas de distintos colores y trocitos de alambre para representar los átomos, las moléculas y las uniones entre los componentes. Ellos trabajaban con fotografías resultado de la cristalografía de rayos X de las que obtenían tres medidas, el grosor de la fibra de ADN, la distancia entre las bases y la altura de una vuelta completa de la doble hélice. Ellos también tenían que tener en cuenta que el modelo molecular debía tener la capacidad de explicar la autoreplicación y formar componentes distintos (Gallardo, 2007).

Este trabajo se aceleró, debido a que Linus Pauling²⁹ también había propuesto otro modelo. Decidieron plantear un modelo acorde a los resultados de la cristalografía que Wilkins le había proporcionado. Las relaciones entre Franklin y Wilkins eran muy complejas, lo que estaba deteniendo el trabajo acerca del ADN. Por esta razón Wilkins decide mostrarle una de las fotografías obtenidas por Franklin, la cual proporcionó bastante evidencia de que la molécula efectivamente tenía una organización helicoidal. Sin embargo, al momento de construir el modelo no sabían si los fosfatos de los nucleótidos debían estar afuera o adentro, solo tenían claro que las bases nitrogenadas se emparejaban, pero no tenían la certeza de que las mantenían juntas. Solo fue hasta la visita del químico Jerry Donohue, quien sugirió unos débiles puentes de hidrógeno entre las bases nitrogenadas que se podían formar entre A T y C G (Aldridge, 1999). Aquí las proporciones de Chargaff cobran importancia, pues fue la pieza clave para finalizar el modelo de la doble hélice, que ellos mismos destacan: no se nos escapa que el apareamiento específico que hemos postulado sugiere un posible mecanismo de replicación para el material genético (Watson & Crick, 1953)

29 En aquella época Linus Pauling había resuelto el problema de la estructura de algunas proteínas, proponiendo un modelo denominado hélice alta. En él los componentes de las proteínas se unían formando una cadena que se enrollaba sobre su propio eje girando hacia la derecha al ascender. Pauling realizaba sus modelos con piezas metálicas ensambladas que describían la forma en que se unían los átomos unos con otros; estas estructuras eran como grandes rompecabezas tridimensionales (Gallardo, 2007).

CONVERGENCIAS Y DIVERGENCIAS EN LA CONSTITUCIÓN DE LA HERENCIA COMO PROBLEMA DE CONOCIMIENTO EN BIOLOGÍA

El trabajo de profundización teórica realizada nos ha permitido la construcción del marco teórico en términos de los cuatro apartados expuestos anteriormente, cada uno de los niveles de comprensión que hemos establecido muestran de manera general las perspectivas sobre la herencia a través de la historia y sus cambios en cuanto a las formas de proceder e interpretar las concepciones al respecto de lo que se hereda. Con el fin de hacer evidentes las convergencias y divergencias entre los distintos autores que aportaron al desarrollo del conocimiento sobre la herencia, partimos de los elementos de la unidad básica de Anna Estany, estos elementos son cuerpo teórico, ontología del cuerpo teórico, campo de aplicación, principios metodológicos e instrumentos y técnicas; sin embargo, para efectos de este análisis se establece una reorganización de los elementos de manera que la visión acerca de cada una de las unidades básicas se pueda realizar de manera más holística.

Los elementos objeto de análisis en este capítulo son:

1. **Antecedentes, preguntas, hipótesis y preocupaciones:** este apartado no hace parte directa de la unidad de Estany, sin embargo lo incluimos porque se considera relevante en la comprensión de todo el cuerpo de conocimiento, las preocupaciones e hipótesis que se planteaban los científicos, debido a que estas responden a ciertas necesidades propias de la época y de su interés de estudio.
2. **Cuerpo teórico, explicaciones teóricas y conceptuales del fenómeno:** El conocimiento que se construye a partir de diferentes formas genera principalmente explicaciones en forma de leyes, reglas o teorías que sistematizan ciertos fenómenos, en este apartado mostramos las explicaciones que formularon los autores para explicar la transmisión de los caracteres, ellas muestran las diferencias y el cambio en el poder explicativo de las teorías.

3. **La ontología del cuerpo teórico-elementos que delimitan al fenómeno:** Elementos sobre los que se teoriza y a partir de los cuales se formulan las leyes.
4. **Campo de aplicación y metodología:** el proceder metodológico determina en gran medida las explicaciones que se producen, en este apartado incluimos las técnicas y los instrumentos que han revolucionado el conocimiento en todas las áreas, se resalta la importancia del campo de aplicación, teniendo en cuenta que no siempre el interés de estudio está relacionado con lo obtenido.

Desde nuestra práctica docente consideramos que existen conceptos científicos respecto a la herencia que deben ser profundizados, puesto que, pueden poseer múltiples significados según el autor, la época y el contexto. Para los conceptos factor, alelo, cromosoma y gen nos preguntamos ¿cuál es la relación que existe entre los conceptos? ¿Cuáles eran los marcos explicativos y los contextos en los cuales se usaban cada uno de ellos? ¿Qué explica cada uno de los conceptos en los distintos niveles que se han propuesto en este trabajo?, estas preguntas son la base para comprender la dinámica o transformación respecto a la teoría de la herencia.

A continuación, se muestran nuestras interpretaciones de las propuestas de los autores que aportaron al conocimiento de la teoría de la herencia, bajo la organización y parámetros que plantea cada criterio elaborado a partir de la unidad básica de Anna Estany.

1. Antecedentes, preguntas, hipótesis y preocupaciones

El trabajo de Mendel se ve fuertemente influenciado por las prácticas de hibridología que se desarrollaban en la época, sin embargo, se distancia de los hibridólogos en el interés de esta técnica, ya que su preocupación no era de corte económico, sino que su pregunta principal era comprender *¿Cuál es la regularidad con la que*

aparecen las características en los híbridos? esta pregunta aparece bajo la formación académica que le recibía del botánico Franz Unger, quien había comenzado a usar el microscopio en sus estudios.

Mendel designa a los gametos como células, pero solo es una referencia verbal, ya que su conocimiento sobre la teoría celular se limita a la visión de Schwann de una célula con contenido homogéneo que plantea una herencia-mezcla en relación con una materia viva continúa, mientras que Mendel se basaba en combinaciones de partículas discontinuas e independientes (Giordan, et al 1988).

En este sentido, la teoría celular no es un antecedente directo en los trabajos de Mendel, sin embargo, gracias a dicha teoría, muchos estudios se centraron en la composición de la célula entre estos, el papel del núcleo en la herencia desarrollado en 1866 por el biólogo Ernst Haeckel, la meiosis en 1883 descubierta por Van Beneden y la estabilidad de los cromosomas en las generaciones en 1909 por T, Boveri. Con estos descubrimientos, había un acuerdo general que el material hereditario residía en los cromosomas.

Hasta el momento no había una comprensión exacta sobre la función de los cromosomas (aquellos cuerpos coloreados en la célula) y la herencia. No fue hasta que Sutton, influenciado por la teoría celular y el mendelismo, logró relacionar la herencia mendeliana en términos celulares. Estos antecedentes le sirvieron a Sutton para preguntarse por las bases físicas de las leyes de Mendel, y deducir que la asociación del material materno y paterno se encuentra en los cromosomas, los cuales se disponen en pares, luego de su separación (meiosis, división reductora). Indicando de esta manera que las bases físicas de las leyes de la genética³⁰ mendeliana son los cromosomas.

Dichos trabajos siendo retomados por el grupo de Morgan, interesados en establecer relaciones entre los factores durante el desarrollo morfológico, intentaron describir y clasificar la mayor cantidad de factores, para determinar cuántos de ellos estaban involucrados en la formación de características morfológicas. Todo este

³⁰ La palabra genética aparece por primera vez por Bateson en 1900 para definir la ciencia que estudia los fenómenos hereditarios. (Giordan et &al. 1988)

trabajo en torno a los factores estaba basado en las preocupaciones que tenía Morgan sobre las mutaciones.

Hasta este momento, los aportes realizados a las explicaciones sobre la herencia se basaban en lo que Mendel expuso en su trabajo sobre hibridación en plantas, las preocupaciones que fueron apareciendo cada vez más se adentraban al mundo de los cromosomas y formaron parte principal de las ideas en la reinterpretación de los trabajos de Mendel. Sin embargo, los trabajos realizados en 1928 por Frederick Griffith, no se desarrollaron bajo la idea del mendelismo o preocupaciones sobre la herencia, de hecho, se podría afirmar que Griffith no se encontraba interesado en entender la herencia, puesto que en la época Morgan trabajaba sobre esto, con las técnicas que ofrecía la tecnología de esos tiempos. Los antecedentes de Griffith, provienen de Edwin Klebs que, en 1875, visualizó por primera vez las bacterias en las vías respiratorias de las personas que murieron a causa de la neumonía, asimismo, los trabajos iniciales realizados por Carl Friedländer y Albert Fränkel en 1882 y 1884 para identificar las dos causas bacterianas comunes *Streptococcus pneumoniae* y *Klebsiella pneumoniae*. Dentro de su famoso artículo, the significance of pneumococcal types, Griffith hace referencia a Fell Ferguson, quien, siendo su colega, obtuvo las cepas bacterianas de la neumonía. Debido a la pandemia de neumonía que tuvo lugar tras la primera guerra mundial, Griffith desarrollaba en su laboratorio una vacuna³¹ para prevenir dicha enfermedad, su interés consistía en entender ¿cómo los distintos tipos de cepas de la bacteria *Streptococcus pneumoniae* pueden o no causar neumonía en los humanos?

Este trabajo fue importante, cuando el grupo de colegas de Avery, trabajando con bacterias de la misma cepa que las de Griffith, se preguntaron sobre las causas de la transformación de las bacterias. Este trabajo, alejado de la preocupación de la herencia, juega un papel fundamental en la biología con la intervención de Dobszansky, cuando le da ideas a Avery de interpretar la transformación bacteriana

³¹ A pesar de que la práctica de vacunación se realizaba muchos años antes de cristo, no fue sino hasta 1786 cuando Edward Jenner llevó al cabo el primer experimento médico en el campo de la vacunación con el virus de la Vaccinia (viruela de vacas), a partir de estos experimentos surge la palabra vacunación derivada del latín vacca. Pasteur generalizó el término vacunación para referirse a inmunizaciones de otras enfermedades infecciosas.

en términos de mutaciones³². La preocupación de Avery, MacLeod, C., & McCarty sobre ¿Cuál es la estructura química del principio transformador entre los tipos de bacterias de la neumonía?, y la intervención del biólogo Dobszansky, aportó en el entendimiento de la composición química de aquella sustancia implicada en el cambio de características en las bacterias, dado que, aquello a lo que Griffith llamó principio transformador, para Avery, MacLeod, C., & McCarty estaba compuesto de ácido nucleico; cabe resaltar que esta sustancia ya había sido aislada por Miesher.

El grupo del fago con sus intereses particulares en cada una de sus áreas de estudio, enriquecen ampliamente sus interpretaciones acerca de la reproducción de los fagos en bacterias. Los intereses de Hershey radicaban en la inmunoquímica y bacteriología, algunos de sus experimentos se ocuparon también de las reacciones inmunológicas fago-antífago (Stahl, 2000). Según Szybalski (2000)³³, en algunas de las reuniones del grupo del fago, Hershey expresaba la creencia en que la especificidad genética debía residir en estructuras de proteínas altamente específicas y no en el ADN como lo mencionaba Avery. Sin embargo, con los resultados obtenidos en sus experimentos, Hershey reconoce que Avery (1944) tenía razón y el ADN era el verdadero portador de la herencia.

Con todos estos descubrimientos y con la certeza de que eran los ácidos nucleicos y no las proteínas las moléculas encargadas de cambiar aspectos morfológicos de los organismos, como lo mostraron los resultados de Avery y el grupo del fago, en adelante las investigaciones debían preocuparse en investigar cómo está organizada dicha molécula. Es decir que, hasta este momento la preocupación en general de la comunidad científica centrará su interés por conocer cuál es la entidad

³² Dentro del artículo publicado en studies on the chemical nature of the substance inducing transformation of pneumococcal types cita a Dobzhansky, y su libro, Genetics and the origin of the species.

³³ Waclaw Szybalski, biólogo molecular, Ph.D. en el Instituto de Tecnología de Gdansk en Polonia y se unió a la Universidad de Wisconsin a mediados de los años 1950, es conocido por las muchas contribuciones significativas que ha hecho a lo largo de su carrera, comenzando con sus estudios sobre mutagénesis y continuando a través de sus contribuciones a la genómica. Szybalski fue un amigo y contemporáneo de muchos pioneros en el campo de la genética, entre ellos Alfred Hershey, Martha Chase, Max Delbrück y Barbara McClintock, participando activamente en las primeras reuniones del llamado grupo del fago (Szybalski, 2000).

material responsable de la herencia. En los años posteriores el campo de la física y la química tuvieron un papel indispensable en la consolidación de dicho modelo del ADN.

Para la construcción del modelo del ADN aceptado, Watson y Crick tuvieron muchas influencias externas y preocupaciones personales según su área de estudio. Ambos, influenciados por el libro *¿qué es la vida?* escrito por el físico Erwin Schrödinger que popularizaba la genética vista desde la perspectiva de la física, por un lado, le permitió a Crick, quien era materialista, analizar las propiedades biológicas como la herencia, desde la física, y por otro lado a Watson le abrió el panorama para pensar la biología desde otras áreas.

La cristalografía, una práctica muy popular en la época para conocer la estructura de muchas biomoléculas, le permitió a Crick, quien estaba interesado en la estructura de la hemoglobina, tener un entendimiento más profundo en la interpretación de las fotografías resultantes de dicha práctica. Debido a que Watson estaba muy interesado en la biología molecular, pero no tenía las bases químicas ni física para esto, aprendió rápidamente de su compañero Crick.

Además de esta influencia desde el área de la física y la química, Watson y Crick conocían los trabajos desarrollados por Chargaff, quien había propuesto la cantidad de bases nitrogenadas que existía en los organismos. Otro antecedente clave para la propuesta del modelo, fue la observación de la cristalografía tomada por Rosalind Franklin. Esto, le permitió a Watson y Crick interesarse sobre la distribución química según las propiedades físicas de los ácidos nucleicos basados en dicha fotografía.

Los trabajos de Avery, el grupo del fago fueron antecedentes clave para que científicos como Chargaff, Franklin, Watson y Crick se interesaran por la composición y distribución de las moléculas del ADN. Lo que denota una continuidad teórica en la explicación y preocupación por la herencia, pero desde un nivel molecular. A partir del planteamiento del modelo del ADN, los intereses

vuelven a la cuestión de cómo opera dicha entidad en la herencia, es decir cómo se replica, cómo se organiza, cómo operan los genes en cuestión del ADN³⁴.

2. Cuerpo teórico, explicaciones teóricas y conceptuales del fenómeno

El conocimiento que se ha construido sobre la herencia suele mostrarse como una secuencia lineal de diferentes descubrimientos, que se unen entre sí, sin limitaciones ni restricciones. Sin embargo, como lo menciona Auguste Comte la revisión de los hechos históricos, muestran que la construcción de conceptos y explicaciones no siguen ninguna linealidad, por ende, las explicaciones, descubrimientos y significados van cambiando en función de los cuerpos conceptuales que surgen en los diferentes contextos. Actualmente las explicaciones que dan cuenta de ¿cómo se heredan las características? se componen de diferentes descubrimientos realizados por diversos científicos en cada una de sus épocas.

Mendel, a través de sus experimentos, planteaba que si se cruzan dos plantas que difirieren en uno o varios caracteres, los caracteres comunes se transmiten sin cambio a los híbridos y a su progenie. Dicho par de caracteres diferentes se unen en el híbrido para formar un nuevo carácter que por lo general es variable. Como resultado, el carácter del híbrido se parece tanto a una de las formas de los padres que la otra escapa de observación o no puede distinguirse con certeza. Mendel denominó a esos caracteres que se transmiten enteramente: dominantes y a los que quedan latentes: recesivos. Caracteres que se retraen o desaparecen enteramente en los híbridos, pero que pueden reaparecer.

Según Mendel, la progenie constante solo puede formarse cuando una célula huevo y la célula polen son del mismo carácter, es decir cuando poseen el mismo material. Para Mendel en una planta se producen varias formas constantes de caracteres, en

³⁴ Trabajos posteriores mostrarán la existencia de otras moléculas como el ARN involucradas en la expresión genética.

los ovarios de los híbridos hay formadas tantas clases de células huevo y en las anteras tantas clases de células polen como las posibles formas de combinación constante, y que estas células huevo y polen coinciden en su composición interna con las de las distintas formas que se presentan en las generaciones.

Cuando Mendel se dio cuenta de que podía combinar todas las características posibles consideradas en sus experimentos para obtener caracteres constantes que aparecen en las distintas variedades de un grupo de plantas, lo hizo utilizando todas las asociaciones que son posibles según las leyes matemáticas de combinación mediante la fertilización artificial repetida.

Debido a que Mendel no tenía los avances tecnológicos para estudiar la composición celular, no fue hasta que los redescubridores de Mendel junto con la aceptación de la teoría celular dieran paso a la relación material de lo que Mendel planteó en su trabajo con *Pisum*. Para Sutton, la asociación del material materno y paterno se encuentra en los cromosomas, los cuales se disponen en pares, al observar las divisiones de las células de los saltamontes, indicó que las bases físicas de las leyes de Mendel se encuentran en los cromosomas.

Para Mendel y Sutton la herencia se plantea teóricamente similar, puesto que Sutton reconoce la segregación de los caracteres en los cromosomas, es decir que lo que se encuentra en las células polen y células huevo relacionado con la transmisión de caracteres, son cromosomas. Sin embargo, por la imposibilidad teórica y conceptual en explicar cómo se encuentran distribuidos los caracteres en los cromosomas, la teoría de Sutton no fue tan reconocida, como si fue la de Morgan que establece la relación entre la herencia y el comportamiento de los cromosomas. Para él, los factores de Mendel están dentro de los cromosomas, y estos explican el mecanismo de la herencia de las leyes de Mendel. En este sentido la teoría de la herencia de Morgan se funda en la célula y su comportamiento durante la reproducción, puesto que al observar la división de los cromosomas en el microscopio durante la meiosis reconoce que cada uno de esos fragmentos organizados va a cada una de las células las cuales están dividiéndose. Sus explicaciones le permiten plantear que los caracteres se encuentran en los cromosomas los cuales son divididos durante

la reproducción celular, esto lo argumenta desde los trabajos de Mendel y la segregación de los caracteres independientes.

Morgan consideraba que el esperma de cada especie de animal o planta lleva un número definido de cromosomas. En consecuencia, cuando el espermatozoide se une con el huevo, el huevo fertilizado contendrá el número doble de cromosomas. Para cada cromosoma aportado por el espermatozoide hay uno correspondiente en el interior del huevo y juntos constituyen un par. Cuando se producen las divisiones del huevo fecundado cada cromosoma se divide en dos cromosomas que se mueven a los polos opuestos de la célula en división. Así, el comportamiento de los cromosomas es paralelo al comportamiento de las unidades mendelianas, puesto que en la célula germinal cada unidad derivada del padre se separa de la unidad derivada de la madre.

Para el caso de las características relacionadas con los cromosomas Morgan reconoció que del cruce de moscas (*Drosophila*) hembra de ojos color blanco y moscas macho de ojos color rojo, produce una población en la que todas las hembras tienen los ojos rojos y todos los machos tienen ojos blancos, con esto planteó la dependencia entre el sexo y el color de ojos. Esto fue clave para que Morgan relacionara las características físicas con los cromosomas sexuales. Con estos descubrimientos Morgan plantea el concepto *sex-limited character* (en la actualidad *sex-linked*) que explica la existencia de un cromosoma sexual que posee caracteres relacionados con la coloración de los ojos. Así pues, esto le permite proponer un modelo estructural de la disposición de los caracteres en los cromosomas, a lo que llamó mapeo cromosómico. Morgan además sugiere que, durante la meiosis, las separaciones cromosómicas observadas pueden dar lugar a intercambios de elementos entre cromosomas homólogos, para esto propone el *Crossing Over*³⁵ (Giordan, et al 1988).

En este punto, convergen los trabajos de Morgan y Sutton en la consolidación de la teoría cromosómica de la herencia, aunque sus bases se encuentran en los factores

³⁵ Los modelos de *Linkage* y de entrecruzamiento fueron importantes en su momento, pues permitieron, tras haber reagrupado los caracteres por cromosomas, situarlos en cada uno de ellos.

de Mendel hay que hacer una distinción entre ambas, puesto que el objeto a la que se refiere cada una difiere en sus explicaciones. La teoría cromosómica permite proponer la idea de la segregación de los caracteres según la célula y su composición, realizando el mapeo genético a través de cruzamientos y no en estudios rigurosos enfocados en la célula. A través de los resultados obtenidos mediante el mapeo, gana plausibilidad la teoría cromosómica.

A pesar de que en años posteriores se propusieron teorías de la herencia relacionadas con la heredabilidad del citoplasma, puesto que se reconoce su importancia en el desarrollo del huevo en los primeros estadios embriológicos la teoría morganiana desplazará todas las teorías que no reconocen el papel de los cromosomas en la herencia. Su gran aceptación radica en que precisa y relaciona descubrimientos que se hacían en torno a la embriología, la mutación, y por supuesto la herencia, además del soporte material que le otorga a los factores de Mendel. (Giordan, et al 1988).

Hasta ese momento, las teorías de la herencia que se han abordado basan sus explicaciones en características observables en insectos y plantas, y la observación de cromosomas a través del microscopio. Sin embargo, como se ha mencionado con anterioridad para entender la herencia se necesitaban más explicaciones, que dieran cuenta de la composición de los cromosomas que ya se había aceptado en la comunidad científica.

Paralelamente a los estudios desarrollados por Morgan, con intereses completamente alejados de la genética, aparece Griffith con sus trabajos con bacterias de la neumonía. Durante esa época existía la necesidad de combatir enfermedades provocadas por microorganismos. Griffith, interesado en producir una vacuna contra la neumonía se percató de los cambios morfológicos que sufren las bacterias a pesar de que hayan sido sometidas a temperaturas altas. Esto lo llevó a considerar que dentro de la estructura celular de la bacteria existía un componente, que denominó principio transformador, capaz de traspasarse de bacteria a bacteria haciéndolas cambiar su composición orgánica como

organísmica. Para Griffith (1928) la bacteria letal contenía algún tipo de mecanismo viral.

El principio transformador de Griffith fue más un concepto teórico puesto que nunca profundiza en su composición. En comparación con el trabajo de Griffith, las investigaciones realizadas por Avery, MacLeod y McCarty (1944) muestran el interés en la composición del principio transformador, basándose en la teoría enzimática, que consiste en que cada enzima actúa sobre un material específico, además reconoce algunos procesos bacterianos, donde las bacterias cambian su morfología por el paso de material genético entre ellas. Con estas bases, logra demostrar usando tres enzimas, que son los ácidos nucleicos los que pasan de bacteria a bacteria.

Para Avery et al (1944) los ácidos nucleicos debían considerarse no solo como estructuralmente importantes, sino también como funcionalmente activos para determinar las actividades bioquímicas y las características específicas de las bacterias. Según las explicaciones a sus resultados, la transformación descrita representa un cambio químicamente inducido y específicamente dirigido por un compuesto químico conocido que posee especificidad biológica cuya base química aún no está determinada.

Después de estos resultados, la preocupación por conocer la composición de la sustancia transformadora se volvió el centro de las investigaciones en la comprensión de la herencia dando explicaciones a nivel químico. Con sus experimentos, el grupo del fago, afirmó que *una partícula de bacteriófago T2 se une a una célula bacteriana, la mayor parte del ADN del fago entra en la célula, y un resto que contiene al menos el 80 por ciento de la proteína que contiene azufre del fago permanece en la superficie celular. Este residuo consiste en el material que forma la membrana protectora del fago en reposo, y no desempeña ningún papel adicional en la infección después de la unión del fago a la bacteria. El fósforo y la adenina (Watson y Maalloy, 1952) derivados del ADN de la partícula infectante, por otra parte, son transferidos a la progenie del fago en una extensión considerable e*

igual. Se infiere que la proteína que contiene azufre no tiene función en la multiplicación de fagos, y que el ADN tiene alguna función (Hershey & Chase, 1952)

Con estas afirmaciones sobre el papel que tiene el ADN en la transformación de los organismos, surgirá un nuevo nivel explicativo en el que la física y la química serán necesarios para continuar las investigaciones. En adelante, las teorías planteadas estarán en el mundo de las moléculas y los átomos, los modelos y las abstracciones. Debido a que los intereses se reducen a la composición de las moléculas, su distribución y disposición, el trabajo de Watson y Crick respecto al modelo de la doble hélice, satisface el campo explicativo de dicha molécula en la herencia.

Basados en la cristalografía tomada por Rosalind Franklin, para Watson y Crick (1953) el ADN es una estructura que tiene dos cadenas helicoidales en espiral en el mismo eje. Haciendo suposiciones químicas sobre los compuestos, cada cadena consiste en un grupo de fosfatos di-esteres que se unen a la desoxirribosa. La característica novedosa de la estructura es la forma en la que las dos cadenas se mantienen unidas por las bases de purina y pirimidina, asimismo, este modelo sugiere un posible mecanismo de copia para el material genético. Estas últimas características le dan al modelo de Watson y Crick aceptación en la comunidad científica, puesto que relaciona la replicación del material genético en procesos como la mitosis.

3. La ontología del cuerpo teórico-elementos que delimitan al fenómeno

El desarrollo de la teoría de la herencia como se ha mostrado en este documento, ha presentado cambios evidentes tanto en las formas de construcción de las explicaciones e interpretaciones, así como, en los conceptos que se exponen; cada intervención muestra la existencia de entidades abstractas o concretas que se definen a partir de su cuerpo teórico, estas corresponden a los elementos sobre los cuales se realizan las teorías o se formulan leyes. Desde la antigüedad ha existido el interés por situar la entidad responsable de la herencia. El siglo XVIII y XIX estuvo

marcado por numerosos intentos en resolver esta cuestión. Los niveles de comprensión planteados en el marco teórico permiten ubicar las propuestas sobre las entidades correspondientes a cada uno de los trabajos desarrollados durante esta época (*La herencia desde la cuestión de lo evidente - la herencia desde el mundo microscópico-no evidente - la herencia más allá de lo microscópico, el mundo de los átomos y las moléculas- de los átomos y las moléculas al modelo de la doble hélice*)

El fundamento ontológico del cuerpo teórico que expone Mendel se basa en unidades denominadas *elemente*, término que acuña para explicar ese algo que se pasaba de generación en generación en la manifestación de un carácter. En términos de Mendel el carácter corresponde a características, en su trabajo menciona que ha seleccionado caracteres para la realización del experimento los cuales son: Forma de las semillas maduras, el color del albumen de la semilla (endospermo), el color del revestimiento de la semilla, la forma de las vainas maduras, el color de las vainas inmaduras, la posición de las flores, la longitud del tallo.

El comportamiento de los caracteres en las generaciones de *Pisum* obtenidas obedece a formulaciones matemáticas, la explicación que Mendel propone ante esto reside en la composición interna de las células reproductivas, lo cual llama **elementos o factores**.

En esta afirmación se puede inferir que Mendel le asigna a aquello que se transmite de generación en generación una existencia material y se puede confirmar con esta cita: *Hasta donde llega la experiencia, encontramos confirmado en todo caso que la progenie constante sólo puede formarse cuando las ovocélulas y el polen fecundante son de un carácter similar, por tanto ambos están provistos del material para crear individuos bastante similares, como en el caso de la fecundación normal de especies puras. Debemos por ende considerar como cierto que factores exactamente iguales deben participar en la tarea y también en la producción de las formas constantes en las plantas híbridas. (Mendel, 1865)*

La terminología en el trabajo de Mendel es poco determinada cuando de establecer relaciones entre factores³⁶ y elementos se refiere. El concepto factor resulta muy importante debido a su aplicación en diversas especies de plantas, la existencia de estas entidades materiales aumenta el poder explicativo de la teoría de la herencia, razón por la cual Mendel es considerado por algunos historiadores como el padre de la genética, sin embargo, este marca apenas el comienzo de una serie de cambios en el estatuto ontológico de la teoría de la herencia que se va haciendo más concreto.

Johannsen en 1909 propone la palabra **gen** (Giordan, et al 1988), para designar el 'algo' que se encuentra en los gametos y participa en la determinación de propiedades específicas en un organismo en desarrollo. Presentó la palabra 'gen' como una versión corta adecuada de 'pangene', que había sido utilizada por De Vries, las partículas hereditarias existían dentro de una célula como lo hicieron los 'genes' de Johannsen. Los "genes" representaban hechos establecidos, pero más allá no hacía ninguna afirmación sobre su naturaleza. En pocas palabras, la palabra gen³⁷, surgió como un concepto análogo para resumir lo que consideraba De Vries sobre los factores de Mendel. Ante esta situación Giordan (1988) dice: *De Vries se niega a considerarlo como una estructura morfológica, representa más bien una unidad de cálculo.*

Pese al ya existente enfoque materialista en la concepción de la herencia, aún no existía un acceso directo a estos planteamientos, por esto la necesidad de encontrar

³⁶ Es necesario aclarar que durante el texto traducido de Mendel leído en la referencia citada en la bibliografía contrastado con el documento en inglés, se encuentra que cuando se refiere a factores, no es claro si se refiere a hechos (*Facts*) o factores (*factors*), además de si estos últimos hacen parte de factores que están implicados en herencia o de agentes que afectan a la herencia. Por otro lado, en el texto leído en español de Mendel, se hace más referencia a los caracteres, que a los factores. Solo en la última parte se nombra a los factores, pero como se dijo anteriormente, sin hacer alusión específica.

We must then treat it as necessary that the very same factors combine in the production of constant forms in the hybrid plant.

It remains more than probable that there is a factor in action for the variability of cultivated plants, which hitherto has received little attention (Abbott, S. Fairbanks. D. , 2016)

³⁷Johannsen presentó la palabra 'gen' como una versión corta adecuada de 'pangene', que había sido utilizada por De Vries. Su teoría de la "pangénesis intracelular" era fundamentalmente diferente de la teoría de Darwin de "pangénesis". Las partículas hereditarias de Darwin ('gemules') se movían entre las células. Las partículas hereditarias de De Vries ('pangenes') se restringieron a permanecer dentro de una célula como lo hicieron los 'genes' de Johannsen (Dahm, 2010).

el soporte físico de la herencia se hizo importante en la época del siglo XIX. A pesar de que ya en 1860 y 1875 se habían adelantado estudios sobre la composición celular y la división del núcleo, dichos trabajos nunca habían concurrido entre sí; sino hasta que Sutton relaciona el material en el núcleo que puede teñirse (cromosomas) con lo que Mendel llamó factores, en términos de Sutton: *“Finalmente llamó la atención sobre la probabilidad de que la asociación de cromosomas paternos y maternos en parejas y su separación subsiguiente durante la división reduccional como se indica anteriormente, puede constituir la base física de la ley Mendeliana de la herencia”* (Sutton, 1902).

Hasta Flemming, los cromosomas solo se consideraban parte del núcleo los cuales no tenían una función definida. En términos de Giordan (1988) esto significa que cada cromosoma, filamento que se mueve en la división celular, debe contener genes que se localizan en los cromosomas y que cada uno de estos posee un conjunto particular de genes, adquiriendo el gen un soporte físico en los cromosomas.

El desarrollo teórico que lleva a cabo Morgan y su grupo de las moscas, representa un aporte importante en la consolidación de lo que hemos llamado el soporte físico de la herencia, la ontología de sus explicaciones se basa en la existencia de los genes en los cromosomas, estar compuesto de elementos de algún tipo, son estos elementos a los que llamamos factores genéticos o genes. En la defensa de los postulados de Mendel, la escuela morganiana realiza una serie de experimentos que le permiten afirmar la existencia de los factores en los cromosomas.

En la posición de Morgan resulta muy interesante la interpretación de los factores en donde es posible identificar claramente una transición entre una entidad matemática y una entidad material. Estas unidades se conocen como factores; los dos factores de un par se denominan alelomorfos el uno del otro y su separación en las células germinales se denomina segregación. En *The Theory of gene*, Morgan menciona de dos formas distintas el factor, una que corresponde a la hipótesis de

factor como el mismo carácter real, en los cuales están presentes los alelos³⁸ de las células germinales y lo explica de la siguiente forma: *Por ejemplo un guisante alto cruzado con un guisante enano produjo en la primera generación un híbrido alto. Estos guisantes altos producen tres guisantes altos a un enano. Tales son los hechos sorprendentes. Mendel señaló que los resultados numéricos podrían explicarse si asumimos que los guisantes híbridos producen células germinales de dos tipos, de producción alta y de producción enana. La simplicidad de la explicación, su amplia aplicabilidad y lo que yo llamo su probabilidad intrínseca recomendarán su interpretación a todos los que han trabajado con tales problemas de herencia.* (Morgan T. , 1917). La segunda forma “el factor moderno” donde se consideran *entidades* que en determinado momento pueden cruzarse y mostrar diversas formas en los híbridos.

Aunque la postura de Morgan frente al concepto de gen es claramente material, en la siguiente expresión defiende la posibilidad de considerarla real o ficticia “*ya que localizamos los genes en los cromosomas ¿se justifica que los veamos como unidades materiales (cuerpos químicos de un orden superior que las moléculas)? ... no existe consenso entre los genetistas acerca de lo que son los genes – reales o ficticios- porque en el nivel de los experimentos genéticos no hace la más mínima diferencia considerarlos como partículas materiales. En todo caso, la unidad asociada con un cromosoma específico, puede localizarse por análisis genéticos. Entonces si un gen es una unidad material, es una pieza del cromosoma; si es una unidad ficticia, deberá referirse a un punto específico del cromosoma, el mismo que si se considera la otra hipótesis. Por lo tanto, no existe diferencia para el trabajo actual de los genetistas bajo qué punto de vista se trabaje.* (Morgan T., 1932)

Los años siguientes, el área de la bioquímica es la encargada de precisar la naturaleza física del gen morganiano. Pero con los adelantos sobre las proteínas y su función en los organismos, muchos científicos consideraron que esta molécula componía a los genes (Giordan, et al 1988). Es entonces cuando el trabajo de Avery

³⁸ Los alelomorfos, concepto planteado inicialmente por Bateson, la palabra alelo para Morgan, son las formas que pudieran llegar a tener un gen ubicado en el cromosoma.

recobra importancia en mostrar que los genes están hechos de sustancias químicas, específicamente los ácidos nucleicos. Con el trabajo de la transformación en los neumococos, el ADN se convierte en soporte de la herencia.

Para Avery y sus colaboradores, el haber tenido la influencia de Dobszansky determinó que la biología y la química convergieran en la búsqueda de la composición de los genes. Avery asigna el soporte físico a los genes a partir de sus experimentos al igual que el grupo del fago, confirmando que el ADN es el que modifica a los organismos, no las proteínas, y que además es una molécula presente desde los virus hasta los animales, por tanto, se vuelve parte indispensable en la consolidación de las nuevas explicaciones sobre la herencia, así como en la comprensión de los procesos en los organismos.

Es hasta que con la fotografía 51 de Rosalind Franklin, Watson y Crick logran proponer un modelo basado en conjugaciones químicas, representando lo que a través de la cristalografía de fibras de ADN se obtiene. Con las bases químicas y físicas, dicha imagen se transforma en la disposición y organización de los átomos que componen a la molécula que se hereda. De esta manera, la física del gen se representará a través de moléculas de ribosa, bases nitrogenadas y fosfatos organizados en una doble hélice. En pocas palabras, el *gen* coexiste en el nivel concreto cuando se asume su existencia y materialidad y en el nivel abstracto cuando la explicación se soporta en un modelo molecular, como el del Watson y Crick.

Desde finales de los años 50 en adelante, la teoría de la herencia se caracteriza por la complejidad y especificidad en términos de información, es decir, se hace referencia de manera rutinaria al ADN, al ARN y a las proteínas como portadores o depósitos de “información” encargados de que las características se transmitan y se expresen.

4. Campo de aplicación y metodología

Para que el conocimiento sobre la herencia se desarrollara a través de las últimas décadas, fue necesario que las personas interesadas en este proceso, propusieran nuevas formas de entender lo vivo a través de distintas técnicas y métodos que permitieran mostrar nuevos resultados.

Ejemplo de esto es el trabajo realizado por Mendel sobre la polinización artificial de plantas de *Pisum*, que se diferenció de los trabajos realizados por los hibridadores de su época, en su constancia en el tratamiento del cruce de las distintas variedades de plantas, el respectivo registro de los resultados obtenidos, el conteo de los descendientes de cada cruce, y la obtención de individuos suficientes para realizar un conteo estadístico significativo. La exhaustiva metodología de Mendel le permite establecer afirmaciones sobre las características que aparecen y desaparecen a través de las generaciones, puesto que no es lo mismo hacer hibridación para obtener plantas mejoradas a hibridar para estudiar el comportamiento de las variedades de generación en generación. En resumen, la metodología de Mendel es cuantitativa, donde observar y contar era lo fundamental.

Durante los años 1856 a 1861 Mendel plantó unas 10.000 plantas de las variedades del guisante comestible (*Pisum sativum*), haciendo un seguimiento de la transmisión de siete rasgos especialmente seleccionados: plantas de semillas redondas con plantas arrugadas, plantas altas con semillas cortas, semillas verdes con semillas amarillas, etc.

Olby (1997) menciona que Mendel autofertilizó a su progenie para descubrir si regresaban o volvían a una u otra de sus formas originarias, encontró que lo hicieron, pero de una manera bastante notable. Cuando examinó el número total de descendientes híbridos que llevaban uno u otro de los caracteres contrastados - altos o cortos, etc. - mostraban una relación integral, presentando un carácter contrastado en tres veces más plantas que el otro carácter. Esta relación de 3: 1 formó la clave para el análisis genético de todos los rasgos, hereditarios conforme a la herencia mendeliana

En total, 34 variedades distintas de *Pisum* más o menos, fueron conseguidas de varios vendedores de semillas y sometidas a una prueba de dos años. En el caso

de una variedad se observaron, entre un gran número de plantas iguales, unas pocas formas que eran marcadamente diferentes, estas, sin embargo, no variaron al año siguiente, y coincidieron completamente con otra variedad obtenida del mismo vendedor de semillas; las semillas fueron, sin duda, simplemente mezcladas de forma accidental. Todas las otras variedades produjeron una descendencia perfectamente constante y similar; en cualquier caso, no se observaron diferencias esenciales durante los dos años de prueba. Para la fecundación, 22 de ellas fueron seleccionadas y cultivadas durante todo el período de los experimentos, y permanecieron constantes sin excepción.

Sutton basó sus experimentos en la citología observando las células de los saltamontes en el proceso de mitosis, sin realizar cruces como lo hizo Mendel. A partir de estas observaciones afirma que los cromosomas se separan como una forma de transmitir las características heredables, su metodología está basada en la observación y descripción de los cromosomas, siendo por esta parte cualitativa y cuantitativa en los procesos de conteo de cromosomas en la división celular.

Al igual que Sutton, Morgan realiza sus pruebas con insectos, debido a su fácil acceso y rápida reproducción, siendo la mosca *Drosophila* su objeto de estudio, pues estas moscas se pueden cultivar en frascos de vidrio y añadirles simplemente trozos de plátano dentro (tradicionalmente los botánicos tenían que esperar a que se cumplieran los ciclos normales de las plantas para poder analizar a su progenie, lo cual, algunas veces, ocurría una vez al año).

Morgan realizaba sus observaciones al microscopio y pudo ver que la mosca de ojos blancos era un macho y lo usó como semental para observar el comportamiento del color de los ojos de generación en generación. Es decir, que al igual que Mendel, decide hacer cruces entre organismos para observar el resultado proveniente de la progenie.

Sin embargo, dichos cruces estaban determinados por la existencia de los cromosomas tanto en células somáticas como en células sexuales. Esto llevó a pensar a Morgan que, a pesar de que la descendencia de este cruce que resultó con ojos de color rojo, el color blanco no podía haber desaparecido, razón por la

cual decide realizar cruces entre las moscas hijas, donde encontró moscas nietas "machos de ojos blancos".

El que Morgan haya seleccionado a la *Drosophila* para sus experimentos, no solo radica en sus características reproductivas, sino que, es un animal el cual está siendo sometido a tratamientos de cruces que hasta la época habían sido las plantas las protagonistas de esta técnica. El análisis genético efectuado por el grupo de Morgan va a demostrar que el ligamiento entre los genes localizados en un mismo cromosoma no es completo. Con el empleo de *Drosophila* como material de laboratorio, el grupo de Morgan tiene acceso completo a resultados que le permiten considerar el papel del azar y la relación de conocimientos exactos sobre el papel de la mitosis (Giordan, et al 1988).

En resumen, la metodología de Morgan se compone de dos partes, una estadística, porque su interés principal se basó en la confirmación de los planteamientos de Mendel a través de cruces y conteos, por otro lado, las observaciones de las características físicas de las moscas, como el color de ojos, forma de las alas, entre otras, constituyen una forma más descriptiva.

Paralelamente, durante 1928 en el marco de investigaciones médicas y patológicas, Griffith trabajando con cepas bacterianas de *Streptococcus pneumoniae* se da cuenta de que las variantes Smooth y Rough³⁹ se diferenciaban por su virulencia. A través del uso de calor, mataba a las bacterias y con sus células sintetizaba un suero que al ser inyectado en ratones sanos, permitía identificar la cepa bacteriana que transformaba las otras bacterias no patógenas haciendo que el ratón enfermara. A pesar de que Griffith no trabajaba con la sustancia transformadora pura, era capaz de manipular bacterias clasificándolas según su infección. Este trabajo, no reconoce ninguno de los trabajos de Morgan o Mendel en términos de hibridación y cromosomas, la técnica de Griffith radica en desarrollar vacunas, que durante la época se hicieron populares por su efectividad en el tratamiento de enfermedades. El desarrollo de este trabajo se dio en el marco de la bioquímica y microbiología de la época. Lo que conduce a una divergencia en términos metodológicos y técnicos

39 Cepa S (virulenta). Capsula lisa y con capa de polisacáridos Cepa R: Capsula rugosa

en la construcción de explicaciones de la herencia, puesto que no hay relación, hasta el momento, entre cruzar organismos y obtener descendientes con diversas características, a aislar bacterias infecciosas y reconocer su capacidad de transformación a través de medios de cultivo y observaciones al microscopio.

La propuesta de Avery en este sentido, trabajando con anterioridad con las mismas cepas usadas por Griffith, perfeccionando la técnica usada por él, a través de la enzimología⁴⁰ que se estaba fortaleciendo en el campo de la bioquímica, y con el aislamiento específico de lo que Griffith había llamado *principio transformador*, logra reconocer que son los ácidos nucleicos lo que usan las bacterias para transformarse. Este avance en la metodología del trabajo de Avery, le da continuidad al de Griffith, pero usando con más detalle las técnicas de enzimología e inmunología.

Con estos trabajos en el campo de la química la herencia amplía su marco explicativo debido no solo a la presencia de los cromosomas en la célula como se asumía hasta Morgan sino la existencia de una sustancia que los compone y que le otorgan unas propiedades de cambio y transmisión. Esto se debe a la aplicación de diversos instrumentos y técnicas derivadas principalmente del área de la química.

A diferencia de las técnicas de purificación de cepas y extracción de contenidos celulares de las mismas bacterias realizadas por Avery y Griffith, Hershey y Chase, reconociendo la existencia de virus capaces de infectar bacterias para reproducirse, tienen en cuenta este método de infección para detectar qué en el virus también hay alguna sustancia que se encargaba de modificar genéticamente a la bacteria.

Con ayuda de microfotografías en microscopio electrónico, se revela la forma del bacteriófago T4 usado en los experimentos de Hershey y Chase. La observación a través de este instrumento fue un soporte en la estructuración de las técnicas usadas para reconocer la composición química del agente infeccioso en virus. Asimismo, que el grupo del fago tuviera conocimiento de la composición química de

⁴⁰ Las enzimas usadas por Avery y colaboradores son las que actuaban en las tres moléculas conocidas hasta el momento, pero con una función incierta en la célula. Las proteasas, las ADNasas y ARN asas.

las biomoléculas en juego (proteínas y ácidos nucleicos), le permitió usar uno de los elementos diferenciales de cada una (fósforo para el caso del ADN y azufre en el caso de las proteínas) presente en la composición del virus, para lograr dilucidar que el caso de los virus, también es el ADN el implicado en la modificación genética.

El trabajo de Hershey y Chase en el campo de la genética, además de situarse en la biología molecular, puso en evidencia el uso de la necesidad de la bioquímica en el entendimiento de la herencia. El objeto de estudio, siendo un virus, muchísimo más pequeño que una bacteria, lleva a lo que se ha venido entendiendo como herencia a un nivel molecular. De esta manera, este trabajo marca una diferencia entre lo que usó Mendel (hibridación) a lo que estos últimos trabajos (grupo del fago y Avery y colaboradores) practicaron en sus laboratorios.

Asimismo, en términos metodológicos y técnicas usadas, para que finalmente el ADN se propusiera como una biomolécula que se organiza de manera helicoidal, se utilizaron técnicas como la cristalografía de rayos x (práctica experimental poco relacionada con la Biología) que consistía en colocar una muestra altamente aislada y purificada para poder conocer su estructura. Para el caso de Rosalind Franklin, nunca usó directamente organismos, sino fibras de ADN ya aisladas y purificadas, de donde obtuvo la famosa fotografía 51.

En el caso de Watson y Crick, su técnica usada para comprender dicha fotografía, dista mucho de las anteriores técnicas, puesto que hacer suposiciones y mediciones sobre las distancias que pudieran tener los átomos entre cada vuelta en la hélice a través de un entendimiento sobre la difracción de rayos X (área de la física y la matemática) y el entendimiento de la química de dichas moléculas, evidencian que en la comprensión de la teoría de la herencia se requiere más que prácticas de hibridación entre organismos, puesto que fue necesario acceder a niveles moleculares para lograr establecer qué es lo que se heredaba finalmente.

LA CUESTIÓN DE LA HERENCIA EN LA PRÁCTICA DOCENTE

A lo largo de este documento se ha presentado el producto de la profundización sobre las teorías de la herencia que hemos realizado desde nuestra mirada como docentes de biología y química, y en el marco de la Maestría en Docencia de las Ciencias Naturales; este ejercicio inició en nuestra necesidad de satisfacer inquietudes que nos surgen cuando de herencia ha de hablarse en nuestras aulas de clase. Durante este proceso nos hemos situado no solo en la cuestión de la enseñanza de ciertos conceptos, sino estos mismos qué significan para nosotras. Es así como se ha logrado un trabajo que incluye un análisis de las teorías que conforman este cuerpo de conocimiento, su historia y un intento por comprender cómo se ha construido este campo de conocimiento, acudiendo a las herramientas que nos ofrecen actualmente los estudios en la epistemología de las ciencias.

A través de este proceso se consolidan ciertas reflexiones que realizamos en nombre propio y que contribuyen a nuestro quehacer como docentes, desde el punto de vista de las posibles acciones que ayuden en el crecimiento profesional y que direccionan de manera consciente la práctica educativa. Pensar sobre lo que se hace, antes, durante y después, se convierte en un factor muy importante en el ejercicio profesional de los maestros.

A continuación, mostraremos algunos elementos que sirven como base para generar reflexiones al momento de abordar la teoría de la herencia en el aula de clase, y mostrar las tensiones que existen en la linealidad con la que normalmente se muestra esta teoría. Luego de haber realizado la revisión histórica de la teoría de la herencia se proponen una serie de actividades⁴¹ para la enseñanza de esta teoría que se aplicaron en los grados octavo y once del colegio Lupe de Vega y Melanie Klein School. La intención de

⁴¹ Dichas actividades fueron propuestas de trabajo en el aula a manera de prueba piloto, que no se consideran una unidad didáctica, sino que a partir de ellas se derivaron elementos para enriquecer nuestra mirada como docentes sobre la teoría de la herencia y su enseñanza. A continuación, se enuncian a manera de reflexión o análisis sin detallar en la descripción de las mismas, por tal razón no se incluyen como anexos.

dichas propuestas estaba encaminada en abordar la herencia desde los tres niveles propuestos en el trabajo, *el nivel macroscópico, en nivel microscópico y el nivel molecular* para de esta manera abordar los hechos históricos que dan cuenta de la construcción de este conocimiento y que permitirían claridades en cuanto a los conceptos que tradicionalmente se enseñan cuando de genética se habla. Los siguientes apartados corresponden a la reflexión realizada sobre las actividades implementadas que da cuenta de elementos que emergen al momento de abordar la herencia en clase.

De los híbridos a las variedades y las razas

El objetivo de esta actividad era abordar la manera en que Mendel entendió la herencia a través de ejemplos de la vida cotidiana referentes a la observación macroscópica, como por ejemplo la existencia de variedad de razas de perros. Se propusieron preguntas para que los estudiantes se cuestionaran las razones del por qué existen tantas variedades de perros. Algunas de las preguntas planteadas *¿Cuáles son los factores, condiciones y/o restricciones que se deben tener en cuenta para realizar cruces de perros?* En el papel de criador de perros *¿cuáles serían las características deseables para diseñar tu propia raza de perro y menciona a partir de cuales razas se podría obtener?*

Para el caso de los estudiantes de grados superiores se esperaba explicaciones coherentes para responder a las preguntas, sin embargo, en las respuestas obtenidas se observó un uso frecuente de palabras como *genes, ADN, fenotipo* que enmascaraban las explicaciones a las causas de las variedades, lo cual significó un limitante para la actividad. Por otro lado, para la segunda pregunta, la respuesta de los estudiantes de octavo grado dio cuenta de la concepción de organismo similar a la de un maniquí, puesto que consideraban que podrían obtener razas de perros a su gusto, sin tener en cuenta los procesos de reproducción y herencia.

Estas repuestas de los distintos grupos muestran las dificultades no solo en términos de reproducción en los organismos, si no que emergen otras cuestiones como la falta de claridad entre la existencia de razas puras en todos los organismos y el concepto especie. Para el caso del cruce entre las razas de los perros, de la cual existen gran variedad, el estudiante debe reconocer, primero que las variedades corresponden a una sola especie, segundo que descienden de un ancestro común cercano a los lobos

salvajes y tercero que la hibridación requiere de reproducción sexual. Para abordar la teoría de la herencia, es indispensable la idea tanto de evolución como de especie, que permite la comprensión de la transmisión de los caracteres hereditarios.

En este sentido, abordar la enseñanza de la herencia usando como único ejemplo los guisantes de Mendel puede conducir a ideas en los estudiantes que se alejan de la realidad, por ejemplo, al aplicar la técnica usada por Mendel en otras especies como perros, caballos, entre otros, se tiende a pensar que los híbridos son solamente organismos que surgen de extrañas combinaciones entre cualquier especie sin considerar las barreras que existen entre ellas.

Es importante que, al momento de abordar la herencia a nivel macroscópico, se tengan en cuenta temas y conceptos que son indispensables para entender lo que el trabajo de Mendel aporta a la teoría de la herencia. Según la profundización teórica, Mendel no tenía conocimiento sobre lo que actualmente se entiende sobre el origen de las especies, o que la célula posee organelos, de los cuales el más importante para este caso es el núcleo. A pesar de esto, Mendel logró reconocer que la herencia no es una mezcla de sustancias que componen a los organismos, sino que es a través de la segregación independiente de los caracteres que se heredan las características, sin embargo, esto no significa que el estudiante no deba poseer dichos conocimientos sobre evolución y taxonomía.

De preformación a los homúnculos y banano-kiwi. Un nuevo esoterismo en la herencia.

En la actualidad, los estudiantes tienen una mayor facilidad de acceder a la información que circula en internet, prensa y televisión, la cual puede ser falsa o promover errores conceptuales. Muchas veces por falta de una educación significativa sobre los temas referentes a la herencia (reproducción, evolución, genética, morfología, entre otros) los estudiantes, o hasta los mismos docentes pueden considerar como reales dichas falsedades.

A partir de la actividad de las variedades de perros, surgen preguntas sobre la posibilidad de mezclar diferentes organismos basados en su conocimiento cotidiano como el caso

de la guayaba-pera en las frutas, y la mula para el caso de los animales. Para lograr movilizar las ideas de los estudiantes al respecto, se proyectaron tres vídeos:

1. una persona quien parte por mitad el banano y el kiwi, los une y los siembra, para supuestamente obtener una planta con cascara de banano y en su interior kiwi;
2. otra persona que toma su semen y lo inyecta a un huevo, el cual mantiene a temperatura adecuada para el desarrollo de lo que denomina el homúnculo, durante varios días. El producto de este "experimento" es un organismo similar a un gusano.
3. Unos estudiantes de universidad en China, hacen fecundación in vitro con huevos de gallina. El vídeo muestra el seguimiento del desarrollo del embrión dentro del huevo, hasta que emerge un pollo.

El estudiante viendo estos tres vídeos, tenía que discriminar cuál era falso y cuál verdadero, los resultados de este ejercicio mostraron que ellos consideran posible las tres situaciones, evidenciando la falta comprensión de la unidad constitutiva de lo viviente, es decir desconocen por completo la teoría celular y los procesos reproductivos. De ahí la importancia de abordar a cabalidad los postulados de la Teoría Celular no para memorizarlos sino para tener una real comprensión de los mismos y denotar las implicaciones que estos tienen en la reproducción de los seres vivos y sus dinámicas hereditarias.

Esto nos llevó a notar que antes que abordar de manera directa la herencia era necesario tener claridad sobre la célula y su relación con la herencia de caracteres, mostrando la relevancia del trabajo experimental que promueva la idea que una célula proviene de otra célula con características semejantes y que estas observaciones hagan imposible que las células del banano y del Kiwi se unan si provienen de individuos tan divergentes.

Para aclarar e integrar esta temática al entendimiento de la teoría de la herencia, se plantearon actividades de laboratorio que incluyeran la observación de células reproductivas, como el caso del polen.

Por tal razón, las prácticas de laboratorio son indispensables, a pesar de que en ocasiones las herramientas e instrumentos con los que cuenta un colegio no son

suficientes para llevar a cabo prácticas similares a las que realizaron científicos que aportaron a la teoría, los docentes deben ser creativos en utilizar organismos que estén al alcance de los estudiantes, para que de esta forma la observación de seguimiento de ciclo de vida y la comparación entre características de los organismos aporten criterios a los estudiantes que le permitan discriminar y tomar posición frente información errónea, y que puedan tener elementos que son indispensables para comprender la teoría de la herencia.

Del factor a los nucleótidos

Los aportes que ha generado el entendimiento y construcción de la teoría de la herencia tiene gran influencia en muchos ámbitos ya sean sociales, políticos y/o educativos. Muchas personas acuden en la cotidianidad a conceptos usados en la genética o biología molecular tales como el *gen*, *el factor*, *cromosoma*, *ADN*, para expresarse superficialmente sobre a algún tema relacionado con la herencia, sin embargo como se ha mostrado en el estudio histórico, estos conceptos han venido presentado cambios que hacen de ellos conceptos polisémicos dependiendo el contexto y la época, por tal razón usarlos en el aula de clase requiere de distintas comprensiones y explicaciones a la cual el docente necesite hacer referencia, para que estos conceptos no se reduzcan a expresiones vacías y sin significado para los estudiantes.

La teoría de la herencia, más allá del modelo.

Como se ha mostrado a lo largo de este trabajo, la teoría de la herencia ha estado constituida por diversos campos científicos, pasando por la hibridación, la embriología, la patología, la bioquímica y la física, de la cual no todas están relacionadas entre sí, si no que plantean divergencias entre las explicaciones que constituyen a la herencia.

Al respecto, consideramos entonces la imperativa necesidad de conocer el cuerpo de conocimiento que se enseña, el docente debe realizar una serie de acciones que le permiten establecer sus propias explicaciones y por tanto, formas de entender las teorías que enseña, no solo desde el punto de vista de lo conceptual sino desde su propia construcción, la historia de las ciencias ofrece entonces un contexto al maestro de ciencias y la facilidad de comprender la actividad científica. La búsqueda en la historia y

filosofía de la ciencia permite a los docentes aportar elementos para comprender los problemas propios de los saberes especializados, además hacer más significativo su trabajo en el aula.

En este sentido, el ejercicio de ubicarnos históricamente conlleva a comprender quiénes somos, cómo nos hemos constituido en seres humanos, cómo nos organizamos socialmente, cuál es nuestro papel en el desarrollo del mundo futuro, elementos que nos proporciona el conocimiento científico permite a los seres humanos ubicarnos en un momento histórico determinado y en un contexto cultural, político e ideológico.

Reconocer la historia en la constitución del campo de conocimiento ofrece la posibilidad de visualizar hechos científicos proyectados a futuro, mostrando que la ciencia es un proceso en permanente cambio y que se encuentra permeada por factores sociales, políticos y económicos, sujetos a tensiones, crisis y retrocesos propios de la actividad humana.

Una de las razones más importantes por las cuales el análisis de lo que se conoce y enseña por parte del docente, es el reconocimiento de las necesidades a las que debe atender la formación en ciencias, el docente debe cuestionarse acerca de cómo su trabajo da herramientas a niños y jóvenes para desempeñarse en su vida diaria y que inciden claramente en su forma de pensar y actuar. A partir de la reflexión sobre las actividades de la ciencia es posible establecer que queremos para la sociedad actual y asimismo la discusión sobre los currículos.

Como segunda idea exponemos nuestra percepción frente a las dificultades que consideramos pueden darse en la enseñanza de la herencia relacionada con los conocimientos y habilidades que deben tener los estudiantes al momento de enfrentarse a ella; por ejemplo, para el caso de las probabilidades que menciona Mendel, el cálculo numérico es indispensable, asimismo en cuanto a la comprensión del modelo del ADN es necesario que los estudiantes posean unas bases en cuanto al reconocimiento de grupos funcionales en química, las explicaciones sobre lo vivo no se remiten únicamente a la observación descriptiva sino que se enriquece de áreas como la matemática, la química y la física. Cuando este punto se reconoce, es posible direccionar las actividades

que permitan en conjunto con las otras áreas hacer más significativo el proceso educativo.

Por otro lado, consideramos que existen ciertos conceptos previos que son fundamentales para la comprensión de la herencia y que son mencionados no solo por nosotras sino en investigaciones previas, una de ellas es la teoría celular, durante la exploración y profundización teórica es evidente que el descubrimiento de la célula y los avances respecto a técnicas e instrumentos en la citología, abren un nuevo camino en las explicaciones y también en cuanto al mismo objeto de estudio, reconocer que más allá de lo visible existe “algo”, hace que la comprensión de lo macroscópico y organizacional sea más efectiva, los postulados de la teoría celular arrojan conocimiento sobre la constitución de los seres vivos y cómo funcionan, las propuestas de los distintos científicos, a partir del siglo XVII junto con la aparición del microscopio, hacen posible el estudio del ser vivo, lo cual estructura otro tipo de explicaciones en Biología que va más allá de lo observable. La complejidad de abordar esta teoría radica en la abstracción que debe realizarse al entender de manera “ciega” cómo funciona todo un conjunto de reacciones químicas en la célula, junto con otros organelos relacionados, para poder llegar a entender los procesos que hacen posible la transmisión de los caracteres hereditarios.

De igual forma, coincidimos con otros autores en mencionar que se debe ampliar trabajo práctico, no necesariamente para que los estudiantes repliquen los experimentos de los científicos, sino que a través de las prácticas experimentales puedan, por un lado, dar sentido a aquello que se propone en determinado cuerpo de conocimiento y, por otro lado, que desarrolle su capacidad de observar y analizar críticamente el trabajo en ciencias. Para complementar el conocimiento de la teoría de la herencia, es posible realizar prácticas de laboratorio que generen en los estudiantes un interés según su cotidianidad. Por ejemplo, el aislamiento de ADN de células de saliva con sustancias químicas de fácil acceso. Esta práctica puede hacer que los estudiantes se pregunten sobre la naturaleza del ADN y que no es el modelo de la doble hélice lo que van a observar en el aislamiento.

La desarticulación de los conceptos de las ciencias con las distintas situaciones a las cuales están expuestas los jóvenes, hace que la enseñanza carezca de un sentido, se hace necesaria la asociación con problemáticas y discusiones actuales y reales, que generen gran curiosidad, como la manipulación de genes. Al respecto el profesor Francisco J. Iñiguez (2005) en su tesis doctoral expresa una crítica que dice: *“Cada día son más frecuentes las conversaciones sobre clonación, organismos transgénicos y terapias génicas”*. Iñiguez (2005) cuestiona lo que los estudiantes deben conocer sobre el material hereditario teniendo en cuenta los múltiples ámbitos en los que se habla de genética, de aplicaciones en la medicina, la agricultura y que requieren de una apropiación de conceptos como gen, cromosoma, entre otros y la complejidad de las relaciones entre ellos y las implicaciones sobre la cultura.

El reconocimiento de las ventajas y desventajas del conocimiento científico es ampliamente aplicable a la teoría de la herencia que en la actualidad desempeña tan importante papel en procesos, como los involucrados con el genoma humano, la clonación y en si la manipulación del material hereditario. Se hace necesario un conocimiento de la naturaleza de este material y de los mecanismos de su transmisión para poder comprender y valorar las aplicaciones médicas e industriales de la biotecnología.

De acuerdo con lo expuesto hasta ahora, el proceso de profundización sobre la herencia nos deja una serie de cuestiones por resolver, el trabajo en el aula sobre el ADN, la teoría cromosómica y el Mendelismo según los estándares de ciencias naturales propuestos por el Ministerio De Educación Nacional (MEN) de Colombia debe ser abordado desde el grado 8, suponemos que este es uno de los principales problemas en la enseñanza de la herencia, debido a la insuficiencia del marco conceptual que poseen los estudiantes para comprender que la transmisión de los caracteres recae sobre moléculas, cuando en este punto su comprensión de la materia es poco clara.

Las prácticas deben ser re evaluadas y buscar tanto el momento, como las actividades adecuadas que generen comprensiones acerca de la transmisión de los caracteres hereditarios, que aporten a las situaciones actuales, tales como las cuestiones que

involucran la toma de decisiones, como los problemas bioéticos y el papel que el conocimiento científico juega allí.

Consideramos que la teoría de la herencia se debe abordar en el aula iniciando con actividades que estén relacionadas con el contexto del estudiante, es decir, a lo que tienen acceso con mayor facilidad, esto lo hemos llamado macroscópico-evidente y se pretende que en este nivel los estudiantes comparen y traten de dar explicaciones sobre las variedades dentro de la misma especie, la causas por las cuales lo semejante produce semejante y que es posible realizar conteos estadísticos en las descendencias producidas por un organismo; asimismo que a partir de la observación de los seres vivos, sus estructuras y funciones, puedan comprender que poseen una organización interna debido a sus partes y que estas unidades constituyen organismos vivos. La necesidad de comprender estas unidades nos llevan al nivel microscópico donde el estudiante se enfrenta al reconocimiento de la teoría celular, la observación de células y la composición material de la misma, llegando así al lugar donde se encuentra el material hereditario. Finalmente, el nivel molecular donde se busque una mejor comprensión de la función del material genético, sus mecanismos de transmisión y su forma de expresarse al momento de entender los organismos desde el nivel macroscópico.

Somos conscientes que las actividades realizadas no son la única manera de abordar la teoría de la herencia, las actividades propuestas deben reconocer la importancia de relacionar todo el tiempo temas básicos como evolución, taxonomía, reproducción y/o teoría celular, para poder integrar temas relacionaos con la genética y biología molecular. De igual manera, desde una posición crítica y reflexiva con el discurso histórico de la teoría de la herencia, se deben tomar decisiones particulares, dependiendo las dinámicas mismas de los estudiantes, pero pretendemos que el trabajo realizado sea una herramienta para nosotras y otros docentes para iniciar su propias discusiones teóricas e históricas o que les permitan ubicarse en las necesidades del aula y a partir de este ejercicio encontrar elementos que orienten su quehacer.

BIBLIOGRAFÍA

- Abbott, S., & Fairbanks, D. (2016). Experiments on Plant Hybrids by Gregor Mendel. *Genetics* 100, 204(2), 407-422. doi:<https://doi.org/10.1534/genetics.116.195198>
- Aldridge, S. (1999). *El hilo de la vida: de los genes a la ingeniería genética*. Madrid, España: Cambridge University.
- Allen, G. (1983). *La ciencia de la vida en el siglo XX*. . México: Fondo de cultura económica.
- Avery, O., MacLeod, C., & McCarty, M. (1994). Studies on the chemical nature of the substance inducing transformation of pneumococcal types. *Journal of medicine*, 2(79), 137-158.
- Ayuso, G., & Banet, E. (2002). Alternativas a la enseñanza de la genética en educación secundaria. *Enseñanza de las ciencias* (20), 133-157.
- Balaguer. (s.f.). Obtenido de <http://www.plazayvaldes.es/autores/anna-estany>
- Barahona, A. (2007). De los genes como unidades fisiológicas a la construcción de los mapas genéticos. En E. Suarez. México D.F: Editorial Limusa.
- Barahona, A., & Piñero, D. (2013). *Genética: la continuidad de la vida*. México D.F: Fondo de cultura económica.
- Benson, K. (2007). La representación de los cromosomas, de cuerpos morfológicos a agentes fisiológicos, 1800-1925. En E. Suarez, *Variedad infinita: ciencia y representación. Un enfoque histórico y filosófico*. México DF: Editorial Limusa S.A.
- Burgos, J. C., & Hernández, S. (2016). *¿Por qué los hijos se parecen a sus padres? una mirada desde la herencia biológica*. . (Tesis de maestría). Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.
- Canteras, J. (. (Enero de 2012). La evolución del concepto de gen. *Eikasia*, 85.

- Castro, A. (2008). Interrelaciones entre historia, epistemología y didáctica de las ciencias: el caso del modelo del Operón Lac en biología molecular. Un análisis de textos universitarios. Bogotá: Universidad Pedagógica Nacional.
- Crow, E., & Crow, J. (2002). Perspectives. Anecdotal, Historical and Critical Commentaries on Genetics. 100 Years Ago: Walter Sutton and the Chromosome Theory of Heredity. . *Genetics*, 160, 1(4), 160.
- Dahm, R. (2010). From discovering to understanding. *EMBO Rep.*, 11(3), 153–160.
- Delbrück, M., & Luria, S. (1943). Mutations of bacteria from virus sensitivity to virus resistance. *Genetics*, 491-511. Obtenido de <http://www.esp.org>
- Elkana, Y. (1983). La ciencia como sistema cultural: Una aproximación antropológica. Bogotá: Sociedad Colombiana de Antropología.
- Estany, A. (1990). Modelos de cambio científico. Barcelona: Crítica.
- Estany, A. (1996). La estructura fina de la revolución química del siglo XIII. *Endoxa: Series filosóficas* (7), 21-42.
- Estany, A. (abril de 1998). Thomas Kuhn: hacia una metateoría unificada de la ciencia. *Arbor CLIX* (628), 437-450. Obtenido de <http://arbor.revistas.csic.es/index.php/arbor/article/view/1762/1908>
- Estany, A. (2006). Introducción a la filosofía de la ciencia. Bellaterra. : Universidad autónoma de Barcelona. Servei de publicacions.
- Flemming, W. (1965). Contributions to the knowledge of the cell. *The Journal of Cell Biology*, 25. Obtenido de <http://jcb.rupress.org/content/jcb/25/1/3.full.pdf>
- Galera, A. (2000). Los guisantes mágicos de Darwin y Mendel. *Asclepio* (52), 213-222.
- Gallardo, M. (2007). James Watson y Francis Crick atrapados en la doble hélice. . México D.F: Editorial Pax México.

- Giordan, A., Host, V., Tesi, D., & Gagliardi, R. (1988). *Conceptos de Biología 2*. Madrid: Editorial Labor.
- Giraldo, G. (2014). Enseñanza - aprendizaje del concepto síntesis de proteínas en educación secundaria rural. Tesis o trabajo de investigación presentada(o) como requisito parcial para optar al título de Magister en Enseñanza de Las Ciencias Exactas y Naturales. Manizales: Universidad Nacional de Colombia. Obtenido de <http://www.bdigital.unal.edu.co/46601/1/8412506.2014.pdf>
- González, M. A., & Pérez, J. (s.f). *El método experimental y la ciencia de lo vivo*. Tenerife: Fundación Canaria Orotava de historia de la ciencia.
- Griffith, F. (1928). THE SIGNIFICANCE OF PNEUMOCOCCAL TYPES. *Journal of hygiene*, 2(27), 113-159.
- Hayes, B. (1966). The discovery of pneumococcal type transformation: an appreciation. *Journal of hygiene*, 2(64), 177-184.
- Heimans, J. (-9. (1969). Gregor Mendel and Hugo de Vries on the species. *Acta Botánica* (1), 95 - 98.
- Henríquez, N., & Parker, S. (1997). *Chromosomes today*. Madrid: Chapman & Hall.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. d. (2010). *Metodología de la Investigación*. México: McGraw Hill.
- Hershey, A., & Chase, M. (09 de Abril de 1952). Independent functions of viral protein and nucleic acid in growth of bacteriophage. *The Journal of General Physiology*. doi:10.1085/jgp.36.1.39
- Iñiguez, F. (2005). *La enseñanza de la genética: Una propuesta didáctica para la educación secundaria obligatoria desde una perspectiva constructivista*. Tesis doctoral. Universidad de Barcelona.
- Jacob, F. (1970). *La lógica de lo viviente*. Tusquets, España: Metatemas.
- Jacob, F. (1999). *Una historia de la herencia*. Barcelona: Tusquets.

- Jacob, F. (2005). El ratón la mosca y el hombre. México D.F: Universidad autónoma metropolitana. Plaza y Valdés.
- Jiménez, M. P., & Sanmartí, N. (1997). En L. D. Carmen, La enseñanza y el aprendizaje de las ciencias de la naturaleza en la educación secundaria. Barcelona: Horsori.
- Krude, T. (2008). ADN cambios en ciencia y sociedad. . Madrid: Ediciones Akal.
- Kuhn, T. S. (1962). Estructura de las revoluciones científicas. México: Fondo de Cultura Económica.
- Maestría en Docencia de las Ciencias Naturales. (s.f.). Departamento de Física, Universidad Pedagógica Nacional. Bogotá.
- Maldonado, & Jiménez. (1996). Biología molecular en medicina. México: Editorial Limusa S.A.
- Martínez, S., & Guillaumin, G. (2005). Historia, Filosofía y Enseñanzas de la ciencia. México: Instituto de Investigaciones Filosóficas.
- Matthews, M. (1994). Historia, filosofía y enseñanza de las ciencias: la aproximación actual. Enseñanza de las ciencias, 2(12), 255-277.
- Mayr, E. (2005). Así es la biología. Debate.
- Mayr, E. (2006). ¿Por qué es única la biología? Consideraciones sobre la autonomía de una disciplina científica. . Bueno aires: Katz.
- Mayr, E. (2015). La naturaleza de la herencia. En E. Torrens, A. Villela, E. Suarez, & A. Barahona, La biología desde la historia y la filosofía de la ciencia (págs. 409 -451). México.
- McCarty, M. (1988). El principio transformador. Cómo se descubrió que los genes estaban hechos de DNA. . Barcelona: Reverté.
- Mendel, G. (1865). Experimentos de hibridación en plantas. En J. Newman, SIGMA El mundo de las matemáticas. Barcelona: Grijalbo.

- Mora, W., García, A., & Mosquera, C. J. (2002). Bases para la construcción de un cuerpo conceptual didáctico del desarrollo histórico - epistemológico de los conceptos estructurantes de la química. Estudio Didáctico en torno a los Conceptos Fundamentales de la Química y al Desarrollo Profesional de Docentes en Ejercicio., 259-286. Obtenido de http://die.udistrital.edu.co/sites/default/files/doctorado_ud/publicaciones/bases_para_construccion_un_cuerpo_conceptual_didactico_del_desarrollo_historico_epistemologico.pdf
- Moreno, C. (2014). Desarrollar una estrategia didáctica constructivista a partir de los conceptos de gen y cromosoma que permitan una mejor comprensión de la herencia biológica en el grado noveno del seminario menor de la arquidiócesis de Medellín. Tesis de Maestría. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.
- Morgan, T. (1909). What are "factors" in Mendelian Explanations? American Breeders Association Reports. Recuperado el 1 de 04 de 2017, de <http://www.esp.org/foundations/genetics/classical/thm-09.pdf>
- Morgan, T. (1917). Theory of gene. *The American Naturalist*, 513-544.
- Morgan, T. (1932). The rise of genetics. *Science*, 76, 261-267.
- Morgan, T., Sturtevant, A. H., Muller, H. J., & Bridges, C. B. (1915). *The Mechanism of Mendelian Heredity*. New York: Henry Holt and Company.
- Newman, J. (1997). *El mundo de las Matemáticas*. . Barcelona.: Grijalbo.
- Nobel Lectures. (1963-1970). Nobel Prizes. (E. P. Company, Editor) Obtenido de https://www.nobelprize.org/nobel_prizes/medicine/laureates/1969/delbruck-bio.html
- Nobel Prize. (1969). Recuperado el 23 de Julio de 2017, de http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/medicine/laureates/1969/press.html
- Noguera, R. &. (2005). Pangénesis y vitalismo científico. *Asclepio*, 1(47).

- O'Connor, C., & Miko, L. (2008). Developing the chromosome theory. *Nature education*, 1(1), 44.
- Olby, R. (1997). Mendel, Mendelism and Genetics. Department of the History and Philosophy of Science University of Pittsburgh. Obtenido de <http://www.mendelweb.org/MWolby.html>
- Ordaza, R. (1994). *Biología molecular antes y después de la doble hélice*. México D.F: Siglo XXI.
- Orozco, J. C., & Valencia, S. (2009). Módulo Historia y Epistemología de las Ciencias I. Especialización en Docencia de las Ciencias para el Nivel Básico. . Bogotá.
- Orozco, Y. (2013). Aprender sobre herencia genética: Más que un cuadro de Punnett. Atas do IX Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências – IX ENPEC. Obtenido de Atas do IX Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências – IX ENPEC. Recuperado: <http://www.nutes.ufrj.br/abrapec/ixenpec/atas/resumos/R0514-1.pdf><http://www.nutes.ufrj.br/abrapec/ixenpec/atas/resumos/R0514-1.pdf>
- Papp, D. (1996). *Historia de las ciencias desde la antigüedad hasta nuestros días*. Santiago de Chile: Editorial Andrés Bello.
- Petsko, G. (. (2006). Transformation. *Genome Biology*, 7(10), 117., 7(10), 117.
- Quintanilla, M. (2005). Historia de la ciencia, ciudadanía y valores: claves de una orientación realista pragmática de la enseñanza de las ciencias. *Revista education y pedagogic*, XVIII (45).
- Robert, O. (-1. (1994). The Identity of the Transforming Substance. In *The Path to the Double Helix: The Discovery of DNA*. Washington: Dover Publications.
- Stahl, F. (2000). Hershey. En F. Stahl, *We Can sleep later. Alfred D Hershey and the origins of molecular biology*. Cold Spring Harbor Laboratory Press.
- Stutervant, A. H. (1965). *Una historia de la genética*.

- Suárez, E. (2007). *Variedad Infinita. Ciencia y representación. Un enfoque histórico y filosófico.* México: Universidad Autónoma de México.
- Suarez, F., & Ordoñez, A. (2011). De Gregor Mendel y la docencia sin licencia. *Universitas Médica*, 52(1).
- Suaréz-Díaz, E. (2007). *Variedad infinita. Ciencia y representación. Un enfoque histórico y Filosófico.* . México: Universidad Autónoma de México.
- Sutton, W. (1902). On the morphology of the chromosome group in *Brachystola magna*. *Biological Bulletin* (4), 24-39. Obtenido de <http://dev.esp.org/foundations/genetics/classical/wss-02.pdf>
- Szybalski, W. (2000). In memorian: Alfred D. Hershey. En F. Stahl, *We Can Sleep Later. Alfred D Hershey and the Origins of Molecular Biology.* Cold Spring Harbor Laboratory Press.
- Torrens, E., Villela, A., Suaréz-Díaz, E., & Barahona, A. (2015). *La biología desde la historia y la filosofía de la ciencia.* México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Watson, J., & Crick, F. (1953). The structure of DNA. *Cold Spring Harbol Symp Quant Biol*, 18, 123-131.
- Wellcome library. (s.f). Obtenido de <http://wellcomelibrary.org/collections/digital-collections/makers-of-modern-genetics/digitised-archives/gerard-wyatt/>

ANEXOS

ELEMENTOS	HERENCIA SEGÚN MENDEL.
Pregunta, hipótesis y preocupaciones	¿Cuál es la regularidad con la que aparecen las características en los híbridos?
Cuerpo teórico, explicaciones teóricas y conceptuales del fenómeno.	<p>Si se cruzan dos plantas que difirieren en uno o varios caracteres, los caracteres comunes se transmiten sin cambio a los híbridos y a su progenie</p> <p>Cada par de caracteres diferentes se unen en el híbrido para formar un nuevo carácter, que en la progenie de híbrido es generalmente variable. Lo que se refiere a cada una de los siete cruces el carácter del híbrido se parece tanto a una de las formas de los padres que la otra escapa de observación o no puede distinguirse con certeza.</p> <p>Los caracteres que se transmiten enteramente o sin cambio de la hibridación: dominantes</p> <p>Los caracteres que quedan latentes: recesivos. Caracteres que se retraen o desaparecen enteramente en los híbridos, pero que pueden reaparecer.</p> <p>En la primera generación aparece el carácter recesivo con proporción de 3 a 1. Para las 7 características.</p> <p>No se observan formas de transición.</p> <p>Las formas que en la primera generación presentan el carácter recesivo, no varían en la segunda generación.</p> <p>Hasta la cuarta generación, se evidencia que la regla se mantiene.</p> <p>Experimento para varios caracteres diferenciados.</p> <p>Indiferente que el carácter dominante pertenezca al progenitor portador de semilla o de polen</p> <p>La progenie de los híbridos en los que hay combinados varios caracteres esencialmente distintos presenta los términos de una serie de combinaciones en las que están unidas las series evolutivas de cada par de caracteres diferentes.</p>

	<p>La relación de cada par de caracteres diferentes de la unión híbrida es independiente de otras diferencias de las dos razas paterna originales.</p> <p>Los caracteres constantes que aparecen en las distintas variedades de un grupo de plantas pueden obtenerse en todas las asociaciones que son posibles según las leyes matemáticas de combinación mediante fertilización artificial.</p> <p>Experimento de Células reproductoras de los híbridos.</p> <p>La progenie constante solo puede formarse cuando una célula huevo y la célula polen son del mismo carácter, es decir cuando poseen el mismo material.</p> <p>Pues que en una planta se producen varias formas constantes o incluso en una flor, de una planta, parece lógica la conclusión de que en los ovarios de los híbridos hay formadas tantas clases de células huevo y en las anteras tantas clases de células polen como las posibles formas de combinación constante, y que estas células huevo y polen coinciden en su composición interna con las de las distintas formas.</p>
Antecedentes	<p>Las plantas ornamentales cruzadas anteriormente, ya habían puesto de evidencia que los híbridos no eran exactamente intermedios de las especies paternas. Trabajos de Unger sobre el cambio de los organismos. Mejoramiento en plantas e hibridología</p>
Ontología del cuerpo teórico.- Elementos que delimitan que determinan al fenómeno	<p>Los caracteres se distribuyen de manera equitativa entre los padres. Estos caracteres se segregan de manera independiente. Células huevo y células polen</p>
Campo de aplicación, fenómeno de estudio	<p>Herencia, evolución, mejoramiento en plantas.</p>

<p>Metodología, instrumentos y técnicas.</p>	<p>Fertilización artificial: se abre la yema antes de que esté perfectamente desarrollada, se quita la quilla y se saca cuidadosamente cada estambre por medio de pinzas, después de lo cual puede espolvorearse el estigma con el polen distinto.</p> <p>Caracteres del 1 experimento.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Diferente forma de las semillas maduras (P. quadratum) • Diferencia de color en el albumen de la semilla (endospermo) • Diferencia de color en la envoltura de la semilla. • Diferencia de forma de las vainas maduras (P. saccaratum) • Diferencia de forma de las vainas no maduras • Diferente situación de las flores. (ubicación) (P. umbellatum) • Diferente longitud de tallo. <p>Cada dos de los caracteres diferenciadores se unieron por fecundación cruzada.</p> <p>Experimento para varios caracteres diferenciados.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Coger plantas paternas que difieren de forma de semilla y color de albumen. 2. Forma de semilla y color de albumen y color de envolturas de la semilla. <p>Plantas ornamentales, vigorosas, con las siguientes características, (Leguminosae por su característica flor) Pisum cumple todas las características.</p> <p>Poseer caracteres diferenciadores y constantes.</p> <p>Los híbridos de las plantas deben estar protegidos de la influencia de todo polen. (si pasase, conduciría a conclusiones erróneas)</p> <p>Observación de los híbridos y los padres.</p>
---	--

ELEMENTOS	HERENCIA SEGÚN MORGAN
<p>Pregunta, hipótesis y preocupaciones</p>	<p>Aplicabilidad de las leyes de Mendel. Teorías sobre la mutación de Hugo de Vries ¿Qué es el factor?</p>

<p>Cuerpo teórico, explicaciones teóricas y conceptuales del fenómeno.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Los factores de Mendel están dentro de los cromosomas, y estos explican el mecanismo de herencia de las leyes de Mendel. • El esperma de cada especie de animal o planta lleva un número definido de cromosomas. El huevo tiene el mismo número. En consecuencia, cuando el espermatozoide se une con el huevo, el huevo fertilizado contendrá el número doble de cromosomas. Para cada cromosoma aportado por el espermatozoide hay su correspondiente cromosomas de cada clase, que juntos constituyen un par. <p>Cuando las divisiones de huevo, cada cromosoma se divide en dos cromosomas, y estos dos cromosomas hija el movimiento de diferencia, ir a los polos opuestos de la célula en división.</p> <p>Así, el comportamiento de los cromosomas es paralelo al comportamiento de las unidades mendelianas, en la célula germinal cada unidad derivada del padre se separa de la unidad derivada de la madre. Estas unidades serán en lo sucesivo factores; los dos factores de un par se denominan alelomorfos el uno del otro. Su separación en las células germinales se denomina segregación.</p>
<p>Antecedentes</p>	<p>Sutton-De Vries-leyes mendelianas de la herencia. Bateson y Punnett, acoplamiento gametico. Weissman</p>
<p>Ontología del cuerpo teórico.- Elementos que delimitan que determinan al fenómeno</p>	<p>Células sexuales, factores que están contenidos dentro de los cromosomas. Reestructuración del factor. Teoría celular</p> <p>El germoplasma debe, por lo tanto, estar compuesto de elementos de algún tipo. Son estos elementos a los que llamamos factores genéticos o más brevemente genes.</p>
<p>Campo de aplicación, fenómeno de estudio</p>	<p>Herencia, mutaciones. Teoría celular</p>

Metodología, instrumentos y técnicas. Pregunta, hipótesis y preocupaciones	<p>En 1909 Morgan observo una mosca con una extraña mutación a la que llamo "ojos blancos", el color blanco de sus ojos era distinto al normal que es rojo. Morgan realizaba sus observaciones al microscopio y pudo ver que era un macho y lo uso como semental para observar el comportamiento del color de los ojos de generación en generación.</p> <p>Toda la descendencia de este cruce resulto con ojos de color rojo, lo que llevo a Morgan a pensar en que no podía haber desaparecido el color blanco, razón por la cual decide realizar cruces entre las moscas hijas, donde encontró moscas nietas "machos de ojos blancos".</p> <p>Esta decisión también le simplificó su presupuesto: estas moscas se pueden cultivar en frascos de vidrio y añadirles simplemente trozos de plátano dentro.</p>
	Microscopio de disección, moscas

ELEMENTOS	HERENCIA SEGÚN SUTTON
Pregunta, hipótesis y preocupaciones	<p>¿Cuáles son las bases físicas de las leyes de Mendel? ¿ Qué comportamiento tienen los cromosomas cuando se dividen en las células sexuales y somáticas</p>
Cuerpo teórico, explicaciones teóricas y conceptuales del fenómeno.	<p>Se puede ver mejor y estudiar mejor los cromosomas en la metafase</p> <p>He tratado de demostrar que los once cromosomas ordinarios que entran en el núcleo de cada espermatide se seleccionan uno de cada de los once pares, que constituían la serie doble de la espermatogonias.</p> <p>Ahora se hace una pregunta muy interesante si existe en el huevo maduro una serie graduada de cromosomas similares a la del elemento macho maduro.</p> <p>La copulación de dichos núcleos de fecundación restablecería las condiciones que hemos encontrado no sólo en las células germinales tempranos pero en algunos fuera de la línea de sucesión.</p> <p>De serie, existen dos tipos de espermatozoides. Obviamente, entonces, el número de cromosomas en la escisión-núcleo del óvulo fecundado (Veintidós o veintitrés) debe depender del número de introducido en el esperma-núcleo, ya que este último contiene ya sea once o doce, según que el cromosoma accesorio está ausente o presente. Ahora veintitrés</p>

es el número de cromosomas en el varón las células, mientras que veintidós es el número que he encontrado en las células femeninas, y por lo tanto parece que encontramos una confirmación de McClung de sugerencia que el cromosoma accesorio es de alguna manera de que se trate en el determinación del sexo.

Un cromosoma puede existir sólo en virtud de descenso directo por división longitudinal de un cromosoma preexistente y que los miembros del grupo de oso hija entre sí las mismas relaciones respectivas al igual que los del grupo madre en otra Es decir, que el cromosoma en *Brachystola* es un individuo morfológico distinto. Esta conclusión plantea inevitablemente la cuestión de si existe también una individualidad fisiológica, es decir, si los cromosomas representan, respectivamente, diferentes series o grupos de calidades o si se dé una acumulación meramente diferentes tamaños del mismo material y, por lo tanto, cualitativamente iguales.

Cada célula fertilizada debe tener los cromosomas de cada uno de los padres.

Cuando los dos copulan, por lo tanto, en sinapsis toda la base de la cromatina de una cierto conjunto de calidades heredadas de los dos padres se localiza a la primera y única vez en una sola masa de cromatina continua; y cuando está en la segunda división de espermatofitos, las dos partes son de nuevo separados, uno se entera a cada contribuyente poste a la nuera células del grupo correspondiente de las calidades de la paterna o el materna de valores como sea el caso.

Hay, por lo tanto, en *Brachystola* hay división cualitativa de cromosomas pero sólo una separación de los dos miembros de un par que, mientras que la coexistencia en un solo núcleo, pueden considerarse el control conjunto de ciertas porciones restringidas del desarrollo del individuo. A la luz de esta concepción nos da la posibilidad de ver una explicación de ese proceso hasta el momento problemático, sinapsis, en el disposición que hace que los dos cromosomas que representa el mismos caracteres específicos en ningún caso entrar en el núcleo de un solo espermátide o óvulo maduro

Antecedentes	Leyes mendelianas de la herencia. Teoría celular.
Ontología del cuerpo teórico.- Elementos que delimitan que determinan al fenómeno	La asociación del material materno y paterno se encuentra en los cromosomas, las cuales se disponen en pares, luego de su separación (meiosis, división reductora). Indica las bases físicas de las leyes de la genética mendeliana
Campo de aplicación, fenómeno de estudio	Herencia, teoría celular.
Metodología, instrumentos y técnicas	Microscopio. Tinción, gran cantidad de saltamontes

ELEMENTOS	GRIFFITH
Pregunta, hipótesis y preocupaciones	Cómo los distintos tipos de cepas de la bacteria <i>Streptococcus pneumoniae</i> pueden o no causar neumonía en los humanos. Búsqueda de una vacuna contra la neumonía.
Cuerpo teórico, explicaciones teóricas y conceptuales del fenómeno.	Principio transformador de la cepa S a la cepa R'. Existe una sustancia que se traspa entre las bacterias y que tiene la capacidad de transformar su composición orgánica como orgánmica. La transformación de bacterias se da por evolución adaptativa frente a algún agente externo. La bacteria letal tiene algún tipo de mecanismo viral. Varias hipótesis se han avanzado en la explicación de la naturaleza de los cambios inducidos En su descripción original del fenómeno Griffith sugirió que las bacterias muertas en el inóculo podrían proporcionar algún proteína que sirve como un "pabulum" y permite a la forma R fabricar un carbohidrato capsular.
Antecedentes	Tratamiento de tuberculosis

Ontología del cuerpo teórico, elementos que delimitan que determinan al fenómeno	PRINCIPIO TRANSFORMADOR
Campo de aplicación, fenómeno de estudio	Medicina, Epidemiología, Herencia (no directamente) El DNA puede re naturalizarse y esta bacteria recibe DNA exterior(transformación)
Metodología, instrumentos y técnicas.	<p>Cepas con variantes S y R. Variedad que se diferencia por ser virulenta o no. Cepa S (virulenta). Capsula lisa y con capa de polisacáridos Cepa R: Capsula rugosa Streptococcus pneumoniae,</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. El calor destruye la cepa S 2. Mezclo la cepa S muerta de calor y la cepa R viva. La inyectó a ratones de laboratorio, Los ratones murieron. 3. Aisló las bacterias mezcladas del corazón de los ratones. Observó que todas tenían capsula lisa y polisacáridos 4. Calentó la cepa virulenta y la inyectó a los ratones, ellos no murieron. <p>Bacterias. Medios de cultivos, ratones, aislamiento de cepas, mezcla de cepas,</p>

ELEMENTOS	AVERY, MACLEOD, MCCARTY
Pregunta, hipótesis y preocupaciones	¿Cuál es la estructura química del principio transformador entre los tipos de bacterias de la neumonía?

<p>Cuerpo teórico, explicaciones teóricas y conceptuales del fenómeno.</p>	<p>Enzimas, transformación bacteriana, los genes están hechos de ácidos nucleicos Aislamiento de sustancia transformadora. Separación del organismo a sus moléculas implicadas en la transformación. Por supuesto, es posible que la actividad biológica de la sustancia descrita no sea una propiedad inherente del ácido nucleico, sino que se deba a cantidades diminutas de alguna otra sustancia adsorbida a la misma o tan íntimamente asociada a ella como para escapar de la detección. Sin embargo, si la sustancia biológicamente activa aislada en forma altamente purificada como la sal de sodio del ácido desoxirribonucleico demuestra ser el principio transformante, como la evidencia disponible sugiere fuertemente, entonces los ácidos nucleicos de este tipo deben considerarse no solo como estructuralmente importantes, sino también como funcionalmente activo para determinar las actividades bioquímicas y las características específicas de los cielos neumocócicos. Suponiendo que el desoxirribonucleato sódico y el principio activo son una y la misma sustancia, entonces la transformación descrita representa un cambio químicamente inducido y específicamente dirigido por un compuesto químico conocido. Si se confirman los resultados del presente estudio sobre la naturaleza química del principio de transformación, se debe considerar que los ácidos nucleicos poseen especificidad biológica cuya base química aún no está determinada.</p>
<p>Antecedentes</p>	<p>GRIFFITH. Dawson, enzimología.</p>
<p>Ontología del cuerpo teórico, elementos que delimitan que determinan al fenómeno</p>	<p>Principio transformador de DNA. Principio transformador, ácido desoxirribonucleico se encuentra dentro de las células de Pneumococos.</p>
<p>Campo de aplicación, fenómeno de estudio</p>	<p>Inmunología, medicina, bacteriología.</p>

Metodología, instrumentos y técnicas.	Transformación del neumococo in vitro. Las transformaciones nunca se dan naturalmente. S__ R Métodos de aislamiento y purificación del principio transformador Análisis químico de la sustancia purificada, cantidades de nitrógeno, fósforo, carbono, hidrógeno Análisis enzimático Tripsina, Quimotripsina, y Ribonucleasa No efecto en el Transformando principio Es otra prueba de que esta sustancia no es ribonucleico Ácido o un proteína
	Medios de cultivo, centrifugación, análisis enzimático, aislamiento de enzimas, inactivación de actividad del principio transformador, purificación.

ELEMENTOS	HERENCIA SEGÚN HERSHEY AND CHASE
Pregunta, hipótesis y preocupaciones	Herencia, la transmisión de DNA Mutación viral
Cuerpo teórico, explicaciones teóricas y conceptuales del fenómeno.	Una partícula de bacteriófago T2 se une a una célula bacteriana, la mayor parte del ADN del fago entra en la célula, y un resto que contiene al menos el 80 por ciento de la proteína que contiene azufre del fago permanece en la superficie celular. Este residuo consiste en el material que forma la membrana protectora del artículo de fago en reposo, y no desempeña ningún papel adicional en la infección después de la unión del fago a la bacteria. Estos hechos dejan en cuestión la posible función del 20 por ciento de proteína que contiene azufre que puede o no entrar en la célula. Encontramos que poco o nada de él se incorpora a la progenie de la partícula infectante y que al menos parte de ella está constituida por material adicional similar al residuo que se puede demostrar que permanece extracelular. El fósforo y la adenina (Watson y Maalley, 1952) derivados del ADN de la partícula infectante, por otra parte, son transferidos a la progenie del fago en una extensión considerable e

	<p>igual. Se infiere que la proteína que contiene azufre no tiene función en la multiplicación de fagos, y que el ADN tiene alguna función.</p> <p>Los experimentos muestran claramente que es posible una separación física del fago T2 en partes genéticas y no genéticas. Se observa una separación funcional correspondiente en la independencia parcial del fenotipo y del genotipo en el mismo fago (Novick y Szilard, 1951, Hershey et al., 1951). La identificación química de la parte genética debe esperar, sin embargo, hasta que se hayan respondido a algunas de las preguntas planteadas anteriormente.</p> <p>La progenie del fago producida por bacterias infectadas con fagos marcados con azufre radioactivo contiene menos del 1 por ciento de la radiactividad parental. La progenie de las partículas de fago marcadas con fósforo radioactivo contiene el 30 por ciento o más del fósforo parental.</p> <p>La proteína que contiene azufre de las partículas de fago en reposo se limita a una capa protectora que es responsable de la adsorción a las bacterias, y funciona como un instrumento para la inyección del ADN del fago en la célula. Esta proteína probablemente no tiene ninguna función en el crecimiento del fago intracelular. El ADN tiene alguna función. Las inferencias químicas adicionales no deben ser extraídas de los experimentos presentados.</p>
Antecedentes	
Ontología del cuerpo teórico, elementos que delimitan que determinan al fenómeno	DNA y Proteína viral
Campo de aplicación, fenómeno de estudio	Herencia, la transmisión de DNA Mutación viral

Metodología, instrumentos técnicas.	y T2h significa uno de los mutantes de la gama de huéspedes de T2; Medios de fago UV. Fago irradiado con luz ultravioleta de una lámpara germicida hasta una supervivencia fraccionada de 10^{-5} . Bacterias sensibles significa una cepa (H) de Escherichia coli sensible a T2 y su H mutante; Bacterias resistentes B / 2 significa una cepa resistente a T2 pero sensible a su H mutante; Bacterias resistentes B / 2h significa una cepa resistente a ambos.
	Técnicas de análisis químico Marcación radioactiva Reproducción bacteriana en caldos preparados