

## **LA HERENCIA: DE LA CUESTIÓN DE LO EVIDENTE HASTA EL MODELO PARA SU COMPRENSIÓN**

### ***THE INHERITANCE: FROM THE QUESTION OF THE EVIDENT TO THE MODEL FOR ITS UNDERSTANDING***

Viviana Caicedo<sup>1</sup>

Bibiana Ariza<sup>2</sup>

#### **Resumen**

Para la comprensión del campo sobre la herencia es necesario, no solo reconocer una forma de explicación, sino reconocer cada una de las áreas sobre las cuales la herencia ha sentado sus bases, teniendo en cuenta que el aporte desde cada una ellas han partido desde distintas perspectivas, preocupaciones y contextos. Desde el interés como docentes en ciencia existe una preocupación por la reducción en la enseñanza de este campo de conocimiento al modelo de la doble hélice o a la genética mendeliana, por esta razón realizar un rastreo histórico y epistemológico del desarrollo de la teoría de la herencia, permite la reconstrucción de tensiones en el desarrollo de cada modelo explicativo, con el fin de establecer diferencias claras de acuerdo con su construcción inicial en conceptos como: *gen*, *cromosoma*, *alelo*. Por medio del análisis histórico y epistemológico del conocimiento sobre la herencia y elaborados a partir de la Unidad Básica de Estany se organizan tres criterios que se asumen como trascendentales: *la genética mendeliana*, *la teoría cromosómica* y *la biología molecular*. Basados en dichos criterios 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, 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.



<sup>1</sup> Licenciada en Biología de la Universidad Pedagógica Nacional. Egresada de maestría en docencia de las ciencias naturales de la Universidad Pedagógica Nacional. Correo: [viviana.caicedo3@gmail.com](mailto:viviana.caicedo3@gmail.com)

<sup>2</sup> Licenciada en Química de la Universidad Pedagógica Nacional. Egresada de maestría en docencia de las ciencias naturales de la Universidad Pedagógica Nacional.

**Palabras clave:** *Herencia, mendelismo, modelo de la doble hélice, enseñanza de las ciencias, historia y epistemología de las ciencias.*

### **Abstract**

In order to understand the field of inheritance, it is necessary not only to recognize a form of explanation, but also to recognize each one of the areas on which inheritance has laid its foundations, bearing in mind that the contribution from each of them has started from different perspectives, concerns and contexts. From the interest as teachers in science there is a concern for the reduction in the teaching of this field of knowledge to the model of the double helix or to Mendelian genetics, for this reason make a historical and epistemological trace of the development of the theory of heredity, allows the reconstruction of tensions in the development of each explanatory model, in order to establish clear differences according to its initial construction in concepts such as: gene, chromosome, allele. By means of the historical and epistemological analysis of the knowledge about heredity and elaborated from the Basic Unit of Estany three criteria are organized that are assumed as transcendental: Mendelian genetics, chromosomal theory and molecular biology. Based on these criteria, six specific explanatory proposals are addressed: Mendel, Sutton, Morgan, Griffith, Avery, Hershey and Chase, Watson and Crick, who demonstrate that depending on interests, context and time, the explanations built to account for heredity diverge or converge according to the historical analysis of scientific development on the transmission of hereditary traits.

**Key words:** *Inheritance, mendelism, double helix model, science teaching, history and epistemology of science.*

### **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. Mucho de este entendimiento requiere de la artificialización de la naturaleza, es decir, que se accede a ella a través de modificaciones o modelizaciones y delimitaciones que tratan de organizar en fenómenos las preguntas y preocupaciones que aparecen en el



humano al momento de dar explicaciones sobre lo que observa en el mundo natural.

En este sentido, la comprensión de lo viviente, específicamente el fenómeno de la herencia, pasa por distintos niveles de entendimiento que se encuentran desde lo observable y lo inmediato a la percepción humana, basado en las concepciones culturales del momento, hasta alcanzar otros niveles explicativos más complejos, que evitan y eliminan la ambigüedad explicativa. Entre estos últimos niveles, es necesario el diálogo entre las distintas ciencias, como lo es la Biología y la Química, para complementar el estudio de la herencia. Inicialmente, dicho fenómeno se pensaba y estudiaba desde lo evidente, dando paso a la necesidad de explicaciones basadas en seres creadores o materias inexplicables que tenían vida propia; sin embargo, dichas percepciones fueron siendo reemplazadas por células, moléculas y partículas. Esta convergencia entre la Biología y la Química en la explicación de la herencia, logró establecer, a través de muchos experimentos y observaciones, que la sustancia heredable consta de algo material considerado desde la química como la molécula del ADN.

De tal modo, la necesidad de integrar técnicas, protocolos, métodos, entre otros, en el estudio de la herencia se hace indispensable para otorgar de entidad a lo que permite a todos los seres vivos, evolucionar, reproducirse y mantener una gran diversidad de formas y organizaciones. Sin embargo, para que se estableciera el modelo químico de la estructura de la "sustancia hereditaria", se propusieron, a través de distintos objetos, explicaciones de las posibles formas en cómo este fenómeno sucede cada instante en los organismos. Se establece entonces una diferencia entre abordar la herencia desde, lo que llamaremos, una organización de primer nivel, estudiada por anatomistas, o abordar este fenómeno desde el segundo nivel, referido a formas y propiedades. Y finalmente abordar la explicación desde una concepción de mundo vivo distinto, un tercer nivel referido a un mundo molecular inaccesible, imperceptible a los sentidos humanos, a la primera observación.

Es así que, reconociendo los niveles por los que son necesarios adentrarse en el entendimiento de la herencia, se plantea la necesidad de realizar un análisis histórico y epistemológico del desarrollo de dicho fenómeno como campo de relevancia para la biología molecular, que 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, cromosoma, proteína, genotipo y fenotipo, según los distintos enfoques en los cuales se han abordado como elementos para entender y explicar la herencia.

A través de una posición crítica y reflexiva desde el área que se enseña, la profundización teórica y el análisis de los resultados más relevantes realizados por distintos científicos a lo largo de cierto periodo, proporcionará elementos indispensables y rigurosos en el diseño de estrategias alternativas que favorezcan la enseñanza de conceptos científicos, considerando el estudio detallado y crítico de las teorías expuestas en fuentes primarias. De esta forma ha de ser posible promover una concepción de ciencia distinta donde no se trata de una construcción terminada y como verdad absoluta, sino que evoluciona y da respuestas a las necesidades del contexto.



## **Metodología**

Se muestra el trabajo de profundización teórica frente a las concepciones de la herencia biológica, así como la reflexión del campo de estudio desde la condición de maestros de ciencias, con el fin de establecer y proponer alternativas para la enseñanza de este concepto en estudiantes de básica secundaria y media. El desarrollo del mismo corresponde a tres etapas principales.

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.

Al respecto para la construcción del 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 (tabla 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.

Para el segundo momento, se seleccionaron tres temáticas 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).



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

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



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 *ilustración 1* 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.

Al respecto para la construcción del 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 (tabla 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.*

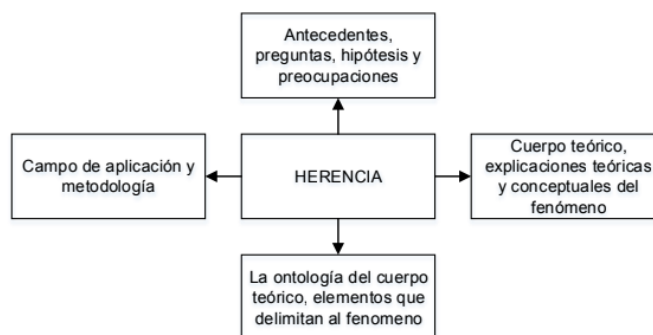


Ilustración 1. Criterios de análisis derivados de la unidad básica de Estany (1990).

En términos generales, la metodología empleada para este estudio es propia de la investigación cualitativa con un carácter interpretativo según 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.

## Resultados y discusión

Se muestra una matriz a partir de la cual se ponen en diálogo las teorías sobre la herencia, realizando dos acciones: una lectura de manera vertical que permite obtener de manera detallada la descripción del trabajo del autor mencionado y dos, la lectura horizontal en la que es posible hallar las convergencias y divergencias que se presentan, que se conserva o que se deja atrás en cuanto al desarrollo histórico de la herencia.



Tabla 2. Sección de la matriz de análisis sobre la herencia. Fuente. Autoras.

Criterios	Herencia según Mendel.	Herencia según Morgan	Herencia según Sutton	Griffith	Avery, macleod, mccarty	Herencia según Hershey and chase
<b>Antecedente, pregunta, hipótesis y/o preocupaciones</b>	¿Cuáles son las leyes que rigen la notable regularidad de aparición de formas de híbridos siempre que la fertilización se realiza en las mismas condiciones?	Aplicabilidad de las leyes de Mendel. Teorías sobre la mutación de Hugo de Vries ¿Qué es el factor?	¿Cuáles son las bases físicas de las leyes de Mendel? ¿Qué comportamiento tienen los cromosomas cuando se dividen en las células sexuales y somáticas.	¿Cómo los distintos tipos de cepas de la bacteria <i>Streptococcus pneumoniae</i> pueden o no causar neumonía en los humanos? Búsqueda de vacuna contra la neumonía.	¿Cuál es la estructura química del principio transformador entre los tipos de bacterias de la neumonía?	Herencia, la transmisión de DNA mutación viral.
<b>Ontología del cuerpo teórico. Elementos delimitan y determinan al fenómeno</b>	Caracteres separados. Células huevo y células polen.	Células sexuales, factores que están contenidos dentro de los cromosomas. Teoría celular.	Cromosomas son independientes en pares, se separan en la meiosis. Cromosoma mas unidades de la herencia. Ley de la segregación de Mendel.	Principio transformador	Principio transformador de DNA. Principio transformador, ácido desoxirribonucleico.	DNA y proteína viral
<b>Metodología, instrumentos y técnicas.</b>	Fertilización artificial. Experimento para varios caracteres diferenciados.	Modelo estructural de la disposición lineal de los genes en los cromosomas. Entrecruzamiento o ( <i>Crossing Over</i> ) estudio de los mutantes de ojos blancos. Bridges mutaciones mediante radiación.	Se puede ver mejor y estudiar mejor los cromosomas en la metafase. Análisis micrográfico de los cromosomas. Microscopio. Tinción, gran cantidad de saltamontes.	Cepas con variantes s y r. Variedad que se diferencia por ser virulenta o no. Cepas (virulenta). Cápsula lisa y con capa de polisacáridos cepa r: cápsula rugosa neumonía. Bacterias. Medios de cultivos, ratones, aislamiento de cepas, mezcla de cepas.	Transformación del neumococo in vitro. Métodos de aislamiento y purificación del principio transformador. Medios de cultivo, centrifugación, análisis enzimático, aislamiento de enzimas, inactivación de actividad del principio transformador, purificación.	Bacterias sensibles significa una cepa (h) de <i>Escherichia coli</i> sensible. Técnicas de análisis químico. Marcación radioactiva reproducción bacteriana en caldos preparados.



### Convergencias y divergencias en la constitución de la herencia como problema de conocimiento en biología.

La principal preocupación de Mendel era ¿Cuál es la regularidad con la que aparecen las características en los híbridos? Él 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 continua, 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.

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. 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.

Paralelamente, 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. Griffith desarrollaba en su laboratorio una vacuna 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. en términos de mutaciones. 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 nucléico; cabe resaltar que esta sustancia ya había sido aislada por Miesher.

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 ADN.

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 necesarias 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.

## Conclusiones

- 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.
- Dentro de la profundización de los conceptos *gen*, *alelo*, *cromosoma* y *factor* se encontró que El fundamento ontológico del cuerpo teórico que expone Mendel se basa en unidades denominadas elemento, término que acuña para explicar ese algo que se pasaba de generación en generación en la manifestación de un carácter. 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.

- Johanssen en 1909 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. La palabra gen, surgió como un concepto análogo para resumir lo que consideraba De Vries sobre los factores de Mendel. Hasta Flemming, los cromosomas solo se consideraban parte del núcleo los cuales no tenían una función definida. 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, pues resulta muy interesante la interpretación de los factores en donde es posible identificar claramente una transición entre una entidad matemática (Mendel) y una entidad material (cromosomas).
- Los años siguientes, el área de la bioquímica será la encargada de precisar la naturaleza física del gen morganiano. 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, permitiendo afirmar que el soporte físico a los genes es el ADN es el que modifica a los organismos.



## Bibliografía

- ALLEN. G. (1983). La Ciencia de la Vida en el Siglo XX. México: Fondo de cultura económica.
- AVERY, O., MACLEOD, C., & MCCARTY, M. (1944). Studies on the chemical nature of the substance inducing transformation of pneumococcal types. *Journal of medicine*, 79(2), 137-158.
- BARAHONA, A. (2007). De los genes como unidades fisiológicas a la construcción de los mapas genéticos. In E. Suarez. México D.F: Editorial Limusa.

- BURGOS, J y HERNÁNDEZ, S (2016) ¿por qué los hijos se parecen a sus padres? una mirada desde la herencia biológica. (Tesis de maestría) Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá, Colombia.
- ESTANY, A. (1990). Modelos de cambio científico. Barcelona, España: Crítica.
- GIORDAN, A, Host, V, Tesi, D & Gagliardi, R (1988). Los cromosomas y los genes. Conceptos de biología 2. (97-153) Madrid, España: Labor
- GIRALDO, G (2010) Enseñanza aprendizaje del concepto de síntesis de proteínas en educación secundaria rural. Tesis de maestría en enseñanza de las ciencias naturales. Universidad Nacional de Colombia.
- HERNÁNDEZ, R., FERNÁNDEZ, C., & Baptista, M. d. (2010). Metodología de la Investigación. México: McGraw Hill.
- HERSHEY, A y CHASE, M. (1952) Independent functions of viral protein and nucleic acid in growth of bacteriophage. *The Journal of General Physiology*. 36 (1), 39-56. DOI: 10.1085/jgp.36.1.39
- JACOB, F. (1970). La lógica de lo viviente. Tusquets. España: Metatemas.
- JACOB, F. (2005). *El ratón la mosca y el hombre*. México D.F: Universidad autónoma metropolitana. Plaza y Valdés.
- MENDEL, G. (1865) Experimentos de hibridación en plantas. En J. Newman, SIGMA el mundo de las matemáticas. (pp. 226-315) Barcelona, España: Grijalbo.
- MAYR, E. (2015). La naturaleza de la herencia. In E. Torrens, A. Vilella, E. Suarez, & A. Barahona, *La biología desde la historia y la filosofía de la ciencia* (pp. 409 -451). México.
- MCCARTY, M. (1988). *El principio transformador. Cómo se descubrió que los genes estaban hechos de DNA*. Barcelona: Reverté.
- MORGAN, T. (1909). What are "factors" in Mendelian Explanations? *American Breeders Association Reports*. Retrieved 04 1, 2017, from <http://www.esp.org/foundations/genetics/classical/thm-09.pdf>
- MORGAN, T. (1917). Theory of gene. *The american naturalis*, 513-544.
- MORGAN, T., Sturtevant, A. H., Muller, H. J., & Bridges, C. B. (1915). *The Mechanism of Mendelian Heredity*. New York: Henry Holt and Company.
- 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. 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>
- SUTTON, W. S. 1902. On the morphology of the chromosome group in *Brachystola magna*. *Biological Bulletin*, 4:24-39. Recuperado de <http://dev.esp.org/foundations/genetics/classical/wss-02.pdf>
- WATSON, J & CRICK, F. (1953). The structure of DNA. *Cold Spring Harb Symp Quant Biol* 1953 18: 123-131

