

00322

67



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

LA REPRESENTACIÓN VISUAL EN LA CONSTRUCCIÓN DE LA TEORÍA DEL GEN DE THOMAS HUNT MORGAN

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

B I Ó L O G A

P R E S E N T A :

BLANCA ITZÚ GÓMEZ FIGUEROA

DIRECTOR DE TESIS: M. EN C. RICARDO NOGUERA SOLANO



FACULTAD DE CIENCIAS U.N.A.M.

MÉXICO, D.F., 2003



FACULTAD DE CIENCIAS SECCION ESCOLAR

TESIS CON FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

PAGINACION

DISCONTINUA



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DEL
PERÚ

DRA. MARÍA DE LOURDES ESTEVA PERALTA
Jefa de la División de Estudios Profesionales de la
Facultad de Ciencias
Presente

Comunicamos a Usted que hemos revisado el trabajo escrito:
LA REPRESENTACION VISUAL EN LA CONSTRUCCION DE LA TEORIA DEL GEN DE THOMAS HUNT
MORGAN.

realizado por GOMEZ FIGUEROA BLANCA ITZU

con número de cuenta 9350439-7, quién cubrió los créditos de la carrera de
BIOLOGIA.

Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio.

Atentamente

Director de Tesis	M. EN C. RICARDO NOGUERA SOLANO
Propietario	
Propietario	M. EN C. YOLANDA PAEZ SERNA
Propietario	M. EN C. ERENDIRA ALVAREZ PEREZ
Suplente	M. EN C. ALICIA VILLELA GONZALEZ
Suplente	M. EN C. ARTURO ARGUETA VILLAMAR

R. Noguera

[Firma]

[Firma]

[Firma]

[Firma]

Consejo Departamental de BIOLOGIA

[Firma]
M. EN C. JUAN MANUEL RODRIGUEZ CHAVEZ



FACULTAD DE CIENCIAS
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DEL PERÚ
DIVISIÓN DE ENSEÑANZA DE BIOLOGIA

Miguel Ángel Avilés: Te agradezco infinitamente el amor que me diste durante cada paso que di en este trabajo. Agradezco que no sólo hayas sido mi esposo, si no que también fueras mi amigo, mi confesor, mi terapeuta, mi maestro, mi guía, mi cuate. Fuiste tantas cosas que no sé cómo agradecerte únicamente tu apoyo, sino tu infinita paciencia en este proceso, pues sabes que en principio me negué a creer que fuera posible y tú me ayudaste a confiar en mí, en mis palabras, en mi conocimiento. Pero ante todo te agradezco que me hayas ayudado ha asumirme como lo que soy: Bióloga.

Carlos y Blanca: Gracias por darme los más hermosos recuerdos que tengo de ustedes, despidiéndome y deseándome buen camino la primera vez que salí a experimentar lo que era ser biólogo. El tiempo ha pasado y miren, aquí estoy, dando el siguiente paso. Sé que estarán conmigo siempre para apoyarme como aquella primera vez. Dar este gran paso se los debo a ustedes que han sido mis padres, mis amigos, mis amores.

Silvia y Sandra: Gracias por la amistad y todos los buenos momentos que hemos pasado juntas. Saben, crecer junto a ustedes me ha dejado un sin fin de experiencias y hermosos recuerdos: toda una historia. Los momentos son irrepetibles y los que he vivido entre nosotras han sido inolvidables. Gracias nuevamente y sigamos como hasta ahora.

A todos, mi familia, mi pilar, mis cimientos, les agradezco infinitamente el estar ahí y el que sean como son. Los amo.

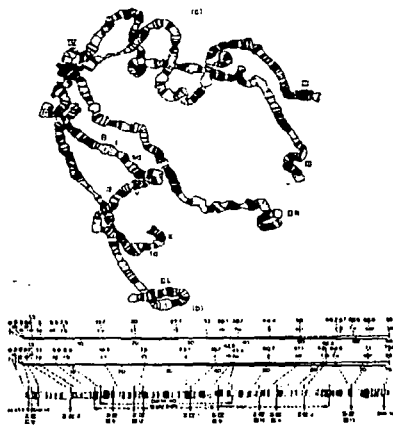
Mi agradecimiento a mis maestros, compañeros y amigos, con quienes compartí años de formación y de valiosas discusiones que influyeron positivamente para que llevara a feliz término mi carrera. Especialmente agradezco a Ricardo Noguera quien siempre estuvo conmigo para guiarme en el desarrollo de este trabajo y por hacer de mi sueño una realidad.

Con Ricardo León y Betzabé Morales estaré siempre en deuda. Gracias por ser grandes amigos y compañeros.

A mis sinodales Arturo Argueta, Yolanda Paes, Erendira Pérez y Alicia Villela mi más sincero agradecimiento por el valioso tiempo que me dedicaron y por sus atinadas observaciones y comentarios que me ayudaron a mejorar este trabajo.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Facultad de Ciencias



**LA REPRESENTACIÓN VISUAL EN LA CONSTRUCCIÓN
DE LA TEORÍA DEL GEN DE THOMAS HUNT MORGAN**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE BIÓLOGA

PRESENTA:

BLANCA ITZÚ GÓMEZ FIGUEROA

DIRECTOR DE TESIS: **M EN C. RICARDO NOGUERA SOLANO**

México, D.F., 2003

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

F

Hypotheses are nets: only he who casts will catch.

Novallis

There is nothing more necessary to the man of science than its history, and the logic of discovery... the way error is detected, the use of hypothesis, of imagination, the mode of tasting.

Lord Acton

For he that knows the way of nature will more easily observe her deviations: and on the other hand he that knows her deviations will more accurately describe her ways.

Francis Bacon, Novum Organum (1620)

LA REPRESENTACIÓN VISUAL EN LA CONSTRUCCIÓN DE LA TEORÍA DEL GEN DE THOMAS HUNT MORGAN

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN MÉTODO DE TRABAJO	<u>1-12</u>
1. LA PERCEPCIÓN COMO HERRAMIENTA EN LA CIENCIA	<u>13-35</u>
2. EL REDESCUBRIMIENTO DE LAS LEYES MENDELIANAS Y SUS REINTERPRETACIÓN POR THOMAS HUNT MORGAN	<u>36-66</u>
3. DE LA TEORÍA CROMOSÓMICA A LA TEORÍA DEL GEN	<u>67-142</u>
CONCLUSIONES	<u>143-150</u>
LISTADO DE IMÁGENES	<u>151-155</u>
OBRAS CONSULTADAS	<u>157-161</u>

... podríamos decir que desde que el sujeto incorpora las primeras letras del alfabeto hasta que termina escribiendo una tesis, va aprendiendo a administrar los recursos entrópicos del lenguaje.

Pablo Cazau, *La teoría del caos*

INTRODUCCIÓN

EN ESTE TRABAJO investigaré desde una perspectiva histórico-sincrónica los instrumentos teóricos (conceptos) y las formas de representación visual (imágenes) que Thomas Hunt Morgan (THM en adelante) concibió y desarrolló para establecer su teoría de la herencia. El análisis está focalizado en la representación como una herramienta que responde a dos niveles epistemológicos interdisciplinarios. El primero científico-metodológico para conceptualizar un objeto de estudio. El segundo como una interacción simbiótica entre el científico y el objeto para la visualización del concepto. Revisaré historiográficamente el desarrollo, reorganización y replanteamientos científicos que llevaron a THM a la producción de su propia teoría. Concretamente busco analizar la representación de la teoría de THM como una forma de entendimiento y creación de conocimiento.

La obra de THM está integrada por más de una veintena de artículos, numerosos ensayos y diversas publicaciones. Para enmarcar mi objeto de estudio, he delimitado dos tipos de corpus textuales: uno general y otro específico. A partir del *corpus* general examinaré el concepto de la herencia, las ideas generales sobre ella, sus mecanismos de transmisión y la naturaleza de la materialidad de la herencia; todo ello desde el punto de vista de THM. A su vez,

para delimitar el *corpus* de trabajo tomaré en cuenta sólo algunas de sus obras capitales las cuales más adelante mencionaré.

Una justificación metodológica para esta demarcación sería que dichas investigaciones no sólo condujeron a THM a reformular los principios sobre la herencia y los preceptos que le antecedieron; además fueron el fruto que le concedió la satisfacción de ser galardonado en 1933 con el Premio Nóbel de Medicina.

En lo subsiguiente, a partir de este *corpus* estudiaré la trayectoria del pensamiento de THM con relación al problema de la herencia y su visión materialista, analizando sobre esta base las representaciones que THM empleó en su literatura, y especialmente en su teoría del gen, considerada como uno de los pilares centrales de las ideas de la herencia biológica después de la revaloración de las propias leyes de Gregor Mendel.

Básicamente, mi hipótesis en este trabajo postula que THM se valió de ciertas representaciones para visualizar el material de la herencia; es decir, mediante la conformación de imágenes y modelos para entender el problema de la herencia y al mismo tiempo explicarlo. En consecuencia, la representación fue para THM un eslabón entre el objeto de su estudio y su conceptualización para fundamentar así su trabajo.

En general, la ciencia suele avanzar a través de un esfuerzo continuo y prospectivo, dirigido a la búsqueda y al establecimiento de modelos teóricos que

expliquen realidades físicas, químicas y biológicas ó simplemente mediante el descubrimiento fortuito y su interpretación. El camino no es fácil y requiere de un proceso insistente a partir de actores consistentes: desde el científico teórico que diseña el modelo y que debe explicar el fenómeno, hasta el investigador, que cuando aplica el modelo a la realidad encuentra desajustes difíciles de encajar. Pienso que la ciencia es, metafóricamente, una receta compleja, pues combina imaginación con realidad, sujeto-objeto, y se sazona con modelos que intentan explicar dicha combinación. En consecuencia, la ciencia no está hecha únicamente de descubrimientos, y aunque por lo general no sea aceptado, del mismo modo incluye muchos malos entendidos. A este respecto, me parece, a *posteriori*, que tal problemática no fue ajena al trabajo de THM, quien, de manera paulatina desarrolló su labor partiendo inicialmente de conceptos y formas esenciales (establecidas por otros científicos y replanteadas por él) para construir sus propuestas y concepciones sobre el material de la herencia. Así, por ejemplo, de manera análoga, con el resultado de los experimentos, el científico teórico puede modificar el modelo para que se ajuste más a la realidad (claro esta, la realidad desde el punto de vista de quien la percibe, o sea el sujeto -científico), la que a su vez comprobará con sus experimentos el científico experimental¹. Y así sucesivamente. Por otra parte, creo que la ciencia siempre tenderá a satisfacer las fantasías del hombre, y a pesar del desprestigio con que se trata a la imaginación dentro de la ciencia, como poco objetiva e irracional, en ocasiones, esas fantasías conducen a la formulación de teorías muy

¹ Andrés Ripio, *Las sutilezas de la ciencia*, p.1.

interesantes, que incluso pueden llegar a solventar problemas de gran importancia para la humanidad. Dicho de otra forma, y sólo de manera sucinta pues no es el propósito de este trabajo, considero un mito el argumento que excluye a la imaginación del campo científico. Tal vez la principal razón para mi punto de vista consiste en que la imaginación es una actividad creadora *sine qua non* y que dentro del método científico queda sujeta a sus leyes y controlada para sus propios fines de estudio beneficiando lejos de interferir o contaminar.

Así, para su manejo racional, la filosofía y la ciencia se presentan como historia, lo cual no quiere decir que sólo valgan como hechos históricos, y que el pensamiento del pasado sea sólo una reliquia que deba atesorarse. Significa que se dan dentro de la historia, y que sus diversas formas de pensamiento van más allá de la historia, a través de todas las épocas, conservando su validez y su verdad.² En ocasiones, el hombre suele pensar que el conocimiento generado y aceptado en el pasado es infalible y por lo tanto se convierte en su única respuesta. En este punto quiero enfatizar que en ocasiones se acepta como un hecho concluido o de facto los descubrimientos científicos y difícilmente se cuestionan o se reafirman posteriormente. No propongo un camino retrospectivo del quehacer científico pero sí una aproximación crítica a su *corpus* de conocimientos; una cuidadosa revisión que permita mejorar y perfeccionar nuestras teorías pues estas nunca son productos finales, acabados, estáticas o libres de reinterpretación. *Grosso modo*, lo antes mencionado sirve como recreación del proceso científico de THM, quien basándose en sus

² Ramón Xirau, *Introducción a la historia de la filosofía*, p. 11.

observaciones y conjeturas, formuló teorías o propuestas que lo llevarían aún más lejos de aquello que apenas y podía ver.

Sin embargo, sistematizar una teoría no es posible sin el empleo de la razón y la aplicación de un método. En este aspecto, los antiguos griegos demostraron tener un amplio grado de abstracción y racionalidad para formular y responder a diversas preguntas, tal y como lo hiciera en su tiempo Tales de Mileto, uno de los primeros filósofos que se preguntara cuál era el origen de todas las cosas. Tales de Mileto es sin duda un ejemplo de ese grado de abstracción y racionalidad. Y aunque sus afirmaciones ahora podrían ser discutidas por innumerables científicos, su pensamiento crítico marcó un momento crucial dentro del desarrollo de la filosofía y de la ciencia.³

Por su parte, como ya lo dijera alguna vez Platón, el mundo que habitamos está hecho de cambio. Todo cuanto nos rodea se encuentra en constante transformación. Los eventos y sucesos no son explicables por sí solos. ¿Cómo podría entenderse aquello que nos resulta contradictorio, aquello que a medida que se hace se va perdiendo hasta perecer o desaparecer? ¿Cómo definir lo pasajero si uno no puede fijarlo, siendo que ahora ya no es lo mismo que cuando se le trataba de definir en principio? Estos grandes filósofos permitieron al hombre cuestionarse y al hacerlo producir conocimientos. Al igual que Tales de Mileto y Platón lo hicieran algún día en la filosofía, THM lo haría debatiendo incluso a aquellos de gran prestigio que le antecedieron, revolucionando así a la

³ *Ibid.*, p. 26.

genética con sus ideas acerca de la transmisión y la variación de los individuos, a través de los mecanismos y el material de la herencia.

Actualmente para comprobar cualquier conjetura, la ciencia se vale del concepto de repetición, utilizado para expresar el fundamento de toda proporción inductiva, la cual, según la doctrina de David Hume sería la expresión de una repetición de casos. Al respecto Hume argumentaba:

Todas las ciencias tienen una relación mayor o menor con la naturaleza humana [...] Debemos marchar directamente hasta la ciencia capital o hacia el centro de estas ciencias, hacia la naturaleza humana misma; pues después de que la dominemos podemos esperar una victoria fácil. Después podremos extender nuestras conquistas a todas las demás ciencias [...] No hay una cuestión importante cuya decisión no dependa de ella; y no podremos decidir nada con certidumbre antes de que conozcamos esta ciencia, la ciencia de la naturaleza humana. Por ello, al pretender explicar los principios de la naturaleza humana, en realidad proponemos un sistema completo de ciencia, construido sobre una base social casi totalmente nueva, y la única en que puede sostenerse con seguridad [...] La ciencia del hombre es el único fundamento sólido para las demás ciencias.⁴

Era necesaria una renovación de la concepción de la investigación y percepción del mundo. Se trataba del desarrollo progresivo del Universo, estar conciente del movimiento y no de su pasividad o estatismo. Por lo tanto, la ciencia comenzó a ser parte importante de la vida de la humanidad. En este orden de ideas, la teoría del conocimiento o epistemología es una rama filosófica fundamental para la ciencia. Al respecto Dilthey⁵ opinaba: "Lo primero que debemos intentar es descubrir un objetivo común contenido en todos aquellos sistemas a cuya vista

⁴ David Hume, *Tratado de la naturaleza humana*, apud., Francisco Fernández Buey, en *Historia de la ciencia*, p. 5.

⁵ Autor de numerosos artículos y libros como *Introducción a las ciencias del espíritu*, *Ideas sobre una psicología descriptiva y analítica*, *Vivencia y poesía* y *Hombre y Mundo en los siglos XVI y XVII*. Estudió a la naturaleza bajo la óptica del mundo histórico-social. La influencia de Dilthey llegó al historicismo, la fenomenología y el existencialismo.

se constituyen todos aquellos sistemas de la filosofía".⁶ Este postulado se aplica a la ciencia contemporánea puesto que a través del tiempo se ha consolidado un sistema de producción de conocimiento -entiéndase método científico-, unificando sus criterios, sus técnicas y objetivos. Así, estos sistemas filosóficos que se orientaban en su totalidad al ser, a la esencia y al conocimiento, fueron creados por: Platón, Aristóteles, Descartes, Leibnitz, Kant y Hegel, entre otros. Aunado a lo anterior, desde mi punto de vista, existen ciertos modelos o esquemas que resultan ser sólo aproximaciones, como los diseños matemáticos, que se ajustan sólo a eso, a las matemáticas y al entendimiento del hombre que las creó. En consecuencia la evolución de la epistemología ha sido una pieza clave para la evolución misma del conocimiento científico⁷ pues replanteó el cómo la humanidad percibe al mundo. En esta línea de pensamiento la ciencia es una forma de percepción del mundo con su consecuente producción de conocimiento, ya sea físico, químico o biológico. Luego entonces la teoría del gen de THM es una forma de conocimiento de ese mundo perceptible. Además, THM al igual que otros científicos como Weissmann discutieron la existencia del material de la herencia o la sustancia como su causa. Al respecto Weissmann dijo:

⁶ Francisco Fernández Buey, *Historia de la ciencia*, p. 6.

⁷ En los sesentas Thomas Kuhn publicó su libro *Estructura de las revoluciones científicas*, le dio un nuevo giro a la filosofía de la ciencia. Entre sus ideas más importantes esta la de los paradigmas que cambian después de una crisis social, es decir, "dos individuos con paradigmas distintos, viven en mundos distintos". Esta nueva filosofía pone énfasis en el momento del descubrimiento, o sea, hace uso del análisis histórico-sociológico. Existen muchos autores (como Kuhn, Laudan, Lakatos, entre otros) que no pueden olvidarse de descubrimientos si se habla de la epistemología.

Mi propósito no es tratar todo el problema de la herencia, sólo ciertos aspectos —cómo la transmisión de caracteres adquiridos, lo cual hasta ahora, asumo que ocurrirá. Tomando este rumbo, quisiera decir que me fue imposible regresar a las bases de los fenómenos de la herencia, y determinar la sustancia mediante la cual se encuentran conectados. En mi opinión esta podría ser solo la sustancia de las células germinales; esta sustancia transfiere esta herencia de generación en generación, al principio sin cambio...⁸

La importancia de esta cita radica en que Weissmann planteó a finales del siglo XIX un problema que a principios del siglo XX aún continuaba sin respuesta. Sin duda tal antecedente influyó en THM, quien por su parte investigó la existencia de este material o sustancia responsable de la herencia. Como resultado THM encontró que los cromosomas constituyen al material de la herencia, y tiempo después encontraría al gen en los cromosomas como el responsable directo de la transmisión de caracteres de generación en generación. Es así que los aspectos que consideraré importantes para este trabajo serán aquellos conceptos que ayudaron a THM a conformar su teoría del gen.

El problema que THM abordaría con mucho más pasión sería la forma de transmisión de los caracteres y su variación, pero no así menos importante la materialización de la herencia a través de la evolución de la teoría cromosómica o cómo él la denominará en sus obras "la teoría del gen". En virtud de lo anterior la tesis principal que persigo en este trabajo es mostrar cómo las imágenes no sólo ayudaron a THM en la conformación de conceptos sino también cómo sustentaron su teoría, respaldándola y fortaleciéndola.

⁸ August Weissmann, *Essays Upon Heredity*, p. 69. La traducción es mía.

Método de trabajo

EN PRINCIPIO, para explicar la importancia del concepto de "herencia" dentro del trabajo de THM examinaré la historia de la filosofía, dirigiendo la mirada especialmente hacia algunos de los fenómenos de la representación, como lo perceptible - el esquema, el modelo, la espacialidad, la imagen, lo visual - y en general sobre aquello que el ojo humano puede constatar y plasmar como su realidad sensible. Empero, me enfocaré primordialmente en la construcción de la teoría del gen de THM y cómo se desarrollo a partir de la perspectiva de la representación. Para ello un segundo punto lo constituye el análisis de las imágenes y los esquemas utilizados por THM en la explicación de sus teorías. Así me adentraré en el conocimiento y en la percepción de un hombre que revolucionó la investigación en el campo de la genética. Para lo anterior, a la perspectiva filosófica sumo la historia de la filosofía de la ciencia, que en conjunto nos auxiliarán en lo relativo a la percepción y la construcción conceptual de la herencia. De esta manera abordaré el problema del material de la herencia tomando en cuenta los trabajos de THM (que mencionaré más adelante como el *corpus* general de este trabajo), en los cuales quedaron asentadas las bases para la molecularización de la herencia.

Dentro del primer capítulo revisaré la importancia de la percepción, de la representación y su papel en el análisis de esta investigación. En otros apartados de este mismo capítulo me dedicaré a explorar las bases de la

materialización de la ciencia y de la herencia. Recapitulando, los objetivos generales de este trabajo son:

1. Analizar la génesis de la teoría del gen de THM a partir de la revaloración de los postulados de la herencia, comparando sus trabajos desde un punto de vista histórico.
2. Estudiar cómo las imágenes y los modelos fueron utilizados en la formulación de la teoría del gen de THM, delimitando así el papel de la representación en sus obras.

Para lograr estos objetivos, en el capítulo primero mencionaré algunas de las referencias más importantes sobre la percepción, entendida esta como una herramienta indispensable para el planteamiento de conceptos científicos. Enseguida describiré brevemente cómo la idea de sustrato y/o materia llegó a formar parte integral de las ideas de THM. Más adelante analizaré la relación entre el concepto de la herencia de THM y la creación de modelos y esquemas, mediante la percepción o "alucinación controlada".⁹ Con todo lo anterior pretendo demostrar la influencia de algunos modelos en la explicación de la teoría cromosómica postulada por THM. Posteriormente, en el capítulo segundo mostraré cuáles fueron los avances de sus experimentos y formulaciones, analizando los primeros modelos con los que THM se apoyó. Para llevar a cabo este propósito, he delimitado el siguiente *corpus* específico:

⁹ Nos referimos a lo que algunos científicos como Jorge Wagensberg (2001) han denominado un "truco", que sustituye a la realidad de manera parcial para lograr el mejor entendimiento de las teorías o fórmulas.

1. *¿Qué son los factores en las explicaciones mendelianas?* [1909]
2. *Cromosomas y herencia.* [1910]
3. *Herencia ligada al sexo en Drosophila.* [1910]
4. *Simplicidad y adecuación en las fórmulas mendelianas.* [1913]

Con este *corpus específico* describiré cómo THM apreciaba en un inicio los mecanismos de la herencia mendeliana y cómo construyó sus ideas. Finalmente, como mencioné en la introducción a este trabajo, en el capítulo tercero y último analizaré tres de sus principales obras:¹⁰


1. *Los mecanismos de la herencia mendeliana* [*The Mechanism of Mendelian Heredity*, 1915].
2. *Las bases físicas de la herencia* [*The Physical Basis of Heredity*, 1919].
3. *La teoría del gen* [*The Theory of the Gene*, 1926].

En este capítulo final, quedarán consignados los siguientes objetivos específicos:

- A. Estudiaré las primeras impresiones de THM sobre la relación "factores – cromosomas".
- B. Analizaré la reinterpretación y la relación que THM hiciera sobre los "factores – cromosomas" como parte del proceso hereditario.
- C. Exploraré la propuesta que THM haría sobre la herencia ligada al sexo mostrando cómo se valió de esquemas para poder explicarla.

¹⁰ Para esta tesis consulté directamente los originales de las obras de THM en lengua inglesa incluyendo algunos de los textos que incorporo en mi selección del *corpus específico*. Con fines metodológicos aclaro que en adelante todas las traducciones al español son mías. El lector podrá consultar en la bibliografía de este trabajo las fuentes originales.

D. Finalmente analizaré cómo THM llegó a la presentación madura de su teoría cromosómica o del gen.

En cada uno de estos puntos discutiré el avance de sus experimentos y presentaré una crítica a la forma que THM usó para presentar sus resultados: de manera textual-descriptiva y a través de representaciones/modelos/imágenes. Con lo anterior busco probar que las imágenes ayudan potencialmente a la construcción de conceptos y teorías, facilitando su comprensión, entendimiento e incluso su divulgación y enseñanza. Así, la epistemología, la percepción, la representación y la ciencia, confluyen en una misma vertiente cognoscitiva compartida. En suma, es vital destacar la importancia que tuvieron las imágenes que THM utilizó para explicar sus teorías, acercándonos con ello un poco más a la comprensión del problema de la herencia y al trabajo posterior de otros genetistas 

¿Qué es verdad en ciencia? En ciencia, el concepto de verdad puede aludir tanto a la realidad como al conocimiento. Son dos sentidos diferentes. El concepto de verdad relativo a la realidad misma tiene interés en una fase de la investigación: el experimento.

Jorge Wagensberg, *La verdad en ciencia*

1. LA PERCEPCIÓN COMO HERRAMIENTA DE LA CIENCIA

EL CONOCIMIENTO del comportamiento del individuo humano, de su vida en sociedad y de su historia captó la atención del análisis científico, especialmente durante los siglos XVIII y XIX, en gran parte como consecuencia del estímulo que supuso el éxito explicativo y predictivo de la ciencia de la naturaleza en general y de la mecánica newtoniana en particular. Por su parte, muy pronto las disciplinas sociales fueron atraídas por el "método científico" o modo característico con el cual procedían las ciencias naturales desde la época de las revoluciones científicas.¹¹ Históricamente, nace así el debate entre las ciencias y las humanidades que centra sus principales diferencias en la producción de conocimiento. Sin entrar en mayores detalles, lo más destacado de esta polarización radica dentro del campo epistemológico. La epistemología (del griego, *episteme*, 'conocimiento'; *logos*, 'teoría') se convierte en la lógica del descubrimiento científico, que a su vez se identifica con la teoría del método científico. En otras palabras, la teoría del método, considerada más allá del análisis lógico entre las relaciones de los postulados científicos, se resume en la

¹¹ Francisco Fernández Buey, "Historia de la ciencia", p. 1.

elección de "métodos" e implica que las decisiones habrán de tomarse de acuerdo con la forma en que los principios científicos serán desarrollados y manejados. Ciertamente, tales medidas a su vez estarán en función del propósito científico. En síntesis, dependerá de la manera en que los sistemas científicos sean manipulados, ya sea con aquello que les hagamos en sí mismos y también con lo que hagamos con ellos. De esta suerte, resulta imprescindible demarcar el objeto de estudio y establecer reglas o normas mediante las cuales el trabajo del científico será guiado cuando se encuentra frente a descubrimientos o investigaciones. Actualmente, la objetividad del trabajo científico está relacionada con la construcción de teorías científicas, con su función de hipótesis o principios universales. Sin embargo, ante este fenómeno del conocimiento humano, me pregunto: ¿cómo se elaboran las teorías científicas? ¿Existe una metodología para ello? ¿Por qué y para qué la necesitamos?

Una posible dirección explicativa sería postular que existen convenciones en cuanto a las reglas metodológicas. Así, uno de los usos más habituales de la imagen, por ejemplo, y puesto que nuestro propósito es analizar el fenómeno de la representación visual dentro del contexto de los principios científicos establecidos por THM, es su pragmatismo como herramienta de la memoria. La utilizamos como un medio para evocar una percepción o transmitir un conocimiento.¹² Algunos teóricos deducen que cuanto más se parezca la imagen

¹² Para mayor información, consultar la siguiente página electrónica: www.ehu.es/ramonesparza/TCOMAUD/0401palimp.html, "De lo mnemónico a lo simbólico", 2002.

a la percepción original, mejor podrá desempeñar esa tarea. Concebida de este modo, la historia de la imagen consistiría –*grosso modo*- en el relato de un proceso de aproximación a la semejanza total – de un fenómeno natural, de un aspecto de la realidad- y, por lo tanto, sería la historia de la resolución de un problema de índole técnica: lograr una imagen que se aproxime lo más posible a la percepción directa del mundo sensible.¹³

Ramón Esparza, en su artículo "Historia de la Ciencia", resalta la importancia del uso de la imagen por parte del hombre, que responde a su necesidad de alcanzar el conocimiento, tal vez unificado, como se pretende, del mundo en que vivimos. Por ello, tanto científicos como artistas recurren a la representación de su mundo valiéndose de muchas técnicas para evocarlo. Para entender las relaciones entre la representación y el conocimiento, Esparza resalta el papel de la percepción, que denomina en el arte de la representación visual como una *copia esencial*.

Para lo anterior, Esparza recurre al crítico de la historia del arte E. Gombrich, quien niega que el hombre tenga una mirada inocente acerca de la vida y de su entorno. Gombrich destaca en su crítica la producción de *esquemas* que regían a la percepción como la reproducción visual de lo que se percibía, tomando en cuenta, por ejemplo, que el ojo del pintor no se limita solamente a captar y a plasmar de forma pasiva la apariencia visual del mundo, y que el mundo, a su vez, no es un entorno estático.

¹³ Francisco Fernández Buey, *op. cit.*, p. 1.

Gombrich, como estudioso de la plástica, nos deja a los científicos con la duda, que él también se plantea, sobre la función del esquema. Es decir, ¿un esquema trata sólo de fórmulas que operan sobre el hacer del creador? ¿O más bien nos encontramos ante verdaderas representaciones mentales del conocimiento, que organizan tanto la percepción como el hacer del creador, del artista o del científico?¹⁴ y en este caso del científico como creador.

Analógicamente, el pensamiento de Gombrich es de vital importancia para el problema que este trabajo pretende mostrar en cuanto sirve como modelo interpretativo del uso de la representación en los conceptos de THM. En consecuencia, los esquemas, los símbolos y las diversas formas de representar a la realidad nos permiten comprender el mundo en el que vivimos a partir de una tentativa reconstrucción del trabajo científico que incluye, en primer lugar, la representación del objeto de estudio, en segundo término, cómo fueron interpretados los aspectos de dicho objeto de estudio, o mejor dicho cuáles fueron los conceptos postulados, y en tercera instancia, cuál fue la relación de representación entre el objeto y los conceptos derivados. Si anteriormente mencioné que la epistemología se convierte en la lógica del descubrimiento científico, ahora la lógica de la representación descansa en la relación entre epistemología y fenomenología; entre lo perceptible-sensible y su representación, ya sea en imágenes, esquemas, símbolos, diagramas, etcétera, que derivan en formas de conocimiento de aquello que queda representado, o sea el objeto de estudio mismo.

¹⁴ *Op. cit.*, p. 2.

En este orden de ideas, para algunos críticos de la Filosofía y de la Lingüística¹⁵, toda representación de la realidad es una construcción semiótica y es desde el consenso generado en la práctica social que se acuerda cierto grado de realidad concebido como verosímil. De esta forma el concepto de realismo se desplaza de la idea de reflejo a la de artificio. Actualmente, en casos como el del cine, este artificio tiene una representación de acuerdo a lo que la sociedad, en su aspecto dominante permite enunciar de cómo se le entiende. Retrospectivamente, en diferentes etapas históricas, la pintura, la escultura y la música, respectivamente, han tenido sus formas y convenciones de representatividad.

Por lo tanto, la representación del mundo en el que vivimos es vital para el entendimiento. Es así que THM, y otros científicos anteriores a él, el propio Mendel sin duda, se valieron de la representación para explicar sus hallazgos, y en el caso de THM de la concepción del material la herencia en particular. Sin embargo el concepto de representación¹⁶ también tuvo que evolucionar en el pensamiento del hombre, dejando claro qué es lo que se entendía por este. Por ejemplo, Guillermo de Occam distinguió tres significados fundamentales de percepción de la siguiente manera:

¹⁵ Fenómeno que queda únicamente señalado pero no analizado con profundidad en este trabajo. Para una consulta a detalle sobre la construcción semiótica de la realidad y sus relaciones epistemológicas, refiero al lector a la obra de Umberto Eco, *Obra abierta*, y en particular a su ensayo "La obra como metáfora epistemológica". La referencia bibliográfica completa se incluye en la sección final de esta tesis.

¹⁶ El término de representación, de origen medieval, indica imagen, idea o ambas cosas. El uso de dicho término fue sugerido a los Escolásticos por el concepto de conocimiento como una similitud del concepto. Nicola Abbagnano, *Diccionario de Filosofia*, p. 1014.

*Representar tiene muchos sentidos. En primer lugar se entiende con este término aquello mediante lo cual se conoce algo, y en este sentido, el conocimiento es representativo y representar significa ser aquello con que se conoce algo. En segundo lugar, se entiende por representar, el conocer algo, conocido lo cual se conoce otra cosa, en este sentido la imagen representa aquello de que es la imagen, en el acto del recuerdo. En tercer lugar, se entiende por representar el causar el conocimiento del mismo modo como el objeto causa el conocimiento.*¹⁷

Lo anterior lo podemos explicar equiparando cada una de las propuestas a las siguientes acepciones; en la primera la representación es la *idea* en el sentido más general, en la segunda es la *imagen* y en la tercera es el *objeto mismo*. El término "representación" tuvo un nuevo significado a través de la noción cartesiana (de René Descartes) de la idea como *cuadro* o *imagen* de las cosas; y fue difundida sobre todo por Leibniz, que consideró todo gesto como representación del Universo. Precisamente por sugestión de esta doctrina, Wolf introdujo el término *vorstellung* (representación), para indicar la idea cartesiana en el uso filosófico de la lengua alemana.¹⁸ Kant fijó el significado del término de manera muy general; lo consideraba como el género de todos los actos o manifestaciones cognoscitivas independientemente de su naturaleza o de su cuadro de similitud. Con esta última acepción se ha usado el término constantemente en el lenguaje filosófico.

Así, resulta que los problemas propios de la representación también son los inherentes al conocimiento en general o a la realidad que constituye el término objetivo del conocimiento; en otra dirección son los relativos a la relación entre los objetos de estudio científico, los sujetos que los estudian y producen el

¹⁷ Nicola Abbagnano, *op. cit.*, p. 1015.

¹⁸ A Wolf se le debe la introducción del término de "representación" en Europa.

conocimiento y las palabras y los objetos significados. La realidad¹⁹ en su significado propio y específico, designa el modo de ser de las cosas, en cuanto existen fuera de la mente humana o independientemente de ella. Por una parte, el dilema que la noción de la realidad ha planteado directamente es el de la existencia de las cosas o del mundo externo²⁰, y por la otra, el llamado mundo perceptible-sensible por parte del sujeto. En otra forma, estamos frente al objeto y al sujeto, entre la objetividad y la intersubjetividad. Este problema nació con Descartes y su principio *cartesiano*, el cual enuncia que el objeto del conocimiento humano es sólo la idea. Entendemos por idea, por realidad, la concepción de lo que es y significa la vida, aunque puede no estar muy claro para el hombre. El ser humano puede captar un objeto en tres diferentes niveles: sensible, conceptual y holístico.

El conocimiento sensible consiste en captar un objeto por medio de los sentidos; tal es el caso de las imágenes captadas por medio de la vista. Gracias a ella podemos almacenar en nuestra mente las imágenes de las cosas, con color, figura y dimensiones. Los ojos y los oídos son los principales sentidos utilizados por el ser humano, mientras que el olfato y el tacto se han desarrollado poderosamente en el resto de los animales.

El *conocimiento conceptual* reside en representaciones invisibles, inmateriales, abstractas, pero universales y esenciales. A su vez, los conceptos implican una

¹⁹ La palabra *realitas* (realidad) fue acuñada en la Escolástica tardía por Duns Scoto, quien la usó para definir la individualidad, que consistiría en la última realidad del ente, quien determina y contrae la naturaleza común, y de lo general a lo particular.

²⁰Nicola Abbagnano, *op. cit.*, pp. 988-990.

operación que involucra la redefinición de categorías y significados en los campos fenomenológico y social. *De facto*, los conceptos organizan un grupo de fenómenos, definen las preguntas relevantes en torno al fenómeno y determinan el significado que puede ser otorgado a las observaciones derivadas del mismo. La principal diferencia entre el nivel sensible y el conceptual reside en la singularidad y universalidad que caracteriza, respectivamente, a estos dos tipos de conocimiento. El conocimiento sensible es singular y el conceptual universal. Sin embargo cuando hablamos del *conocimiento holístico* vemos que a este nivel tampoco hay colores, dimensiones ni estructuras universales como es el caso del conocimiento conceptual. Intuir un objeto significa captarlo dentro de un amplio contexto, como elemento de una totalidad, sin estructuras ni límites definidos con claridad. La palabra holístico se refiere a esta totalidad percibida en el momento de la intuición (*holos* significa totalidad en griego). La principal diferencia entre el conocimiento holístico y el conceptual reside en las estructuras. Por lo que el primero carece de estructuras, o por lo menos, tiende a prescindir de ellas; el concepto, en cambio, es un conocimiento estructurado. En otras palabras, los conceptos están conectados a problemas; de lo contrario carecerían de sentido.²¹ Debido a esto, lo percibido en el ámbito intuitivo no se puede definir, se capta como un elemento de una totalidad pero sin poder expresarla adecuadamente. Aquí está también la raíz de la dificultad para dar ejemplos concretos de este conocimiento. Intuir un valor, por ejemplo, es tener la

²¹ Por conocimiento estructurado se entiende aquel que es producto del análisis racional. Sus formas de estructura son: la inducción, la deducción, la analogía, la alegoría, la metáfora, la metafísica, lo simbólico, etcétera. Así mismo, la principal diferencia consiste en un tipo de conocimiento implícito - sin reglas (holístico) y otro de carácter explícito-con reglas (científico).

vivencia o presencia de ese valor y apreciarlo como tal, pero con una escasa probabilidad de poder expresarla y comunicarla a los demás. Pues definir es limitar, en el espacio y el tiempo; no se trata simplemente de caracterizar o etiquetar un objeto, cuyo riesgo sería caer en una práctica de tipología cuyo sustento es limitado y al mismo tiempo limitante.

Un ejemplo de conocimiento holístico o intuitivo es el caso de un descubrimiento en el terreno de la ciencia. Cuando un científico vislumbra una hipótesis explicativa de los fenómenos que estudia, podemos decir que ese momento tiene un conocimiento holístico (subjetivo e implícito), es decir, capta al objeto estudiado en un contexto amplio en donde se relaciona con otros objetos y se explica el fenómeno, sus relaciones, sus cambios y sus características. El trabajo posterior del científico, una vez que ha vislumbrado una hipótesis, consiste en traducir en términos estructurados (conceptos explícitos) la visión que ha captado en el conocimiento holístico, gracias a un momento de inspiración, de epifanía o de *serendipia*. Tal fue el caso de Gregor Mendel, quien sólo buscaba una respuesta a la posible alteración de las características generales de una planta al someterla continuamente a la manipulación de sus características. Los resultados que él obtuvo entonces, tal vez en ese momento fueron difíciles de explicar; no obstante con un poco de intuición pudo vislumbrar la respuesta encontrando algo más interesante de lo que esperaba. Es importante hacer notar que a partir de un experimento de hibridación Mendel descubre "la sucesión de caracteres de generación en generación en las especies". Mucho más curioso es que mediante simples cálculos matemáticos

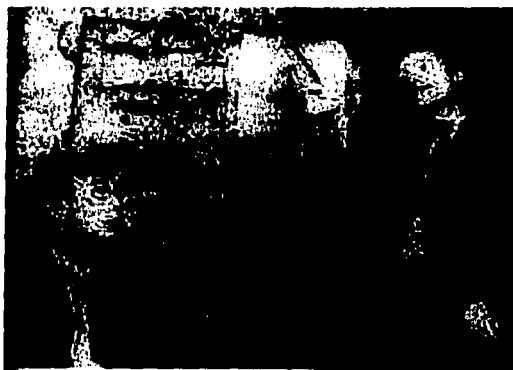
haya logrado acertar a la solución de un problema de años de investigación, explicando matemática la segregación de caracteres.²² Esta historia no tuvo un final feliz pues Mendel, inundado por la curiosidad, lleno de dudas y hambriento de conocimiento, intentó más tarde con otras especies de plantas repetir el mismo experimento, pero esa vez los resultados no fueron iguales. Así lo explica con detalle a Carl Nägeli en las cartas que Mendel le enviara. En esta correspondencia quedaron al descubierto algunos de los inconvenientes de su fascinante investigación.²³

En contraste con el campo científico, la experiencia estética nos proporciona otro ejemplo de conocimiento holístico: cómo percibir la belleza de una obra de arte significa captar ese objeto sin estructuras, sin conceptos, simplemente deteniéndose en la armonía, en las congruencias y las afinidades del objeto con el propio sujeto. Debido a esto, la experiencia estética se puede denominar también conocimiento por con-naturalidad. En síntesis, se trata de la posibilidad de conciliar lo sensible con lo inteligible; lo natural con lo humano; lo espiritual con lo material. Un ejemplo de tal experiencia se puede observar en la creación de Watson y Crick, del primer modelo tridimensional del material de la herencia: el ADN. El impacto de lo sensible con el intelecto fue de tal magnitud que, en su libro *La doble hélice* publicado en 1968, Watson dijera al ver la primera fotografía

²² Mencionamos que fueron muchos los hibridólogos que precedieron a Mendel. La manera en que son modificados los caracteres de sus especímenes consistió a partir de entonces la mayor preocupación dentro de este campo.

²³ En sentido estricto, lo que atañe a esta investigación es otro asunto. Cómo THM, gracias a su intuición y fascinación por la embriología y su pasión por descubrir lo más cercano a la verdad, puso en duda las teorías mendelianas decidiéndose a comprobarlas una a una. De esto hablaremos en el capítulo siguiente.

del DNA²⁴ conocido como tipo "B", "...que en el instante en que vi la fotografía, me quedé con la boca abierta y mi pulso se aceleró". Esa era la primera vez que podía verse tan fascinante estructura helicoidal. Un mes después y sólo con la fotografía como prueba, Watson y Crick decidieron construir un modelo que explicara lo que a su parecer debería de ser la forma precisa del ADN. Sin embargo, ¿podríamos realmente asegurar que este modelo es una verdadera aproximación de la realidad? En otras palabras, ¿aquello que fue intuido, que se representó y se conceptualizó es el objeto mismo como tal?



James Watson (a la derecha) y Francis Crick con su modelo de la doble hélice.

Tomando este ejemplo como punto de partida, hago notar en este punto que a mediados del siglo XX el enfoque metodológico gozó de ser considerado como una estrategia exitosa. Básicamente estudiaba ciertos fenómenos biológicos a

²⁴ En enero de 1953, Wilkins –sin el conocimiento de Franklin, quien en realidad fue el autor que obtuviera dicha fotografía mediante un proceso de cristalografía- la sustrajo del laboratorio y se la mostró a Watson y a Crick. Tomado del artículo periodístico titulado, "En la conmemoración de los 50 años del descubrimiento del DNA", 11 de marzo de 2003, *Vancouver Sun*, Canadá. La traducción es mía.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

nivel molecular. Tal es el asunto, entre muchos otros, de la estructura química de las macro y micro moléculas que componen a cualquier organismo, el desciframiento del código genético o los mensajes químicos llevados a cabo por los neurotransmisores. Aparentemente gracias a este enfoque en la ciencia muchas fueron las incógnitas solventadas. Sin embargo no del todo. Por ejemplo, este enfoque se había olvidado por completo de los factores externos. En biología muy específicamente no debemos pasar por alto que un organismo compuesto por células, en su conjunto, se encuentra influenciado por factores internos y externos, en consecuencia, para obtener su "fotografía completa" hay que tomar en cuenta la unidad del "todo" de ese organismo. Con este patrón me refiero precisamente al caso de la percepción en la ciencia, al tipo de "fotografía" que cada investigador toma a partir de su entendimiento y conforme a sus posibilidades de percepción de las cosas, en este punto, objetos de estudio.

Con relación a lo anterior, aún no existe una teoría que lo explique e involucre todo, es decir, tanto la percepción del hombre como los métodos de interpretación utilizados: por el momento todos tienen sus limitaciones. No obstante, el aspecto central aquí es el resultado que tales interpretaciones puedan arrojar, y que el hombre pueda interpretar aquello que percibe. Pero ello nunca olvidemos que la perfección no existe, solo lo perfectible, y en efecto, que el trabajo en equipo dará más resultados que el realizado por un sólo intérprete aislado de esta realidad, que día a día tratamos de entender de una forma u otra. No cabe duda que la imaginación del científico y la forma en que éste perciba su

entorno, son factores determinantes para el desarrollo y comprensión de sus investigaciones y para el avance de la ciencia en general.²⁵

II

DESDE EL SIGLO XVII hasta finales del siglo XIX la cuestión principal en epistemología contrastó la razón contra el sentido de la percepción como medio para adquirir el conocimiento. Históricamente, este debate derivó en la consolidación de dos corrientes de pensamiento: los racionalistas y los empiristas.

Para los racionalistas, entre los más destacados el francés René Descartes, el holandés Baruch Spinoza y el alemán Gottfried Wilhelm Leibniz, la principal fuente y prueba final del conocimiento era el razonamiento deductivo basado en principios evidentes o *axiomas*. Para los empiristas, empezando por los filósofos ingleses Francis Bacon y John Locke la fuente principal y prueba última del conocimiento era la *percepción*. Ambas posturas nutrieron una corriente posterior que sería de gran interés para el desarrollo de la ciencia: *el materialismo*.²⁶ Los representantes del materialismo reflejaron la concepción de las ciencias naturales en su época. Formularon tesis metafísicas (del griego *metha*, 'más allá' y *psique*, 'lo perceptible, lo observable') y especulativas acerca de la materia, que fueron refutadas por el desarrollo posterior de la ciencia.

²⁵ Ruy Pérez Tamayo, *Acerca de Minerva*, pp. 45-47.

²⁶ Véase la siguiente página electrónica para más información sobre el tema: <http://www.monografias.com/trabajos/epistemologia2/epistemologia2.shtml>, 2002.

En primer lugar, se admitía la existencia en el mundo de una sustancia material primaria e inmutable –inmanente-, como portadora de toda la variedad de propiedades que se observan en los objetos y fenómenos perceptibles-sensibles. Además consideraban que los objetos pueden surgir y desaparecer, experimentar diversos cambios y transformarse uno en otro, estableciendo que la sustancia es homogénea e invariable en su base y sólo sus formas externas se modificaban.

Se decía que en el mundo no existía nada que no fuera una forma concreta de la materia, un determinado estado o propiedad de ella, un producto de su mutación, de su desarrollo regular. Hasta las ideas y los conceptos más abstractos, sin hablar ya de las sensaciones y percepciones, eran resultado de la actividad de un órgano material (el cerebro humano) y un reflejo de las propiedades de los objetos materiales. En consecuencia, el concepto de materia como única base universal de todo lo existente, de todos los objetos y fenómenos de la realidad, expresa la esencia más general del mundo.²⁷ Cuando hablamos de materia, ¿a qué nos referimos? ¿Cuáles fueron entonces las bases del materialismo? Desde una perspectiva filosófica general el concepto de materia se utiliza para designar a la *realidad objetiva*, que existe con independencia de la conciencia y cómo en ésta se refleja. La materia es la multiplicidad infinita de todos los fenómenos, objetos y sistemas existentes, es el substrato de todas las diversas propiedades, relaciones, interacciones y formas

²⁷ Véase la siguiente página electrónica para más información sobre el tema: <http://www.monografias.com/trabajos/epistemologia2/epistemologia2.shtml>, 2002.

del movimiento. La materia no existe más que en la infinita multiplicidad de formas concretas de organización estructural, cada una de las cuales posee diferentes propiedades e interacciones, una estructura compleja, y constituye un elemento de un sistema más general. ¿Sería entonces erróneo buscar "la materia como tal", una *substancia* primaria invariable, fuera de sus formas concretas? Para George Thomson las diversas actividades que llevan a cabo la mente, el espíritu, el pensamiento y la conciencia no son otra cosa más que la manifestación de la materia. Según Thomson explica, el pensamiento se origina de una función de nuestro cerebro, que es un ente material, y el pensamiento a su vez lo es también, pues argumenta —"la materia existe sin el pensamiento, pero el pensamiento no puede existir sin la materia"²⁸ - de aquí que él afirme que la materia resulte la única realidad objetiva. Para Thomson, la esencia interna de la materia se revela a través de sus diversas propiedades e interacciones, cuyo conocimiento significa, precisamente, el conocimiento de la materia misma. George Thomson, siguiendo a Aristóteles, creía que el movimiento es el modo de existencia de la materia, diciendo:

El movimiento en el espacio cósmico, el movimiento mecánico de las masas más pequeñas en los distintos cuerpos celestes, el movimiento de las moléculas como el calor o como corrientes eléctricas o magnéticas, la descomposición química y la combinación, la vida orgánica, en cada momento dado, todo átomo de materia individual en el mundo se encuentra en una u otra de estas formas de movimiento o en diversas formas a la vez. Toda quietud, todo equilibrio sólo es relativo y posee significado únicamente con relación a una u otra forma definida del conocimiento. Esto es cierto no sólo de los fenómenos naturales sino también de la sociedad humana y del pensamiento - el estudio de estas leyes es la dialéctica.²⁹

²⁸ George Thomson, *Los orígenes de la ciencia y el arte*, p.14.

²⁹ *Op.cit.*, pp.15 -16.

Se dice que la materia es la base sustancial universal de todos los fenómenos; no ha sido creada por nadie, es indestructible, eterna en el tiempo e infinita en el espacio y tiene existencia objetiva, independiente de la conciencia. Como resultado los materialistas franceses del siglo XVIII formularon la tesis de que la materia y el movimiento eran inseparables, y que el movimiento es un atributo importantísimo, una forma existencial de la materia. Enfocaron todos esos fenómenos de la naturaleza en su concatenación y condicionalidad mutua, subordinados a leyes naturales e inmutables. Ellos se basaban en la idea de la cognoscibilidad absoluta de la materia, de la posibilidad de que el hombre comprenda sus propiedades y sus leyes, por muy complejas y excepcionales que parezcan.

En este punto del trabajo, resulta interesante conectar el concepto de sustrato.³⁰ El primer significado es el de la tradición filosófica antigua, el cual se encuentra fundamentado por Platón y está ilustrado por Aristóteles, como uno de los modos de la sustancia. El "sujeto" dice Aristóteles – es aquello de lo que se puede decir todo, pero que a su vez no puede ser dicho de nada. El término sujeto tiene dos acepciones: 1) aquello de lo que se habla, a lo que se atribuyen cualidades o determinaciones o a lo que tales cualidades y atribuciones son inherentes; 2) el yo, el espíritu o la conciencia como principio determinante del mundo del conocimiento o de la acción, o por lo menos, como capacidad de

³⁰ Del latín *substratum*, *stratus*, estrado; la esencia de una cosa. El término fue aplicado por la Escolástica del siglo XIV al individuo real y más tarde adoptado por Locke para indicar lo que la tradición denominará *subiectum* o *suppositum*; o sea, el sujeto o la sustancia como sujeto. Aceptado por Berkeley en *Principles of Human Knowledge* y por Leibniz, el término se comenzó a emplear extensivamente y ha prevalecido sobre los demás, no sin estar alejado de la contradicción y la ambigüedad.

iniciativa en tal mundo. Para algunos se define como homólogo de sustancia, considerada la esencia o la naturaleza de algo o como la realidad que existe por sí misma. Es así que entonces surge la pregunta cuando hablamos de la herencia. ¿Nos referimos al sustrato de la herencia o al material de la herencia?

A mi parecer los "factores", a los que ahora llamamos genes, bien podrían ser considerados como material de la herencia y no sustancia, al ser apreciados como fracciones reales dentro de la genética moderna. Más, a la fecha, el conocimiento que sobre este campo se ha generado y adquirido no es del todo preciso ni exacto, pues sigue pendiente la comprobación de muchos de sus postulados, comprobación que debiera ser una constante, aunque a veces se olvide por comodidad o distracción. En esencia, también cabe la posibilidad del error humano en alguna concepción, pues recordemos que muchos de los modelos hasta ahora expuestos se sustentan a su vez en concepciones físicas comprobadas con teoremas matemáticos y no observables por el ojo humano (como aún no se ha visto un electrón, mucho menos un *quark*). Sobre este particular, para algunos la suspicacia de no creer en algo si no se ha visto bien puede ser un argumento poco aceptable o incluso refutable, pero el hombre siempre ha necesitado constatar lo que sucede en su entorno, y por el momento nuestros alcances son limitados. A pesar de ello, me aventuro a designarlo material de la herencia, puesto que lo que sí sabemos es que los genes son los responsables de la herencia, aunque su acción no se haya visto *in situ*.

En la construcción de la teoría cromosómica, en principio, y luego la teoría del gen, la idea de material de la herencia se fue fortaleciendo, como lo veremos en el tercer capítulo.

III

BIEN DICE Ruy Pérez Tamayo, que "una de las características sobresalientes de la especie humana es su incapacidad para tolerar la incertidumbre y para hacer decisiones basadas en información incompleta".³¹ Es así que el conocimiento no sólo es generado por descubrimientos, también es producto de la percepción de quien lo explica y rectifica gracias a su comprobación aunque aclaremos que exclusivamente los resultados son los que se comprueban y no la interpretación de quien los estudia. En *vox populi*: nunca olvidemos que las cosas se ven según con el cristal con que se miren. Para THM, eran imperdonables la ceguera y la presunción de algunos de sus colegas con respecto a las leyes de la herencia formuladas por Mendel; le molestaba la poca seriedad con que eran tratadas y al parecer, lo que más le incomodaba era la simpleza con que estas ideas eran tomadas. Así lo hace ver en su libro *Los mecanismos de la herencia mendeliana*:

La explicación que algunas veces ofrecen como hipótesis, la del carácter único, falla en su intención al momento que se sobreentiende que un sólo factor tiene generalmente no uno sino muchos efectos. La mayoría de los investigadores de la herencia mendeliana están completamente convencidos de estos hechos. Este asalto sobre el concepto del carácter único es generalmente utilizado por aquellos que no están familiarizados con la situación

³¹ Ruy Pérez Tamayo, *Acerca de Minerva*, p. 16.

*real y toman la expresión del carácter único, literalmente. Por lo que podemos decir que se ha abusado de dicha expresión, incluso por algunos seguidores de Mendel.*³²

A THM no sólo le inquietaba que el conocimiento fuera tomado con ligereza, sino le irritaba hasta cierto punto la facilidad con que algunos científicos extrapolaban estos conocimientos a sus investigaciones sin antes comprobar la veracidad de dichas leyes.

Ruy Pérez Tamayo nos habla de la existencia de dos clases de científicos: I) aquellos que tienen como lema "inventa lo que no sabes, adivina lo que ignoras, rellena tu ignorancia con fantasía"; y II) aquellos que confiesan su ignorancia, viven en la realidad de la incertidumbre, y yo agregaría, y que luchan por encontrar una respuesta cercana a la realidad. Este es el caso de THM, quien ciertamente forma parte de esta última minoría, pues jamás descansó hasta estar satisfecho con su trabajo, aunque a veces pareciera estar perdido en la inmensidad de sus concepciones.

IV

LA PROFESIONALIZACIÓN de la genética en realidad se consolidó cuando los resultados obtenidos por Mendel fueron aplicados y comprobados por los científicos de principios de siglo XX quienes ya contaban con un marco conceptual para entenderlos. Desde entonces el mendelismo se extendió por

³² Thomas Hunt Morgan, *et al.*, *The Mechanism of Mendelian Heredity*, p. 35. La traducción es mía.

toda Europa y América hasta convertirse en conocimiento universal, mucho de ello gracias a William Bateson, quien en 1906 acuñó el término de genética para la ciencia de la herencia.³³

Entre otros, Hugo de Vries fue uno de los redescubridores del trabajo de Mendel distinguiéndose por su propuesta de la teoría de las mutaciones, alternativa a la de Darwin, esta última muy exitosa en su momento. En 1899 De Vries dio a conocer su trabajo fundamentado en el concepto de 'pangénesis celular'. Los *pangenes* eran partículas hereditarias, análogas a las estructuras químicas, pero más complicadas. De Vries hizo hasta lo imposible para comprobar sus ideas llegando a la conclusión de que las teorías evolucionistas también deberían tomar en cuenta a las de la herencia. Al mismo tiempo, poder obtener respuestas tendría que observarse con detenimiento las filiales que cada especie producía, ayudando así a determinar las líneas evolutivas de cada una de ellas.

De Vries era botánico y por esta razón un buen día en una excursión observó una característica peculiar en las "primorosas" (*Oenothera*). Notó cierta discontinuidad en el patrón de colores de sus flores, estableciendo un punto muy importante dentro de su teoría de las mutaciones: se trataba de adaptaciones al medio y nada tenían que ver con el origen de las especies. Es importante hacer notar que cuando hablamos en este caso de mutaciones no estamos hablando del mismo concepto que conocemos actualmente. Para De Vries no todas las

³³ Herencia del latín *heretia*, n. pl. del part. act. de *haerēre*, estar adherido, influenciado; en su significado por *heredar*.

mutaciones 'sobrevivían', es decir, se conservaban sólo aquellas que eran benéficas para la especie, de otra forma eran 'destruidas' o olvidadas por la especie. En lo único en que De Vries concordó con Darwin - y este era un punto en el que todos coincidían entonces- era en que la selección existía y servía como ventaja a las variaciones.³⁴ Por otra parte la teoría de De Vries aparentemente también se sustentaba en los experimentos de 'líneas puras' hechos por el botánico danés Wilhem Johansen. En estas investigaciones se sostenía como incógnita el sin fin de fluctuaciones, grandes o pequeñas que existían fuera de la línea pura, es decir, se encontraban en poblaciones heterocigas, por lo que la selección como productora de cambios se conservaría siempre y cuando el proceso de selección continuara. El trabajo de Johansen contribuyó a la aceptación de la teoría de la mutación de De Vries, y fue así que muchos biólogos, incluido THM vieron un apoyo en la conjunción de las teorías de De Vries y Johansen en contra del modelo darviniano que proponía que la selección actuaba con base en pequeñas diferencias.³⁵ Como resultado de lo anterior, se ha consolidado el conocimiento referente al problema de la herencia gracias a la comprobación y sobre todo a la experimentación continua de científicos e instituciones interesadas en todo el mundo.

³⁴ Garland E. Allen, *The Man and His Science. Thomas Hunt Morgan*, pp. 117-120. La traducción es mía.

³⁵ *Op. cit.*, p. 121.

Para THM, la repetición del proceso, con toda seguridad, debería de cumplir con todas las exigencias de los principios mendelianos³⁶ y al mismo tiempo ser comprobable para toda especie. THM reinterpretó los conocimientos adquiridos y redescubiertos a principio del siglo XX por William Bateson y por supuesto de Hugo De Vries³⁷, quienes redimensionaron el conocimiento que hasta la fecha se tenía sobre la herencia. Bateson, además de ser uno de los redescubridores de las leyes mendelianas, fue también conocido en Inglaterra como su primer defensor, y en 1906 acuñó el término de genética para la ciencia de la herencia.³⁸ THM en un principio estuvo fuertemente influenciado por los trabajos de De Vries con respecto a los cambios generacionales y sobre todo por su teoría sobre las mutaciones. Los trabajos de Bateson, por supuesto también le interesaron, pero no tanto como los de De Vries. Bateson quiso comprobar la existencia de macro-mutaciones, o cambios drásticos en las especies animales, mientras que De Vries sugería mutaciones en las especies aleatorias. El problema de la herencia, la evolución y la selección natural tomaría mayor importancia a principios de 1900. THM encontró interés en la herencia desde dos puntos de vista. El primero era el de la evolución, particularmente lo relacionado con la teoría de las mutaciones. El segundo apuntaba hacia un problema de gran

³⁶ Tomado de la siguiente página: <http://www.geocities.com/fdocc/2.htm>. Fragmentos de "A Critique of the Theory of Evolution" (*Una crítica a la teoría de la evolución: La herencia cromosómica*), 1916. La traducción es mía.

³⁷ Hugo De Vries, botánico holandés, postuló en aquel documento una nueva teoría, "la teoría de las mutaciones". De Vries denominó *mutaciones* a las variaciones discontinuas. En sus ensayos con plantas encontró y demostró un cambio súbito en las poblaciones vegetales, sin manifestaciones intermedias, y no así la selección natural, la cual se vale de variaciones pequeñas y graduales. Lo que De Vries había descubierto era la existencia de cambios profundos y discontinuos: *mutaciones*.

³⁸ Ana Barahona, *El hombre de las moscas*. Thomas H. Morgan, p. 22.

interés para los embriólogos de la época: la naturaleza de la determinación sexual.³⁹

Finalizo este capítulo con la siguiente observación en cuanto a la teoría cromosómica se refiere. La teoría se basó en un extenso análisis citológico de las células de plantas y animales iniciado en 1850; mientras tanto, la teoría mendeliana se fundamentaba en el estudio de los resultados obtenidos mediante la cruce de individuos de líneas puras, es decir, por medio de la hibridación tradicional examinando la descendencia de cada una de las cruces. Como consecuencia de todos estos procesos que venían desarrollándose al interior del campo científico, a principios de 1900 los intereses de la comunidad científica en general habían cambiado de rumbo una vez más. Si bien la evolución seguía siendo una premisa importante para la investigación científica de finales de siglo XIX, este cambio relativamente muy poco por el campo de la herencia. Pero no del todo pues en principio tanto la evolución como la herencia y la teoría celular en suma, continuaron en la escena de la investigación hasta transformarse en la base para el desarrollo de la biología.³⁹

³⁹ Garland E. Allen, *The Man and His Science. Thomas Hunt Morgan*, p. 125.

En la interpretación moderna del mendelismo, los hechos han sido transformados en factores de rango rápido. Si un factor no explica los hechos, entonces dos son los involucrados; si dos nos son suficientes, tres podrían funcionar. A menudo era necesaria una acrobacia para explicar el resultado, la cual podría cegarnos llevándonos así a lo ingenuo, hacia un lugar común en donde los resultados son a menudo perfectamente explicables porque la explicación fue inventada para explicarlos."

¿Qué son los 'factores' en las explicaciones mendelianas? (1909).

Thomas Hunt Morgan

2. EL REDESCUBRIMIENTO DE LAS LEYES MENDELIANAS Y SU REINTERPRETACIÓN POR THOMAS HUNT MORGAN

THM NACIÓ el 25 de septiembre de 1866, en Kentucky, Estados Unidos de Norteamérica, en el seno de una distinguida familia sureña. Se graduó en zoología en la Universidad de Kentucky. Tiempo después entraría al postgrado en la Universidad John Hopkins para estudiar biología del desarrollo doctorándose en 1890. En la universidad fue donde comenzó a trabajar en el campo de la morfología y la embriología al lado del investigador William Keith Brooks, considerado en aquel entonces uno de los mejores en el ramo. Precisamente con Keith Brooks THM entró en contacto con la herencia aunque de momento esta no sería una prioridad en el principio de su carrera. ⁴⁰

Posteriormente viajó a Europa, quedándose en el laboratorio de la marina norteamericana en Nápoles. Durante su estancia estableció contacto con A.

⁴⁰ Ana Barahona, *El hombre de las moscas. Thomas H. Morgan*, p. 12.

Dohrn y H. Driesch y sus respectivos equipos de trabajo, con quienes aprendió la importancia del desarrollo del método experimental - particularmente en la embriología- y en donde lo descriptivo no lo era todo.⁴¹

En 1904 la Universidad de Columbia ofreció a THM la dirección de su nueva área en zoología experimental. A su llegada a la Universidad, fue acogido por varios de sus mejores amigos y colegas, pero fue el recibimiento de Edwin Wilson, uno de los más eminentes citólogos de la época, el que marcó una etapa muy importante para la vida académica de THM. Wilson convenció a THM de que la llave para comprender el desarrollo embriológico estaba en los mecanismos de la herencia, y que era imprescindible buscar entonces la respuesta en aquello que portaba las propiedades que caracterizaban a los individuos de una generación a otra: los óvulos o los espermatozoides.

Con la esperanza de solucionar dicha incógnita, THM comenzó su labor estudiando los trabajos de Mendel - que en esa época tenían muy poco de haber sido redescubiertos - y en consecuencia fue cavilando sus propias conjeturas. Inicialmente, Mendel hablaba sobre ciertos "factores" que intervenían en los mecanismos de la herencia. Ahora sabemos que esos "factores" son las diversas formas alélicas de un gen, existiendo alelos recesivos y alelos dominantes. Sin embargo Mendel sabía de su existencia sólo en función de sus experimentos.

⁴¹ Véase la siguiente página electrónica para mayor información sobre el tema: www.novel.se (Novel e-Museum).

THM, por su parte, tomando en cuenta estas investigaciones e incógnitas quiso demostrar las hipótesis mendelianas aplicándolas en especies animales. Inicialmente utilizó ratas y ratones, lo que hacía que su trabajo fuera lento además de resultar poco práctico experimentalmente. Debido a ello probó con la mosca del vinagre (*Drosophila melanogaster*). La mosca se reproducía fácil y rápidamente, median 3mm y era posible contar con cientos de ellas en botellas de un cuarto de litro. Además resultaron ser muy fértiles produciendo nuevas generaciones cada dos semanas, es decir, alrededor de 30 generaciones por año. Estas ventajas le permitieron a THM observar mutaciones de generación en generación en tan sólo dos semanas. Con ello, THM comenzó sus experimentos de manera formal en 1907. Empero, después de dos largos años, los resultados no fueron lo que realmente esperaba. Pero THM continuó adelante.

En 1911 establece su "Fly Room" ("cuarto de las moscas") en la Universidad de Columbia. Desde entonces y durante los próximos 17 años, THM realizó diversos experimentos en un espacio de 16 por 23 pies cúbicos, intentando descubrir cada una de las mutaciones de la *Drosophila melanogaster*. Encontró que la mosca llamada *Drosophila amphelophila*, tenía alrededor de 125 caracteres que se heredaban de manera constante. Fue así como THM, trabajando con sus moscas, redimensionó la forma de hacer ciencia hasta entonces, atreviéndose a quebrantar dogmas intocables y a nunca dar por sentado nada: todo debía de ser comprobado y ser comprobable. Además, THM fue un gran maestro y académico. Destacadas y comentadas fueron sus dotes para estimular a sus alumnos, dándoles la libertad y el espacio necesario para

alentar su imaginación y para que esta diera saltos y vuelcos permitiéndoles así vislumbrar las posibles respuestas a sus problemas de investigación. Sin duda, estas cualidades son trascendentales en el desarrollo de la ciencia avanzada.

De esta manera el equipo de THM, conocido como el "Grupo *Drosophila*", que trabajaba en Nueva York con la mosca *Drosophila*, estaba formado por los investigadores Alfred Henry Sturtevant, Calvin Blackman Bridges y Herman Joseph Müller. El equipo logró demostrar que los genes, fueran los que fueran, debían de residir en los cromosomas, unos cuerpos alargados presentes en los núcleos de todas las células. Por ejemplo, Sturtevant llegó a deducir (con tan sólo cruzar unas moscas con otras) que los genes estaban dispuestos, uno detrás de otro, en largas hileras a lo largo de los cromosomas.⁴²

Habían transcurrido en este esfuerzo de trabajo 17 años. Y el fruto estaba próximo. En 1933, la sociedad científica internacional reconoció la genialidad de sus investigaciones otorgándole a THM y a su equipo el Premio Nobel de Medicina. Para cerrar su biografía THM muere el cuatro de diciembre de 1945.

Así pues varios fueron los premios y distinciones que THM recibiera pero las más importante que recibió durante su vida fueron la medalla *Darwin* en 1924, el premio *Nobel* en medicina y fisiología por su descubrimiento de la transmisión hereditaria en *Drosophila melanogaster*, en 1937 y la medalla *Copley* de la Real Sociedad de Londres en 1939 de 1927 a 1930 fue presidente de la Academia

⁴² Tomado de la página electrónica: www.elpais.es, Javier Sanpedro, "Lo que Darwin no supo y lo que Chargaff no vio".

Nacional de Ciencias, en 1930 de la Asociación Norteamericana para el avance de la Ciencia.⁴³ Entre sus principales obras están *Adaptación y Evolución* (1903), *El mecanismo de la herencia Mendeliana* (1915), *La Teoría del gen* (1926), *Embriología Experimental* (1927) y *Embriología y Genética* (1934). Ahora veamos cómo fue que THM y su equipo llegaron a estas conclusiones sobre los principios de la herencia. En adelante, revisaremos el *corpus* específico que he delimitado para este capítulo.

II

THM NO SÓLO no coincidía, en principio aunque después las aceptara, con las teorías de la selección natural de Charles Darwin, tampoco estaba convencido de las ideas de la herencia de Gregor Mendel. Sostenía que era inaudita la ingenuidad de Mendel, por no decir su falta de experiencia, y lo decía porque le pareció arriesgada la manera en que había formulado sus leyes mediante la adición de "factores". Para THM era un descuido formular una teoría bajo esta premisa. Sin embargo, no olvidemos que el propósito del estudio de Mendel consistía en investigar los cambios que sucedían con las líneas puras al ser modificadas por el hombre y de conformidad con la perspectiva evolutiva. Además, en ese momento, Mendel también era uno de los hibridistas.

En su artículo de 1909, "¿Qué son los 'factores' en las explicaciones mendelianas?" ("What are 'Factors' in Mendelian Explanations?") THM rebate

⁴³ Ana Barahona, *El hombre de las moscas. Thomas H. Morgan*, pp. 15-16.

con argumentos contundentes y severos la simpleza de las explicaciones del monje austriaco. En este artículo que puede considerarse de aproximación a las teorías mendelianas, la principal refutación que THM hiciera consistió en señalar que prácticamente era difícil y casi imposible de visualizar el lugar en donde Mendel situó a cada uno de estos "factores" mencionados en sus experimentos. Como corolario de esta imposibilidad metodológica, a partir de este artículo THM se enfocó decididamente a desarrollar sus críticas a los experimentos hechos por Mendel y a obtener resultados más consolidados.

Al inicio de "¿Qué son los 'factores' en las explicaciones mendelianas?" THM perfila su posición con respecto al mendelismo, tachando de paso su falta de seriedad y las escasas evidencias con las que se formuló originalmente y se seguían sustentando las teorías de los seguidores de Mendel. THM lo dice de la siguiente manera:

En la interpretación moderna del mendelismo, los hechos han sido transformados en factores de rango rápido. Si un factor no explica los hechos, entonces dos son los involucrados; si dos nos son suficientes, tres podrían funcionar. A menudo era necesaria una acrobacia para explicar el resultado, la cual podría cegarnos llevándonos así a lo ingenuo, hacia un lugar común en donde los resultados son a menudo perfectamente explicables porque la explicación fue inventada para explicarlos.⁴⁴

THM no sólo opinaba que las explicaciones eran simples, sino que también estos resultados "magníficamente" explicados tenían sustentos vagos y un tanto faltos de validez. Esto no significó que THM descartara por completo las teorías de Mendel, en su lugar lo que sí propuso fue un criterio más estricto antes de

⁴⁴ Thomas Hunt Morgan, "What are 'factors' in Mendelian Explanations?", p. 365.

aventurar cualquier aseveración: siempre era necesaria una rigurosa comprobación. Y de tal forma que en el supuesto caso de no encontrar la respuesta pertinente dicha respuesta no fuera inventada o simplemente ajustada conforme a una teoría carente de sustento y de comprobación.

Por su parte, THM se preguntó qué clase de factores analizó Mendel; ¿cuál era su verdadero comportamiento? En ese época se asumía, por ejemplo, que los factores de "alto" y "pequeño" se encontraban en dos células distintas, y mediante alguna forma se involucraban uno con otro formando al heterocigo. A simple vista esta explicación era realmente difícil de concebir. Sobre este particular, tal vez THM percibió alguna relación con los genes, aunque de momento no aceptaba del todo la existencia de los cromosomas. Sostenía que echar una ojeada al problema no bastaba pues tampoco lo solucionaría y las dudas ahí seguirían. Inicialmente, la idea general asumía que los factores se encontraban en gametas diferentes, perspectiva que podría considerarse como una teoría totalmente preformacionista. THM se preguntó entonces si estos factores podrían convertirse en entidades que se combinaran entre sí, más no mezclarse; de otra forma, esto sería igual a pensar que los adultos se encuentran preformados dentro del óvulo. Una vez más el sostén de la idea era el preformacionismo.

En este mismo artículo THM hace patente su preocupación con respecto de las funciones del óvulo y el espermatozoide, pues recordemos de nuevo que para el embriólogo de la época resultaba de vital importancia la determinación del sexo.

Al respecto y según las leyes mendelianas existía una comunión entre óvulo y espermatozoide. Empero, ¿cómo se verifica el resultado?, es decir, ¿qué gameta porta a cuál factor y cómo se expresan? THM concluye su artículo haciendo hincapié en la forma de interpretación de los resultados de estos experimentos:

*Puede aseverarse que solamente tenemos aquí una analogía, no una serie de eventos similares, sin embargo me inclino a pensar que la comparación merece una seria consideración.*⁴⁵

Con estas y otras inquietudes en mente, 1910 fue clave para THM, un año de bastante actividad y productividad. Como muestra, baste mencionar que publicó grandes artículos de discusión a escala internacional que fueron divulgados en revistas como *Science* y *The American Naturalist*.

Recordemos que por entonces el centro de atención de las grandes discusiones sobre la herencia, lo fueron las teorías de Mendel recién descubiertas.⁴⁶ Estas discusiones encabezaron y por lo tanto abrieron el camino para la reinterpretación de las leyes mendelianas. Al respecto, la principal crítica de THM consistía en señalar la inmadurez o la ingenuidad para confundir "hechos" con "factores". Básicamente alegaba que la palabra "factores" era utilizada sin

⁴⁵ Thomas Hunt Morgan, "What are 'factors' in Mendelian Explanations?", p. 368. La traducción es mía.

⁴⁶ Para 1900 aparecieron tres ensayos incluidos en uno de los volúmenes de *Proceedings of the German Botanical Society* ("Procedimientos de la Sociedad Botánica Alemana", la traducción es mía): el primero correspondía a Hugo de Vries; el segundo a Carl Correns, y el tercero a Erich von Tschermak. De Vries, Correns y Tschermak redescubrieron (aparentemente), cada uno por su cuenta, las leyes de la herencia, mismas que Mendel había postulado cuarenta años atrás, por lo que a partir de este momento dicha teoría comenzaría de nuevo a desempeñar un papel fundamental dentro de la genética contemporánea.

mayor conflicto, como también lo hicieran aquellos que se decían seguidores del mendelismo. Tiempo después las concepciones sobre el material de la herencia cambiarían y con ello también la forma de nombrarlo. El término *gene*, fue introducido por Wilhelm Johannsen. Quien quiso con esta nueva palabra que estuviera libre de contaminación de preconceptos asociados con el término precursor de Darwin denominado *gémula* (unidad pangenética), o con el de Weismann *determinantes*, o con el de De Vries, *pangenes*. Al respecto, Johannsen escribió:

*Me pareció sencillo aislar la última sílaba de la palabra 'gene', que por sí sola es de gran interés para nosotros... La palabra 'gene' está completamente libre de cualquier hipótesis; expresa únicamente el hecho de que, en cualquier caso, varias características del organismo están especificadas en los gametos, por medio de condiciones especiales, cimientos y determinantes que están presentes de forma única, separada y por lo tanto independiente; en otras palabras, exactamente lo que queremos llamar genes.*⁴⁷

Después de varios estudios THM logró evidenciar que ese *plasma germinativo* no sólo contenía un par de características, sino que eran millones⁴⁸. THM consideró como un grave error la manera en que los partidarios de las leyes mendelianas concluían sus investigaciones y los reprochaba diciendo que hacían demasiados malabares para exponer con tan pocos elementos lo hasta ahora (en ese momento) era inexplicable.

Para el presente trabajo, la explicación de estas teorías con base en "factores que ayudan a su vez a factores" nos proporciona una maravillosa muestra de

⁴⁷ Tomado de la página electrónica: www.newyorktimes.com/libros, Evelyn Fox Sélter, *The Century of the Gene*, 2002. La traducción es mía.

⁴⁸ Elias Trabulse, *La ciencia en el siglo XIX*, pp. 37-39.

cómo una conjetura es inventada, confeccionada con trucos y manipulada conforme a las necesidades del científico, y tal parece que desde el punto de vista de THM, además, tales teorías incluían una visión un tanto preformacionista. Prosiguiendo con el debate del mendelismo, THM dejó claramente señalizadas varias fallas en la hipótesis de la segregación de caracteres, pues creía que la existencia de únicamente dos células germinales distintas constituía una teoría poco sostenible. Al respecto de estas hipótesis, THM dijo lo siguiente:

*Pienso que la condición de dos formas alternativas de caracteres puede ser equiparada al resultado dado por la estabilidad de estos estados o condiciones alternativas, que mantiene los caracteres que conciben al individuo.*⁴⁹

En general, THM debatió el supuesto de la individualidad del óvulo y del espermatozoide como unidades separadas y viables creadores independientes de un ente. Para THM esta hipótesis podía simplemente equipararse con la idea preformacionista de contener cada uno de ellos -por su cuenta- la información necesaria y así no necesitarse uno del otro. En suma, opinaba que el proceso de creación de un individuo era mucho más complejo, que las hipótesis mendelianas sobre tal proceso no bastaban por sí mismas para dotar de explicaciones convincentes y por lo tanto, el enigma de la investigación seguía abierto y sin resolver. El siguiente paso de THM sería revisar consistentemente las leyes de Mendel.

⁴⁹ Thomas Hunt Morgan, "What are 'factors' in Mendelian Explanations?", p. 366.

III

AL APRECIAR el trabajo de THM a la luz de los estándares de la ciencia contemporánea, puedo afirmar que demostró ser un gran científico, sobre todo por atreverse a romper los dogmas de su tiempo, cuestionarlos y comprobarlos por sí mismo. En sus artículos es patente que no tenía ninguna reserva con respecto del reto que se había impuesto, y en especial después de haber censurado fuertemente las teorías y a los seguidores de Mendel. Incluso y a pesar de no haber obtenido éxito en sus primeros experimentos, THM nunca desistió en proseguir en la investigación del problema de la herencia. Como consecuencia de su tenacidad en abril de 1910 obtuvo progresos considerables.

THM seguía líneas muy estrictas, aunque en algunas ocasiones – desde mi punto de vista- fue descuidado con sus afirmaciones, como también lo fue para confirmarlas. Considero que en su afán por la verdad a veces perdía de vista sus propias interpretaciones como en seguida veremos para entrar con mayor detalle en el terreno de la representación y en el uso de las imágenes en los artículos pioneros de THM. Los pasos entre la experimentación, la comprobación y la formulación de los resultados tendrían que ser integrados bajo alguna forma de representación: ya fueran esquemas, diagramas, fórmulas matemáticas, imágenes, etcétera. La tarea de THM esencialmente no sólo consistió en interpretar a Mendel, si no en representar coherentemente sus propios resultados. Irónicamente, THM, quizá sin saberlo conscientemente, cometió el mismo error que Mendel en la manera de presentar sus avances.

Revisemos primero epistemológicamente el caso. La abducción y la analogía⁵⁰ aplicadas por Mendel a la hora de formular sus leyes, a su vez implícitas en las etapas de comprobación, reformulación y reinterpretación de resultados, fueron herramientas lógico-cognitivas claves no sólo para que THM reinterpretara los conocimientos de Mendel. Además le sirvieron para bosquejar los complicados mecanismos de la herencia y el desarrollo embriológico.

En esta secuencia experimental, THM quiso comprobar la transmisión de los caracteres hereditarios y verificar con ello la sustancia que permite que los cambios trasciendan de generación en generación. Para 1910 la comunidad científica acordaba que los cromosomas⁵¹ se encontraban en pares, y que la mosca del vinagre, la *Drosophila*, poseía sólo cuatro pares de cromosomas. No obstante, todavía resultaba ambigua la manera como se concebía a estos elementos fibrosos, puesto que la resolución de los microscopios con los que pudieron ser vistos y localizados dentro del núcleo, no permitía observarlos en detalle. Por lo tanto, aún era vago el conocimiento de su función y de su existencia, y muchas las especulaciones en torno a los cromosomas.

⁵⁰ Cf. Pierce (1961) quien afirma: "El razonamiento *a priori* [la deducción] es inferir un efecto a partir de su causa. Razonar *a posteriori* [la hipótesis] es inferir una causa a partir de su efecto. Claramente hay una tercera vía de razonamiento, que consiste en inferir una conexión mutua entre los varios efectos de una causa; esta es la inducción (o analogía)". Tal identificación se basa, como es sabido, en que la forma breve de la deducción era el entimema y la inducción el ejemplo, paradigma o analogía. Pero Pierce se da cuenta también de que la hipótesis está basada en características de las cosas (más que en las cosas mismas o en las clases de las cosas), y por ello le parece esencial encontrar entre ellas lo común, y es consciente de que a veces no se llega a lo común unívoco, sino a lo analógico. La analogía está, pues, muy vinculada con la abducción que le sirve de base o fundamento. [En Mauricio Beuchot, "Abducción y Analogía". Consultado en la Red Mundial Internet: 2003].

⁵¹ Cromosoma del latín *cromo*, color y *soma*, cuerpo.

En 1910 THM publica otro artículo en *The American Naturalist* titulado "Cromosomas y herencia" ("Chromosomes and Heredity"). En particular el conocimiento que hasta ese momento se tenía de las células germinales y de su participación en el problema de la herencia y el desarrollo embrionario, acrecentaba más las dudas de THM. Por su parte, la literatura científica de la época se encontraba impregnada con estas nuevas ideas, de las cuales para THM destacaban dos. La primera argumentaba que los óvulos y los espermatozoides contenían juegos o partículas de todos los caracteres de la especie - a esta postura o escuela THM la llamaría *teoría particular del desarrollo*. La segunda postura argüía que tanto el óvulo como el espermatozoide eran un tipo de material capaz de pasar por diversos cambios y estadios que producirían su desarrollo - a esta teoría la llamó de *reacción físico-química*.

Para THM la teoría particular del desarrollo parecía más congruente, pues apelaba a las bases materiales de la herencia y el desarrollo, es decir, a las bases de la embriología, pues no debemos olvidar que en aquel entonces se consideraba que la clave de todo se encontraba en el desarrollo embriológico, como veremos más adelante.

Sin embargo, ambos puntos de vista asumían que algo por sí solo dentro del óvulo era el causante y responsable de cada detalle en el desarrollo posterior del individuo. Esto hacía suponer que además debería de existir dentro de cada óvulo algún factor en especial que provocara dicha reacción y desarrollo. Lo cual

a su vez significaba que cada detalle de cada caracter se encontraba dentro del óvulo. THM concluyó que la diferencia básica entre ambas posturas estaba en que mientras una se basaba en las células germinales como el material fundamental de las células, la segunda afirmaba que los cambios se verificaban gracias a cambios químicos que dictaminan el desarrollo del individuo. Sobre esto THM expresa: "Propongo, entonces, examinar con detenimiento estos contrastantes puntos de vista a la luz de las opiniones de nuestro presente, concernientes al óvulo y al desarrollo de este".⁵²

En síntesis, THM constató en ambas posturas supuestos de teorías preformacionistas modernas. Más tarde el problema se redefinió con la teoría moderna de la *teoría particular del desarrollo*. En esta nueva propuesta se sostenía que no sólo el óvulo era el portador de la información, sino que también el espermatozoide la transmitía de igual manera. Entonces cabía preguntarse ¿por medio de cuál mecanismo ambas gametas pueden ser transmisoras de información? Además el espermatozoide aporta al óvulo su cromatina, descubrimiento que debemos a Weissman. Este hallazgo es de vital importancia, pues constituyó el principio de lo que más adelante sería parte de la teoría cromosómica, aunque por el momento THM se mostrara un tanto renuente para aceptar la participación de los cromosomas en la herencia.

Tiempo después Roux le dio un giro a la formulación de la propuesta de Weissman y trajo con ello a los cromosomas al debate científico del momento.

⁵² Thomas Hunt Morgan, "Chromosomes and Heredity", p. 3. La traducción es mía.

La propuesta de Weissman-Roux proporcionó a THM un buen número de argumentos para la teoría moderna. Roux discutía que la figura cariocinética era un importante recurso en la separación de los elementos en la célula. Se suponía que esta figura dividía a la cromatina de los cromosomas en partes iguales. A esto THM añadió que al momento de investigar a los cromosomas en diferentes tejidos, estos eran iguales en todos y cada uno de ellos. Este hecho, según palabras de THM confirmaba la propuesta de Weissman-Roux. Es aquí donde THM acepta inicialmente la acción de los cromosomas en la herencia. Sin embargo mantenía sus dudas, pues básicamente seguía sin esclarecerse la verdadera función de los cromosomas. THM decía que resultaba poco creíble que todo el problema de la herencia y el desarrollo fuera el trabajo de este elemento, calificándolo como un "simple elemento celular".⁵³

A pesar del escepticismo de THM, gracias a que Roux introdujo a los cromosomas en dicha teoría, THM quedó lo suficientemente interesado en el tema, y en consecuencia dedicó el artículo que analizamos ahora al problema de la herencia y al papel de los cromosomas en este proceso. En lo que a THM respecta, el proceso de la fecundación, que actualmente nos parece tan sencillo, suprimió las especulaciones acerca de la función que corresponde al macho y a la hembra en el acto de la procreación. En este sentido, para THM la conexión entre ambas propuestas era el cromosoma. Tomando en consideración la teoría de Boveri sobre la individualidad del cromosoma, independiente del citoplasma, THM argumentó que dicha aseveración resultaba un tanto vaga. Sin embargo no

⁵³ *Ibid.*, pp. 3-4.

deja de admirar el trabajo sobre el cromosoma realizado por Boveri, que le permitirá más tarde llegar a ciertas conclusiones, como la de la individualidad a la que Boveri se refería y que significaba algo más que continuidad genética.

Considerando la individualidad de los cromosomas, THM se formuló a sí mismo una serie de cuestionamientos, es decir, si los cromosomas están hechos de material en su totalidad diferente o parcialmente o incluso si son diferentes en su constitución química. Empero, hasta entonces la única diferencia visible era su tamaño, pues mediante técnicas de tinción de base-ácido, el único resultado obtenido fue el de ser ácidos, sin observarse ninguna diferencia. Pero a pesar de ello, los embriólogos de la época ya habían establecido que entre los cromosomas existían diferencias en su comportamiento fisiológico, de lo cual se infería una diferencia química.

THM se sentía fascinado por los experimentos hechos por Boveri con erizos de mar, en donde si un óvulo era fertilizado por dos espermatozoides (con dos juegos de cromosomas del mismo tipo) de manera simultánea se formaban dos centros, es decir, se dividía como si hubieran sido dos óvulos los fecundados. Claro está que sólo era uno. ¿Entonces, que había sucedido con el material contenido en ambas células germinales? Boveri demostró que un juego de cromosomas es suficiente para el desarrollo normal de cualquier individuo, demostrando así la individualidad del cromosoma. Además, THM analiza en "Cromosomas y herencia" la propuesta de Wilson quien aseguraba la existencia de la continuidad genética de los cromosomas.

No obstante, si un óvulo tuviera dos núcleos, este podría tener una distribución desigual de cromosomas, de tal forma que el desarrollo resultaría anormal. Por lo tanto, Boveri, como cualquier científico de esa época, se preguntó si en aquellos casos se tendría siempre esa disparidad entre ambos núcleos. Así, después de una a dos horas de fecundado, el óvulo se divide en dos células. De nuevo, posteriormente se dividen a su vez cada una de las dos mitades. A continuación se divide cada uno de los cuatro cuartos. Y así continúa el proceso hasta que se forma un número grande de células de las cuales se constituyen los órganos. En consecuencia cada célula contiene la suma total de los cromosomas; y si son estos los portadores de las cualidades hereditarias, cada célula del cuerpo, sea cual fuere su función, posee una herencia común. En resumen, para Boveri cada cromosoma representaba un carácter del individuo o quizás todo un atado de caracteres se encontraba en cada uno de ellos.

La idea de la existencia de diferencias entre los cromosomas, y que además de esas diferencias se les atribúan de igual forma diferentes tareas, fue una idea que no sólo interesó a Boveri y a Driesch, cuando al estudiar los blastómeros y sus divisiones, acordaron que los cromosomas no sólo cargan con la información que darán a los individuos, sino también con ciertas órdenes para formarlos.

Siguiendo con la revisión del trabajo de Boveri, THM llega a varias conclusiones, destacando el énfasis que concedió a la observación detenida del comportamiento del cromosoma en la herencia. En este punto THM hizo un llamado a los citólogos para que pusieran mayor atención en el lugar en donde

para él quedaban muchas dudas. Sobre este crucial aspecto, THM señaló en "Cromosomas y herencia" dos procesos: la sinapsis y la sinesis. Ambos procesos fueron asociados a los procesos citológicos por los que según los embriólogos pasaban los cromosomas. Sin embargo para THM existía una incógnita: si son los cromosomas responsables del desarrollo de todo organismo, ¿cómo es esto posible? Para despejar esta pregunta THM ilustró el problema con el caso del *Ascaris megalocephalla*. THM encontró la existencia de otro individuo aparentemente igual, que sin embargo poseía dos pares de cromosomas menos que *Ascaris*. Entonces, ¿cómo era posible que dos organismos que aparentemente son iguales en el exterior, puedan contener menos información y dar el mismo resultado? Es decir, si los cromosomas son los responsables de la transmisión de la información hereditaria, ¿cómo era posible obtener lo mismo con menos cromosomas? En otras palabras, aparentemente con menos información. Por lo tanto, THM concluye que desde este punto de vista, en donde el número de cromosomas no es importante en el aporte de información para la creación de un nuevo individuo, entonces la individualidad y la continuidad genética deberían ser consideradas como elementos de segundo orden, restándoles así importancia. En realidad THM aún no lograba apreciar cómo era posible que los cromosomas fueran la clave del desarrollo de una especie.⁵⁴ En este punto de su carrera, y manifiesto en el artículo en que comentó, THM entró en un conflicto. Por ello intentaría después explicar cuáles podrían ser los mecanismos hereditarios con fundamento en las leyes

⁵⁴ Thomas Hunt Morgan, "Chromosomes and Heredity", pp. 10-13.

mendelianas. Recordemos de nueva cuenta que las teorías que se manejaban entonces eran exclusivamente las ofrecidas por la embriología, de manera que toda respuesta debería de ser encontrada en los procesos de desarrollo. Con este problema en mente, THM en "Cromosomas y herencia" bosqueja su idea de lo que él imagina que podría ser la transmisión de caracteres de padres a hijos después de la fusión de las gametas.

Con el diagrama ⁵⁵ que a continuación presento (Fig. 1), THM trató de explicar la segregación de caracteres, fundamentalmente mediante la presencia o ausencia del carácter. En este diagrama, THM perfila su propia interpretación de las leyes mendelianas bajo la óptica y los conocimientos de aquella época, y en particular de acuerdo con la teoría de las líneas puras. Los semicírculos de un sólo color expresarán la característica que les haya sido conferida, mientras que los que combinan ambas posibilidades, bien podrían ser considerados como los heterocigotos y no como las líneas puras. Fue así que THM desde su perspectiva representó la segregación de caracteres. Notemos que en el nivel de la imagen, el diagrama elaborado por THM permite concebir dos cosas relevantes:

1. Una visión de conjunto del problema de la transmisión de caracteres.

⁵⁵ *Diagrama*: del griego "diagramma", de "grapho", dibujar. "Gráfico". Representación mediante un dibujo geométrico de un fenómeno una ley. Cf. María Moliner, *Diccionario de uso del español*, p.988. *Diagrama*: Del latín diagramma, y este del griego, διάγραμμα, diseño. Dibujo geométrico que sirve para demostrar una proposición, resolver un problema o figurar de una manera gráfica la ley de variación de un fenómeno. 2. Dibujo en el que se muestran las relaciones entre las diferentes partes de un conjunto o sistema [de flujo]. Representación gráfica de una sucesión de hechos u operaciones. Cf. Real Academia Española, *Diccionario de la lengua española*, p. 743.

2. La posibilidad de percibir elementos en forma aislada dentro del conjunto como también su secuencia y posibles combinaciones.

Además es evidente el grado de simplicidad entre el objeto de estudio (segregación de caracteres) y su visualización; me refiero a que lejos de ser una representación -en sentido estricto- de copia de un original, se trata de una apariencia derivada de una creación geométrica que por analogía establece una relación de semejanza, en este caso de causa-efecto. En otras palabras, la esencia de la relación entre el diagrama (dibujo) y el objeto estudiado es que ambos se encuentran evidentemente presentes ante nosotros como cuerpos que percibimos, empero, a uno se le considera imagen del otro mientras sea manifiestamente como éste, es decir, en tanto que caracteres que se segregan.

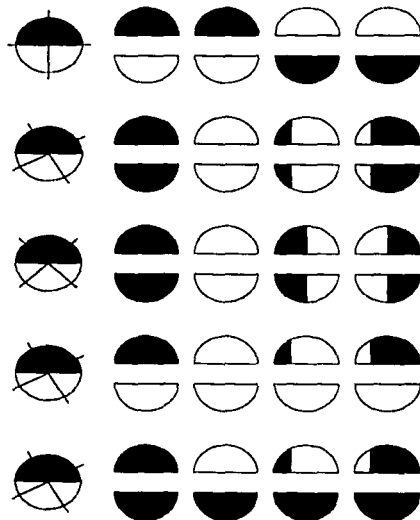


Figura 1: Segregación de caracteres según THM (1910).

Al final de esta representación queda la expresión de los "factores" mendelianos, en este caso los cromosomas de ambos gametos fusionados a la progenie. Así mismo, notemos que se trata de un diagrama que a su vez se basa en los primeros modelos de segmentación de los blastómeros.

THM llegó a la conclusión en "Cromosomas y herencia" de que la transmisión de caracteres sí podría deberse a los cromosomas, pero como el resultado de la diferenciación de tejidos y del proceso de desarrollo embrionario; es decir, la embriología seguía explicando en su mayor parte el desarrollo del cuerpo. Además, tal vez lo más importante, era que sólo los caracteres, como "alto" o "pequeño", fueran responsabilidad o consecuencia de los cromosomas. Sobre el asunto de los cromosomas y el sexo, otro punto de gran interés para los embriólogos, lo analizaré más adelante en otro de sus artículos.

Derivado de todo lo antes expuesto, para 1911 THM redireccionó sus investigaciones con la intención de obtener más fundamentos para su teoría de la herencia cromosómica. Mientras existiera cierta contigüidad entre los cromosomas y los caracteres, éstos tienden a segregarse de manera conjunta, aunque en ocasiones logran separarse, mostrando una ligera mezcla, casi indetectable, como lo explicara en el diagrama anterior.

Recapitulando, fue así que THM infirió cuál podría ser el proceso de recombinación entre cromosomas, asumiendo que dos cromosomas pareados pueden entremezclarse entre ellos, información que más tarde le serviría para proponer que la frecuencia de recombinación es una función a distancia que se

da entre los caracteres- cromosoma. Un año después Alfred Sturtevant, uno de sus alumnos más sobresalientes, haría el mapa genético de los caracteres ligados al sexo en la mosca *Drosophila*.

IV

A PRINCIPIOS DE 1910 encontró en una de sus botellas llenas con moscas un macho de ojos blancos, cuando el fenotipo normal era de ojos rojos. El nacimiento de esta mosca mutante hizo que THM tuviera más interés en el problema de la herencia. Básicamente, se preguntó: ¿cómo fue posible que ese macho naciera con un color diferente de ojos? y ¿qué fue lo que determinó ese color? Tras desarrollar diversos experimentos, a finales de 1910 THM publicó su artículo "Herencia determinada por el sexo en *Drosophila*" ("Sex Limited Inheritance in *Drosophila*"). En este trabajo buscó explicar la aparición de este carácter (ojos blancos) y cómo posiblemente fue transmitido a la mosca macho. De nuevo, surgió aquí el problema de la representación de los resultados de las investigaciones de THM. A pesar de que inicialmente sus explicaciones eran confusas y contenían algunos errores, THM descubriría una de las claves de su teoría, es decir, cómo los cromosomas tenían una estrecha relación con esos factores, además de afirmar que éstos eran responsables de la transmisión de caracteres de padres a hijos. También descubriría que este factor mutante se transmitía de forma cruzada, es decir, dicho carácter aunque persistente en machos, pasaba de generación en generación. Para explicar este procedimiento

THM se valió de diversos esquemas y tablas que desafortunadamente no eran del todo precisas. En el primer esquema THM mostraba la cruce entre una hembra de ojos rojos y un macho de ojos blancos. Al caracter de ojos rojos lo denominó como del tipo silvestre, mientras que al caracter blanco lo conocía como mutante. Cabe señalar que la nomenclatura que utilizó también resultó ser un tanto confusa para el lector. Utilizó la letra "W" para indicar el color mutante (white/blanco), "R" para indicar el color silvestre (red/rojo). Tal y como se ilustra en el esquema siguiente, se designó a los machos mutantes ^A y a las hembras silvestres ^A. Finalmente la "X" simbolizaba al sexo. El esquema ⁵⁶ se observaba entonces de la siguiente manera:

$$WX - W \text{ (male)}^A$$

$$RX - RX \text{ (female)}^A$$

$$RWXX \text{ (50\%)} - RWX \text{ (50\%)}$$

Red female Red male

Esquema número 1: Cruza entre una hembra de ojos rojos y un macho de ojos blancos.
(T. H. M. "Sex Limited Inheritance in *Drosophila*", 1910.)

⁵⁶ *Esquema*: Del latín *schema*, y este del griego σχήμα, figura. Representación gráfica y simbólica de cosas inmateriales. 2. Representación de una cosa atendiendo sólo a sus líneas o caracteres más significativos. Cf. Real Academia Española, *Diccionario de la lengua española*, p. 902.

Después, lo que hizo fue cruzar a los machos y a las hembras que obtuvo de la filial 1 (o F1), representando los resultados de la manera siguiente tabla:

RX — WX (F1 female)

RX — W (F1 male)

RRXX	RWXX	RWX	WWX
(25%)	(25%)	(25%)	(25%)
Red	Red	Red	White
Female	Female	Male	Male

Tabla número 1: Cruzas y filiales.
(T. H. M. "Sex Limited Inheritance in Drosophila", 1910.)

Desafortunadamente, la forma de presentar sus datos no fue la ideal, pues esta no sólo confundía al lector. Si se analiza con cuidado y detenimiento esta tabla, se verá que existe un pequeño error en las filiales. Así, por ejemplo, si se utiliza el cuadro de Punnet como comprobación no se obtienen los mismos datos. Por ello más tarde se valió de otros recursos para demostrar su punto. Lo anterior es un claro ejemplo de que la capacidad para comunicar ideas en la ciencia es de vital importancia. Pues en este caso no sólo hubiera sido más entendible para el lector, incluso hubiera sido mucho más preciso para el propio THM. Sin embargo la forma en cómo se trasmite el conocimiento resulta una tarea aún más compleja, pues en una explicación está el entendimiento no sólo de la comunidad científica, sino también el de todos aquellos interesados. León Olivé, sobre este aspecto comentó:

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

*La difusión debe incluir no sólo los conocimientos científicos, los logros y las aplicaciones de la ciencia, sino que de una manera igualmente importante deberían difundirse ideas adecuadas sobre los procedimientos científicos.*⁵⁷

No obstante, en ese tiempo la mayor preocupación de THM era la comprobación de los postulados de Mendel y la demostración de las deficiencias de los mismos. Para probar su hipótesis THM bosquejó en "Herencia determinada por el sexo en *Drosophila*" el método que siguió y los resultados que obtuvo de las diversas cruzas que hizo para comprobar cuál era el hecho o factor que determinaba cualquier característica expresada por los individuos, en este caso el color de ojos de las moscas. De esta manera, en la hibridación de hermanas y hermanos para obtener una segunda filial, en cuyo caso indistintamente del sexo todos eran heterocigotos, el resultado según Mendel debería de ser $\frac{1}{4}$ de homocigotos dominantes, $\frac{1}{2}$ heterocigotos y un $\frac{1}{4}$ homocigotos recesivos o lo que es lo mismo: $\frac{3}{4}$ de la progenie resultante eran moscas de ojos rojos, mientras que el $\frac{1}{4}$ restante tenía ojos blancos. Sin embargo THM notó algo más, curiosamente sólo los machos tenían ojos blancos, no así las hembras. Por lo que con este experimento THM demostró que el factor que determinaba el color blanco en los ojos, era un cromosoma que había cambiado y que exclusivamente afectaba a los machos. THM observó que las hembras y los machos de ojos blancos que había obtenido estaban en igual número, por lo tanto, el color blanco en ojos no sólo era un caracter recesivo, sino que también

⁵⁷ León Olivé, *Revista Ciencias*, "La comunicación científica y la filosofía", p. 49.

era un caracter ligado al sexo. Los datos obtenidos quedaron expresados en la siguiente Tabla número 2:

P: all RWXX		all RWX	
	♂	½ RX	½ W
½ RX	♀	¼ RRXX <i>red female</i>	¼ RWX <i>red male</i>
½ WX		¼ RWXX <i>red female</i>	¼ WWX <i>white male</i>

Tabla número 2: Cruza de la progenie y segregación de caracteres.
(T. H. M. "Sex Limited Inheritance in *Drosophila*", 1910.)

THM asumió entonces, en este caso específicamente, que el color de ojos era portado por el cromosoma "X". Confirmó de manera indirecta, la existencia de un "factor, "partícula" o "elemento" encargado de transmitir ciertos caracteres, en este caso, estos se encontraban en los cromosomas. Aunque en sus documentos no lo expusiera de manera explícita, en sus resultados sí lo plasmaba. También en "Herencia determinada por el sexo en *Drosophila*", THM dedujo el proceso de resultado. El descendiente macho heredaba el cromosoma "X" de su madre y el cromosoma "Y" de su padre. En este caso cualquiera de los dos que portara el color blanco, daría como producto machos de ojos blancos, y aún más, si sólo el macho portaba el caracter de ojos blancos sólo lo transmitiría a los machos y no a las hembras, aunque sí las podía hacer portadoras. Con

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

esto, de inmediato supuso una relación entre cromosomas ligados al sexo y una segregación de los factores que determinan el color de ojos.

En consecuencia, una madre homocigota, con dos copias del gen que proporciona ojos rojos, dará como resultado una progenie de machos invariablemente de ojos rojos, aún cuando el padre tenga hijos blancos. Pero cuando la madre tenga ojos blancos, su progenie de machos también los tendrá blancos, aún cuando el macho tenga ojos rojos. En contraste, una hembra obtiene un cromosoma "X" del padre y el otro "X" de la madre; en caso de que alguno de ellos contenga el gen que da color de ojos rojos, su progenie tendrá ojos rojos también, ya que el color rojo resulta ser un carácter dominante sobre el blanco. Sólo cuando ambos padres proporcionen cromosomas con genes para ojos blancos será una hembra recesiva. Así THM concluye que el alelo que produce el color de ojos se encuentra asociado al cromosoma sexual, conocimiento que provee la primera correlación entre un rasgo distintivo con un cromosoma en específico. Sé que es difícil de comprender sin perder el hilo dentro de este enorme laberinto de conceptos, por eso THM en sus obras subsecuentes trató de ser más preciso en sus planteamientos, mismos que analizaremos más adelante en el capítulo final.

Para resumir lo anterior, señalo que THM perfiló tres grandes descubrimientos: (1) los genes residen en los cromosomas, (2) cada gen reside en un cromosoma particular, y (3) la característica para el color de ojos se encuentra en el

cromosoma sexual, faltando el locus (ojos blancos) en el cromosoma "Y", y el color rojo es dominante en el cromosoma "X".

A partir de estas conclusiones THM pudo formular su idea más trascendente: la teoría de la herencia cromosómica. Sin embargo aún no llegaba a la conclusión más importante: que cada cromosoma contenía una pequeña colección de unidades llamadas genes⁵⁸ con lugares muy específicos dentro de los cromosomas. Una vez más, y después de valorar los resultados obtenidos con sus moscas, THM continuó sus estudios para comprender el problema de la herencia. No perdamos de vista el hecho de que un año antes, cuando hiciera una crítica muy fuerte a las reinterpretaciones que entonces se hicieron sobre las leyes de Mendel, él había descartado la posibilidad de que estos "factores" estuvieran involucrados en estos procesos. En suma, que la información estuviera contenida en estas células femeninas y masculinas individualmente. Ahora declinaba un poco en favor de las leyes mendelianas.

V

ANTERIORMENTE DIRIGÍ la atención a las imágenes que THM comenzó a utilizar para representar la información en sus documentos. También señalé la importancia de hacerlo visualmente pues facilita la comprensión de sus teorías. Ahora bien, los problemas de la representación también son los inherentes al conocimiento en general o a la realidad que constituye el término objetivo del

⁵⁸ Recordemos que este término lo propuso Wilhem Johannsen tiempo antes.

conocimiento; en otra dirección los relativos a la relación entre las palabras y los objetos significados.⁵⁹ La objetividad en la expresión del conocimiento dependerá, por un lado, del expositor-autor, y por el otro, de la interpretación de la teoría del autor por parte del lector-intérprete. Por consiguiente, en ocasiones es difícil comunicar las ideas y trasladarlas en palabras. Y seguramente tampoco esta exento de dificultad llevar las palabras a las imágenes. Por todo esto, la representación constituye un factor de capital importancia en la comprensión de las leyes mendelianas, reinterpretadas 50 años después por THM. Interpretado de otra manera, el valor general de cualquier representación es, por un lado, su vínculo con el concepto que describe y teoriza a un objeto de estudio, y por el otro, su grado o nivel de visualización del objeto mismo, ya sea imaginativo en su calidad de sensación que evoca mentalmente al objeto rodeado de su concepto o meramente perceptivo, como recuperación de la realidad del objeto.

En 1913 THM publicó "Simplicidad *versus* adecuación en las fórmulas mendelianas" ("Simplicity *versus* Adequacy in Mendelian Formulae"). Mostrando tanto puntos a favor como en contra, la intención general de THM en este artículo fue la de refutar la nomenclatura propuesta por el Profesor William E. Castle.⁶⁰ Particularmente en este trabajo observamos que para THM la discusión central gravita en torno al papel de la representación del conocimiento, en aras de su comprensión y entendimiento por parte de cualquier lector. THM afirmaba


⁵⁹ Debo estas ideas a los comentarios de Miguel Ángel Avilés Galán, con respecto a los aspectos semióticos de la representación y sus referencias a la hermenéutica como metodología general de la interpretación.

⁶⁰ Thomas Hunt Morgan, "Simplicity *Versus* Adequacy in Mendelian Formulae", *apud.*, Garland E. Allen, *op cit.* p. 372. La traducción es mía.

que un sistema simple de nomenclatura no ayuda al lector a comprender correctamente las leyes mendelianas, por lo que consideraba necesario para algunos casos especiales utilizar más que un sistema simple. Para justificar su opinión expone tres razones muy importantes.

En primera instancia, la existencia de heterocigotos y sus alelomorfos demanda un sistema de signos adicional al existente para aclarar ciertas situaciones. En segunda instancia, uno de los mayores problemas a los que THM se enfrentó fue al del enorme número de mutaciones que tiene la *Drosophila*, por lo tanto, un sistema simple no se adecuaba a las necesidades de este experimento. En tercera instancia, otra complicación era la interpretación de la herencia ligada al sexo, pues la nomenclatura o fórmula disponible fracasaba a la hora de representar este caso.

Presumamos que tenemos un hembra con características *abcdef*. ¿Qué pasaría si a y b fueran caracteres ligados al sexo? El resultado sería al momento de expresar la condición del macho que sólo podría ser representado *cdef*, lo cual mantendría incompleta la ecuación. Ante esta situación, THM propuso que en la representación de estos alelomorfos lo más adecuado sería señalarlos con un distintivo o indicativo. Decidió que: para los alelomorfos recesivos sería *a'b'c'd'e'f'* y en el caso de los alelomorfos dominantes sería *A'B'C'D'E'*. De nueva cuenta, el problema de representar el objeto de estudio, en este caso, ahora fue llevado al ámbito de la nomenclatura (simbólica) más no precisamente a la visualización-imagen. Cabe hacer notar que este último artículo que he

analizado apareció dos años antes de que THM publicara su primer libro, en donde analizara las teorías mendelianas e hiciera sus primeros argumentos que sustentarán más tarde su teoría del gen. Sin embargo considero este texto en particular como una muestra primaria de su interés por la representación de conceptos, indispensable en el entendimiento de cualquier teoría científica. 

La genética no ha hecho nada por resolver el problema "del origen de las especies". Temo "ser imprudente", por miedo a que ustedes concluyan de que ustedes realmente lo crean. Nosotros podemos (y sabemos que podemos) arreglar cierta evidencia —evidencia que creemos importante— que sostiene el origen y forma de la nuevas representaciones de herencia. Y esa es la evidencia que voy a considerar ahora.

Los frutos del mendelismo en el origen de las especies. (1923)

Thomas Hunt Morgan

3. DE LA TEORÍA CROMOSÓMICA A LA TEORÍA DEL GEN

DESPUÉS DEL DESCUBRIMIENTO hecho por THM y sus alumnos, Alfred Henry Sturtevant, Calvin Blackman Ridges y Hermann Joseph Müller, relativo a la herencia ligada al sexo, el equipo llevó a cabo otros experimentos y análisis citológicos utilizando la mosca del vinagre *Drosophila melanogaster*. Formalmente así recomenzaron los trabajos del *Grupo Drosophila*, consiguiendo revelar algunos de los mecanismos de la herencia que involucraban a los cromosomas mediante la comprobación de las leyes que Mendel anteriormente había propuesto. El manejo experimental de la mosca de la fruta dentro del laboratorio facilitó enormemente a THM y a su grupo vincular la relación entre las leyes mendelianas y los cromosomas.

Desde el punto de vista del embriólogo, la pregunta más importante no es cuanta información hereditaria es transmitida de una generación a otra, sino cómo es que esa información se traduce en el desarrollo de un adulto. THM y sus colegas

introdujeron un nuevo paradigma de grandes dimensiones para la biología: la teoría cromosómica o de la herencia o de la teoría del gen.

Dos líneas de trabajo fueron las que contribuyeron a que THM cambiara su punto de vista acerca de la teoría cromosómica y las leyes mendelianas. La primera fue la información adicional que recibiera sobre el comportamiento de los cromosomas, como actores importantes en la determinación del sexo. Y la otra fueron los propios experimentos que THM llevará a cabo con la mosca de la fruta, comprobando las leyes mendelianas, además del nuevo conocimiento adquirido en herencia ligada al sexo.

En 1910 el redescubrimiento de dos nuevos mutantes ligados al sexo (cuerpo amarillo y alas reducidas), crearon incertidumbre y curiosidad en el equipo de THM pues al parecer esas mutaciones estaban asociadas al cromosoma 'X'. THM siguió muy de cerca los resultados que obtuvo después de varias cruzas con estos factores y observó que los rangos de las cruzas variaban de característica a característica. Aparentemente este patrón anormal que THM obtenía Bateson y sus compañeros de trabajo ya lo habían estudiado en la década pasada.⁶¹

Y regresando al asunto de los alelomorfos es precisamente en el trabajo de Bateson en quien THM basa sus discusiones y argumentaciones sobre la multiplicidad y expresión de dichos factores. William Bateson, Elizabeth Saunders y Reginald Crundall Punnet en 1905, trabajando con chícharos, encontraron dos

⁶¹ Garland E. Allen, *The Man and His Science. Thomas H. Morgan*, p. 156.

caracteres apareados. Sin embargo este apareamiento no siempre era completo. Bateson también era embriólogo y al igual que THM se oponía a las teorías morfológicas de la herencia y el desarrollo. Tiempo después Bateson y Punnet desarrollaron una compleja teoría de acoplamiento y repulsión, a la que denominarían "reduplicación". Esta hipótesis no obtuvo el éxito deseado por quienes la formularon pero quedó como un "preparadigma" por decirlo de alguna manera hasta antes de 1910.⁶²

Para explicar sus observaciones sobre entrecruzamiento y recombinación, THM haría una sugerencia, misma que lo llevaría dentro del camino hacia el Premio Nóbel. THM había leído la teoría del quiasma de F. A. Janssen. En esta Janssen habla sobre una ruptura en los cromosomas homólogos durante el entrecruzamiento y que estos se vuelven a unir en el proceso de formación del quiasma. A esto THM argumentó:

*En el lugar de atracción, repulsión, y orden de procedencia y su elaborado sistema de acoplamiento, me aventuro a sugerir una explicación basándome en una comparación sencilla de los resultados que obtuve de herencia de color, color del cuerpo, mutación en alas, y el factor sexual para el caso de *Drosophila*. Si los materiales que representan a estos factores están contenidos en los cromosomas, y estos factores se entrecruzan juntos de manera lineal, luego cuando los pares parentales (en heterocigocis), conjugándose, como regiones que se oponen. Existe evidencia que sustenta que durante el estado de estrepisnema (un estado temprano de la meiosis) los cromosomas homólogos giran alrededor del otro, pero cuando los cromosomas se separan (división), la división es en un solo plano, como lo sostiene Janssen. En consecuencia el material original podría, en distancias cortas, parecer caer al mismo lado de la división, al igual que en las regiones más remotas pareciera caer también en el mismo lado al igual que el lado opuesto. En consecuencia encontramos que el acoplamiento de ciertos caracteres, poca o ninguna evidencia se ha encontrado acerca de la unión en ciertos caracteres; la diferencia depende de la distancia lineal del material cromosómico que representa a los factores... Los resultados son mecánicamente simples, producto de la localización del material en el cromosoma, y del método de unión de cromosomas homólogos, y la proporción que resulte no es tanto la expresión de un sistema numérico pero si es relativo al lugar donde se*

⁶² Op. cit., pp. 156-157.

encuentren los factores en el cromosoma. Instando a un rango de segregación en un sentido mendeliano, encontramos una "asociación de factores" que son localizados juntos en el cromosoma. La citología faculta la demanda del mecanismo.⁶³

Aparentemente THM comenzaba a vislumbrar el hecho de que dentro de los cromosomas existían estos 'factores', encargados de la transmisión de los caracteres hereditarios, pero aún no logra ubicarlos como lo que ahora conocemos como genes. En el diagrama (Fig. 2) que a continuación presento THM trató de ejemplificar lo que según su conclusión debería de estar pasando al momento de un entrecruzamiento (o crossing over).

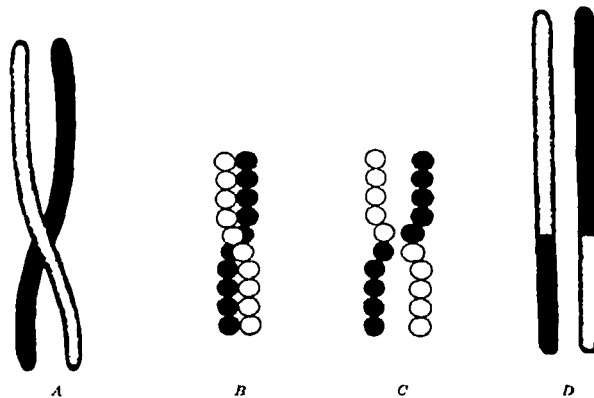


Fig. 2. Representación del entrecruzamiento. (A) Nivel en el que blanco y negro se entrecruzan en hasta fusionarse y unirse en (B y C) como lo demuestra (D). [The Mechanism of Mendelian Heredity, p. 60]

⁶³ T. H. Morgan, "Random Segregation versus Coupling in Mendelian Inheritance," p. 384, *apud*. Garland E. Allen, *The Man and His Science. Thomas H. Morgan*, pp. 160-161. La traducción es mía.

Según THM, las hebras negra y blanca representan a los dos miembros de un par de cromosomas homólogos, en donde una de estas hebras proviene de la madre y la otra del padre. Estos dos miembros de este par de cromosomas homólogos pasan por un proceso de quiasma, como le denominará Janssen para después comenzar las divisiones meioticas dentro de las células germinales que darán como resultado un espermatozoide y un óvulo.⁶⁴

Entre 1911 y 1914 THM, junto con Sturtevant y Müller, identificaron cerca de dos docenas de mutaciones; todas ellas fueron agrupadas en tres grupos de entrecruzamiento -como decidieron llamarlos- es decir, grupos de factores que se apareaban y eran heredados como cualquier carácter normal. THM pensaba que cada uno de estos grupos se ligaba a su vez a un cromosoma específico en *Drosophila*. Sin embargo el trabajo de Wilson y Stevens en 1905 mostró que la mosca poseía cuatro pares de cromosomas y tres grupos de entrecruzamiento para ellos. Para 1914 las piezas de este rompecabezas comenzaban a encajar, toda vez que Müller descubrió una nueva mutación consignada dentro de una cuarta categoría de entrecruzamiento. Como resultado de lo anterior, para THM comenzaron a tener claridad las interpretaciones cromosómicas de las leyes mendelianas, apreciando su gran potencial. Las dos teorías no eran incompatibles, pero había que estar seguro antes: se debía ver las dos caras de la moneda.⁶⁵

⁶⁴ Garland E. Allen, *The Man and His Science. Thomas H. Morgan*, p. 162.

⁶⁵ *Op. cit.*, p.164.

Recordemos que desde su primera aproximación a las leyes de Mendel THM se manifestó renuente a creer ciegamente tales postulados. Por ello THM y sus colaboradores crearon mapas cromosómicos lineales en los que a cada factor o carácter se le asignaba una posición específica.⁶⁶ Este trabajo dio como resultado la obra *El mecanismo de la herencia mendeliana (The Mechanism of Mendelian Heredity, 1915)*, el primer libro de THM y el único que escribiera con la colaboración de sus alumnos, y que con el paso del tiempo, influyera profundamente en la comunidad científica de la época, pues esta obra representó una importante contribución para el desarrollo de la genética moderna por razones que a continuación discutiremos en este capítulo.

II

EN EL INICIO de *El mecanismo de la herencia mendeliana* THM revisó las teorías de Mendel, primero con la comprobación de la segregación de aquellas "unidades o factores", como Mendel les llamó y que tanto atrajeron la curiosidad de THM. ¿Qué podrían ser estas unidades? ¿Cómo funcionaban? ¿Funcionarían de la misma manera en todas las especies? Para el asombro de THM dichas unidades no eran binarias como Mendel lo propusiera; por el contrario, los factores de estas unidades podrían ser infinitos. THM retoma su análisis partiendo de la replica de los experimentos que Mendel efectuara con chícharos, sólo que ahora THM los haría con la mosca de la fruta *Drosophila melanogaster*. Como ya he señalado,

⁶⁶ Ana Barahona, *El hombre de las moscas. Thomas H. Morgan*, p. 15.

gracias a esta elección, THM obtuvo un sin fin de variantes, muchas más que las que Mendel supuestamente hubiera obtenido. Sin embargo THM reconoce que fue gracias a los trabajos de Walter Sutton, posteriores a Mendel, que en ese entonces ya se podía saber que tales "unidades" son "caracteres", mismos que son segregados azarosamente y con diversas fórmulas que la naturaleza emplea. De ahora en adelante los factores se convierten en cromosomas, pero ¿cómo trabajan?

En 1905, B. Wilson y Nettie Stevens hicieron un gran aporte al estudiar al "accesorio cromosómico" - descrito por primera vez en 1891 por Herman Henking⁶⁷ - y su relación con la determinación del sexo.⁶⁸ El accesorio cromosómico tenía una forma dispareja, es decir, un tanto irregular, diferente al resto de los cromosomas, por lo que parecía no tener compañero con el cual aparearse. Ahora lo conocemos como cromosoma 'Y' y normalmente se encuentra apareado por un cromosoma 'X'. El primero en suponer y proponer que este accesorio estaba relacionado con la determinación del sexo fue C. E. McClung en 1901, pero Wilson y Stevens en 1905 presentaron pruebas decisivas con relación a este accesorio demostrando su papel en la determinación del sexo. Ofrecieron evidencia citológica que mostraba la existencia de dos patrones presentes en el reino animal: aquellos en donde el macho sólo poseía el cromosoma 'X' designando a este grupo del tipo 'XO', y aquellos en donde el macho, además de

⁶⁷ Herman Henking, "Über Spermatogenese und deren Beziehung zur Entwicklung bei *Pyrhocoris apterus* L.," apud. Garland Allen, *The Man and His Science*. Thomas Hunt Morgan, p.129. La traducción es mía.

⁶⁸ *Op. cit.*, pp.128-129.

poseer el cromosoma 'X' poseía otro al que se denominó 'Y', es decir, del tipo 'XY'. Sin embargo esto no animó a Wilson a asegurar que estos cromosomas determinaban el carácter masculino o femenino.⁶⁹ Para entenderlo, se elaboró un diagrama que explicaba la relación entre las gametas (Fig. 3). Aquí se muestra cómo existen en el espermatozoide dos tipos de gametas: unos que se portan en el cromosoma 'X' y los otros en el cromosoma 'Y'. Los óvulos por su parte sólo son portadores del cromosoma 'X', de tal forma que después de la unión de estas gametas los resultados pueden ser dos: 'XX' o 'XY', tal y como se explica a continuación.

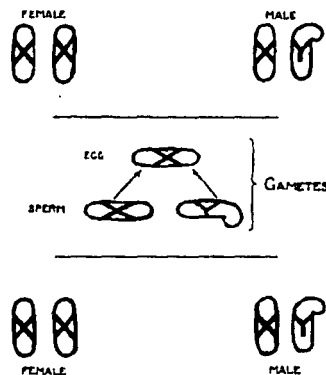


Figura 3: Determinación del sexo. Se ilustra el paso de generación a generación de los cromosomas sexuales. [*The Mechanism of Mendelian Heredity*, p.15]

Además cabe resaltar que en este diagrama (Fig. 3) se representa lo que internacionalmente fuera aceptado: la gameta que contiene al cromosoma 'Y' esta

⁶⁹ *Ibid.*, pp. 129-130.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

simbolizada con un garfio. Sin embargo, -a mi parecer- el problema para entender este diagrama es uno muy simple. La forma de las gametas no es distinguible a simple vista, además, las siglas de los cromosomas sexuales pueden ser confundidas fácilmente al encontrarse dentro de los dibujos las que simbolizan. Por otra parte, el dibujo no indica que "Y" y "X" son cromosomas, pues se infiere que así se entiendan. Por lo tanto, la interpretación del diagrama no es explícita por sí misma pues requiere del concepto que intenta representar.

Un año después, en 1906, las respuestas que Wilson proveía eran vagas con respecto de la determinación del sexo, alegando que era posible una comprobación con las ideas mendelianas, pero al igual que E. W. Castle (quien fuera fuertemente criticado por THM debido a su descuido y a la poca seguridad en sus afirmaciones) ambos no supieron explicar cómo los conceptos mendelianos de dominancia y recesividad podían ser aplicados a la determinación del sexo.⁷⁰

Puesto que THM era un ávido lector supo de ciertos estudios que se estaban haciendo con esta mosca de la fruta entre 1906 y 1907. THM en un principio utilizó ratones, pero debido a que los tiempos de crecimiento y reproducción de estos animales eran demasiado largos resultaban poco efectivos para sus propósitos. Fue así que se interesó en los estudios hechos por W. E. Castle con la mosca de la fruta y decidió que ésta podría ser la clave para el éxito de sus experimentos.

⁷⁰ *Ibid.*, pp. 130-131.

Por mi parte, la lectura de *El mecanismo de la herencia mendeliana* puso a prueba mis propios fundamentos en genética, pues resulta muy fácil perderse en la terminología de la conceptualización que THM desarrolló en esta obra. En particular no resultó tan evidente entender en una primera lectura-interpretación porqué fue para THM tan importante la herencia ligada al sexo. Sin embargo, las claves para su comprensión apuntan hacia otros hechos históricos que formaron una parte decisiva en el contexto bajo el cual es rigurosamente necesario valorar el contenido de esta obra y así evitar caer en el error de únicamente depender de la interpretación personal.

Recordemos que THM se recibió en zoología experimental en la Universidad de Columbia y que posteriormente se especializó en el área de embriología. Partiendo de estos hechos es por lo tanto posible suponer que lo más significativo para THM como embriólogo era descifrar la incógnita del momento con respecto al tiempo que estaba viviendo. Así, THM no sólo quería constatar si los lineamientos de Mendel eran correctos, sino también si eran aplicables a sus propuestas y sobre todo si podrían ayudarlo a encontrar la clave de la determinación sexual y del desarrollo. En otras palabras, el debate del mendelismo, la formación de THM, la aproximación de THM a la obra de Mendel y su propia agenda científica, todos estos elementos en conjunto, además de las ideas científicas predominantes en su época influenciaron sus investigaciones y perfilaron, en ocasiones de manera directa, la trayectoria a seguir. Por ello en *El mecanismo de la herencia mendeliana* no se perfila del todo o al menos de manera homogénea su posterior teoría cromosómica. Digamos que se encuentra en potencia pero sin desarrollar.

Sobre este aspecto, la teoría cromosómica propuesta por Walter Sutton y Theodor Boveri fue de vital importancia en la concepción de THM, pues así lo menciona en el libro que analicé, remarcando además que la unión entre gametas aclara mucho más el panorama que el mismo THM observara en sus moscas. Cronológicamente, THM comenzó sus investigaciones con la mosca *Drosophila*, en 1908. Para 1910 observó la aparición, por mutación, de nuevos caracteres en la mosca de la fruta. Ante estos hechos, THM describió sumariamente cuatro grupos de caracteres para la *Drosophila*: la mosca poseía cuatro pares cromosómicos y de estos un par era el par sexual. Así en el siguiente diagrama (Fig. 4), del lado izquierdo representó a los cuatro pares de cromosomas de la *Drosophila* femenina, mientras que del lado derecho encontramos tres pares de cromosomas largos y un par pequeño. También en el diagrama se hace una distinción en los pares de cromosomas sexuales, mientras que los de la hembra son de igual largo que los otros, los del macho son más pequeños, además de ser representados con un tipo de garfio en virtud de un acuerdo internacional como ya se había mencionado antes.

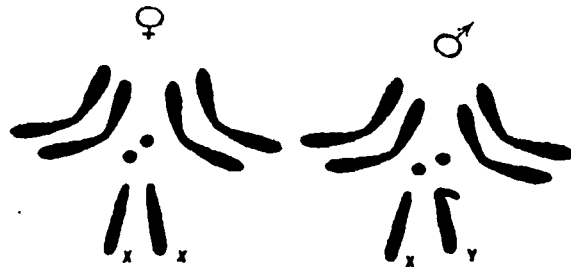


Figura 4: Los cromosomas femeninos y masculinos de *Drosophila amphelophila*.
[*The Mechanism of Mendelian Heredity*, p.7]

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

THM también encontró la expresión correcta de los cromosomas sexuales para *Drosophila* y delimitó su variación, siendo para la hembra 'XX', mientras que para el macho sería 'XO'. En este diagrama (Fig. 4) THM nos muestra efectivamente los cuatro cromosomas, sin embargo sigue, al igual que en el esquema anterior, un tanto confuso, pues si observamos con detalle uno de los pares son sólo dos puntos, lo cual haría preguntarse al lector de la razón de esta diferencia con relación al resto. Además existe otro pequeño problema. THM explica que después de la fecundación el número cromosómico se duplica y pasa por un proceso un tanto complicado para después crear dos células hijas. Esto THM también lo explicaría mediante un diagrama (Fig. 5).

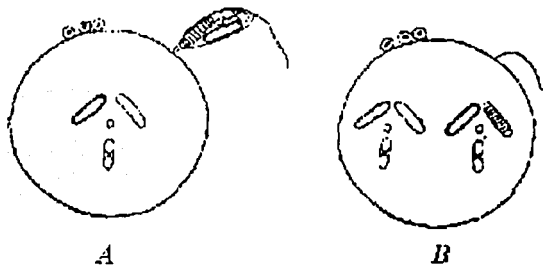


Figura 5: Proceso de recombinación de información después de la fertilización según THM.
[The Mechanism of Mendelian Heredity, p. 10]

A su vez THM explicó muy detalladamente la manera en que los espermatozoides transportan y recombinan su información con la información contenida en el óvulo. En el siguiente diagrama (Fig. 6) queda expresado el proceso de recombinación de información después de la fertilización, en donde uno de los cromosomas contenidos en el espermatozoide difiere del óvulo. Además cabe resaltar que

TESIS COM
 FALLA DE ORIGEN

dentro de esta obra THM explica que una vez fertilizado el óvulo por el espermatozoide el número cromosómico se duplica. Por cada cromosoma aportado por el espermatozoide existe una correspondencia para cada cromosoma del óvulo. Por lo tanto existen dos cromosomas de cada tipo, pues cada cromosoma tendrá su par en el óvulo. Así las células germinales tienen en principio un juego doble de cromosomas. Posteriormente se diferencian y dividen. Este proceso de división, explica THM, es distinto del de las demás células. A cada unidad del padre y de la madre se les conoce como factores, tales factores se encuentran pareados, y a cada uno de ellos los denominó 'alelomorfos'. Cuando estos se separan, según THM los cromosomas se segregan en cada una de estas células resultantes.⁷¹

⁷¹ Thomas Hunt Morgan et al, *The Mechanism of Mendelian Heredity*, p. 3.

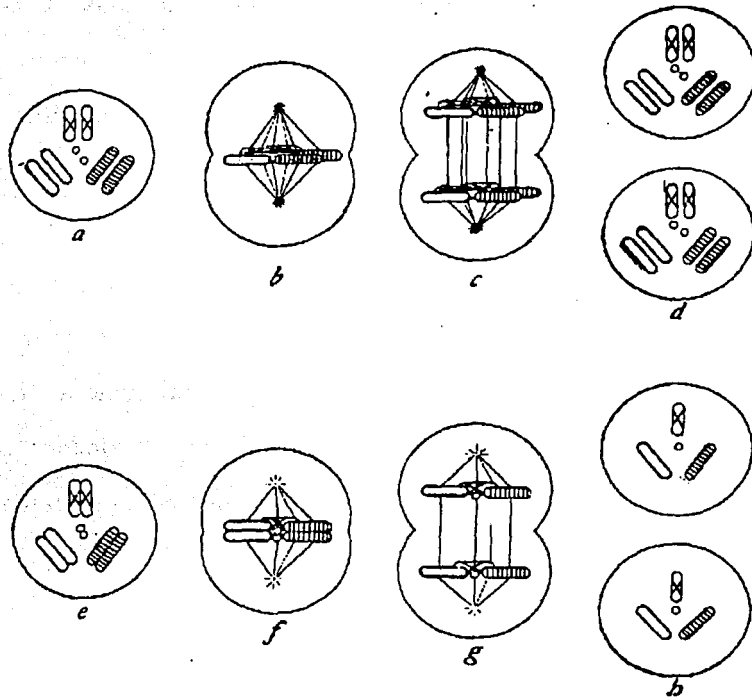


Figura 6. En la línea superior encontramos la división del óvulo y de los cromosomas, mientras que en la inferior podemos observar la reducción de las células germinales, después de que los cromosomas se unieron en pares.
 [The Mechanism of Mendelian Heredity, p. 3]

Al analizar este diagrama (Fig. 6) podrá observarse que los cromosomas seguían siendo considerados como unidades indivisibles, unidades que podían ser combinadas como naipes, y de esta forma sucedía -según THM- la segregación de caracteres. THM exponía así que las células reproductivas eran semejantes a las demás células del cuerpo, en cuanto que contenían una provisión completa de cromosomas, la mitad de los cuales son de origen paterno y la otra mitad de origen materno, y lo único que los distinguía era el proceso de división por el que

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

pasaban. Si los cromosomas portaban los factores de la herencia y tienen una estructura fija y determinada, podríamos entonces decir que se darían tantos grupos de caracteres según cuantas clases de cromosomas. Por lo que para THM, de resultar que los cromosomas fueran los portadores de dichos caracteres, era de esperarse entonces que los factores llevados por los mismos cromosomas se heredaran de manera conjunta. Más adelante THM lo describiría en los siguientes términos:

*El óvulo de cualquier especie de animal o planta lleva consigo un número determinado de cuerpos llamados cromosomas. El esperma lleva de igual manera, el mismo número de cromosomas. En consecuencia, cuando un espermatozoide se une a un óvulo, el óvulo fertilizado contiene, para entonces, el doble de cromosomas. Cada cromosoma aportado por el espermatozoide corresponde a cada cromosoma, igualmente aportado por el óvulo, por ejemplo, existen dos cromosomas de cada clase, que junto con el otro constituyen entonces un par.*⁷²

Posteriormente, en el siguiente diagrama (Figura 7) THM ilustró cómo ese óvulo fertilizado por el espermatozoide y los cromosomas homólogos se conjuga en pares, para que finalmente se separen y formen dos células hijas. De esta manera la segregación de caracteres propuesta por Mendel tenía mucho más sustento y se entendía mejor.⁷³ Al mismo tiempo, debido a los rápidos avances en citología del momento fue posible para THM explicar con mayor facilidad el problema. Y por supuesto que también podía representarlo dejando más concreta su idea.

⁷² *Op. cit.*, p.4.

⁷³ *Ibid.*, pp. 10-11.

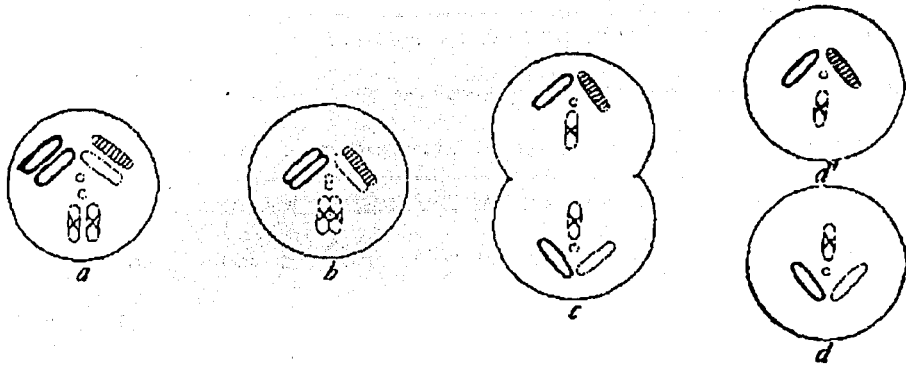


Figura 7: División y reducción del huevo o cigoto. Segregación de caracteres.
 [The Mechanism of Mendelian Heredity, p. 11]

Adicionalmente, si bien es cierto que THM anteriormente había explicado con un esquema (Fig. 1, capítulo 2), su propuesta de segregación de caracteres, a nivel citológico no lo convenció realmente. Por consiguiente, THM trató de hacerlo de nuevo y esta vez más explícitamente como se ilustra en el siguiente diagrama (Fig. 8):

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

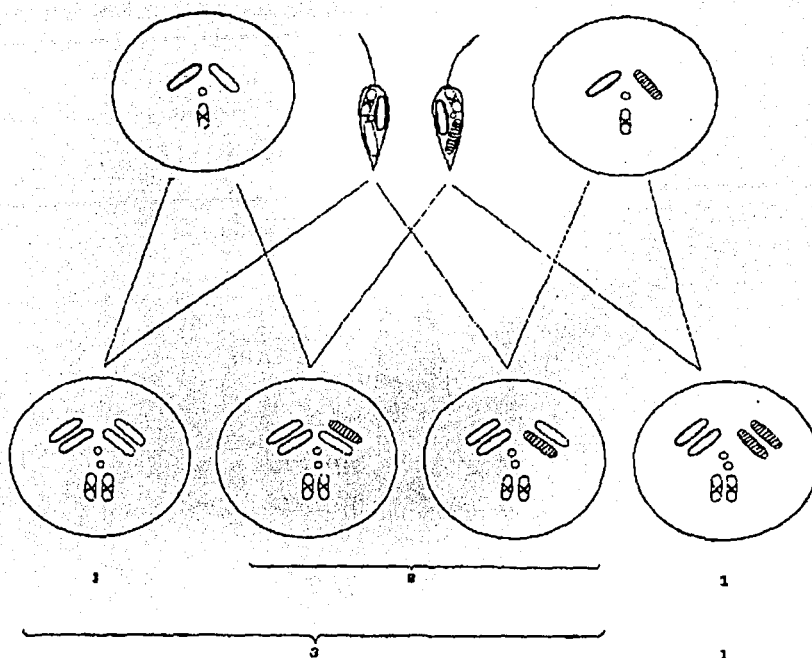


Figura 8: Segregación de caracteres. Se explica una segregación de 3:1, después de la conjugación de un óvulo y un espermatozoide con diferentes alelomorfos.
 [The Mechanism of Mendelian Heredity, p. 12]

Posteriormente trataría de explicar la segregación de caracteres 'simple', de sólo un par de factores; pero esta vez THM utilizó como ejemplo un diagrama con sus moscas (Fig. 9). En este explica la distribución de los caracteres vestigial y silvestre. En esta cruza el caracter mutante son las alas vestigiales, es decir, alas cortas; que será cruzada con una mosca silvestre. La resultante de esta cruza - como ya es bien sabido- será que todas sus hijas sean silvestres, pero si a su vez las cruzáramos entonces la resultante sería muy diferente a la primera filial.

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

Obtendríamos un resultado de 3:1, en donde la mayoría tendría alas largas y sólo un cuarto de la población alas vestigiales.

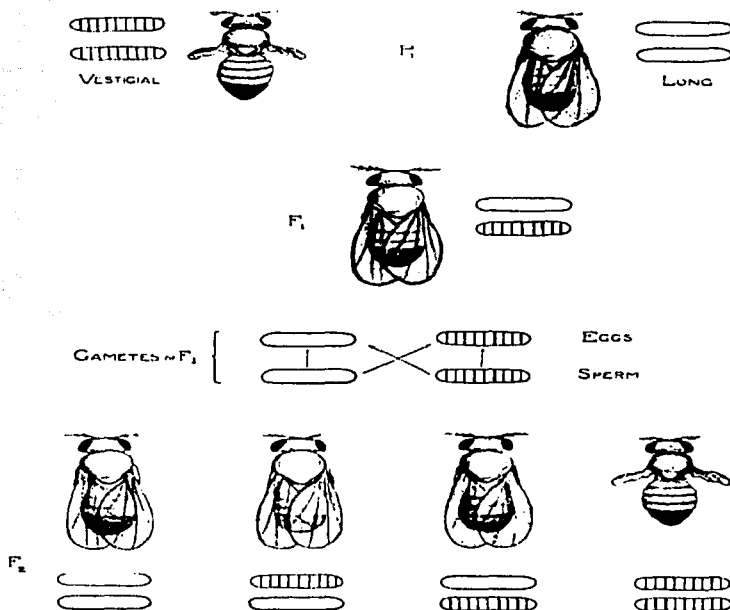


Figura 9: Cruza de una mosca silvestre con una mosca mutante de alas vestigiales, donde se muestra la obtención de la filial 1 y la filial 2. Además se explica la distribución de los caracteres vestigial y silvestre. [*The Mechanism of Mendelian Heredity*, p. 9]

Como embriólogo y ahora como científico dedicado a todo lo relacionado con la herencia, THM se dedicó a estudiar no sólo la determinación del sexo, sino los caracteres que eran influenciados por el sexo, y como ya hablamos comentado antes, encontró de manera fortuita un macho de ojos blancos que al momento de cruzar a sus descendientes con una hembra de ojos rojos arrojaría resultados sorprendentes. Ciertamente los experimentos hechos por Wilson y sus teorías

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

ayudaron a THM para poder formular una teoría más sólida al explicar sus efectos. Adicionalmente, entre los múltiples problemas que THM enfrentó para explicar por primera vez la herencia ligada al sexo, fue la manera de representar sus hallazgos, que como señalamos en el capítulo 2 (Esquema número 1 y Tablas 1 y 2) no fue del todo explícita. En contraste, ahora veamos el siguiente esquema:

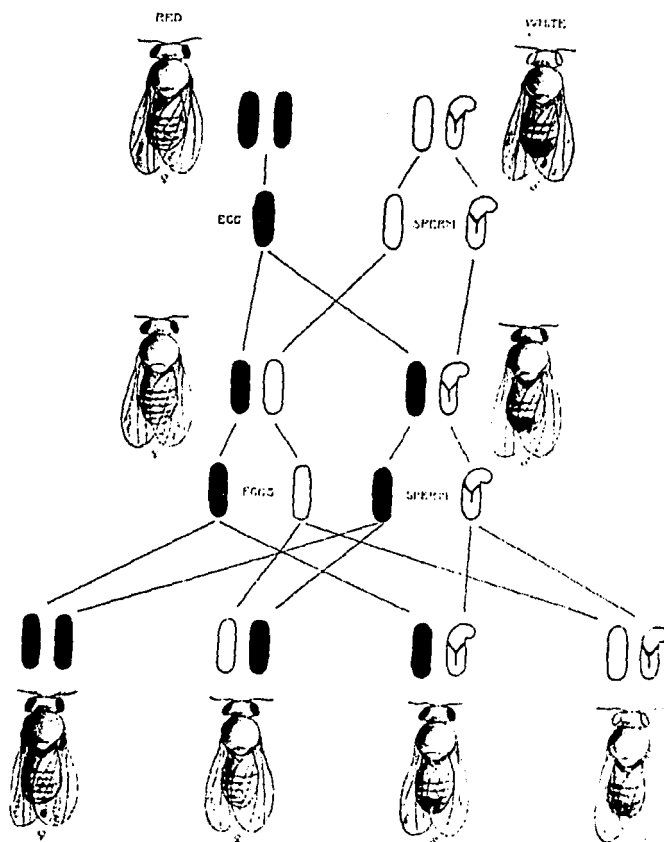


Figura 10. Herencia ligada al sexo. Cruza de hembra silvestre vs. Macho mutante de ojos blancos para la obtención de la F1, y para la obtención de la F2 cruza de la resultante. [The Mechanism of Mendelian Heredity, p. 17]

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Conforme al esquema previo ahora es posible observar con detalle la segregación de caracteres influenciados por el sexo además de su papel en la expresión de ojos blancos. Al inicio de sus experimentos THM encontró un mutante macho de ojos blancos, realizando con este espécimen varias pruebas para determinar cómo se heredaba este carácter aparentemente influenciado por el sexo. Si vemos con detenimiento, cuando la hembra silvestre de ojos rojos se cruza con el macho de ojos blancos, tanto las hembras como los machos serán de ojos blancos; pero cuando hacemos una cruce entre los hijos el resultado es visiblemente diferente. ¿Por qué? La respuesta, si bien aparentemente puede ser simple no lo es, pues recordemos que la expresión de los pares cromosómicos de macho son 'XO', es decir, que el cromosoma 'Y' que en este caso portaría el color blanco no se expresa cuando este se encuentra en el cromosoma 'Y'; mas, si este factor o carácter se encontrara en el cromosoma 'X' este sí podría ser expresado. Con esta observación lógica, los biólogos contemporáneos tal vez lo hubieran descifrado. Pero regresando al contexto histórico de lo que fue considerado como conocimiento nuevo, la explicación visual no sólo ayuda a comprender el resultado (3:1, es decir, 2 hembras silvestres, 1 macho silvestre y un macho de ojos blancos) sino que sustenta mucho más la propuesta hecha por THM. A su vez, con este mismo experimento THM logró demostrar la segregación de caracteres y su dominancia, pues aunque una de las hembras posee un carácter de ojos blancos este no se expresa por ser recesivo y encontrarse en heterocigosis. Y ¿qué pasaría si cruzáramos esta hembra heterociga con un macho de ojos blancos?

El uso de diagramas, además de cuadros de Punnet, específicamente en el caso de *Drosophila*, y otros recursos visuales para ilustrar sus explicaciones -entre otros aspectos- como la segregación de caracteres, la herencia ligada al sexo y los resultados mismos, en su cuarto de las moscas, además de adecuar dichas representaciones a los experimentos de otros científicos de la época, en conjunto y sin duda, ayudaron a THM a sustentar más sólidamente sus ideas y propuestas sobre la herencia. THM también mostró a manera de cuadro de Punnet, las diferentes posibilidades que podríamos obtener mediante la cruce de sus alelomorfos. Tal vez esta forma de representación expresó hasta cierto punto las posibilidades que obtendríamos de la cruce de sus múltiples formas.

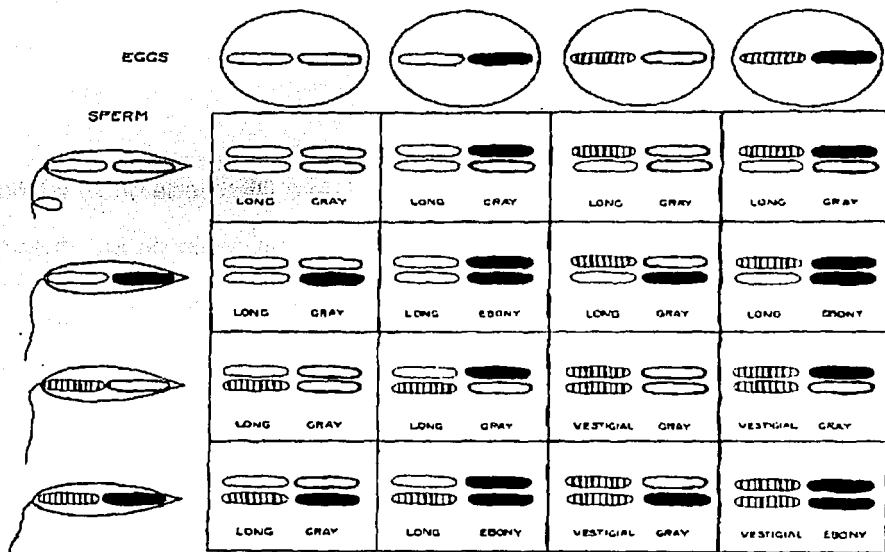


Figura 11. Cuadro que muestra la segregación de más de un caracter y sus resultantes según THM. [*The Mechanism of Mendelian Heredity*, p. 23]

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

No obstante, al observar con detenimiento nos percatamos que este cuadro era parcial y construido como un modelo muy bien intencionado, pues lo único que efectivamente muestra son las gametas que se obtienen al cruzar cada una de estas posibilidades y no el resultado real de estas cruzas: más de 16 combinaciones. En resumen, THM ya contaba con una idea más firme sobre la forma en que los caracteres se segregaban. Empero, la representación de la teoría aún no era del todo convincente y efectiva. Por lo que respecta a la herencia de dos o más pares independientes de factores, THM nos muestra como podría ser, a su entender, la cruce de moscas con dos factores involucrados. Las características involucradas serían entonces: mosca gris (*gray*) de alas vestigiales *versus* mosca negra (*ebony*) alas largas. De esta forma THM intentaría explicar el proceso para la resultante de la cruce de dos o más factores independientes mediante la aplicación de la hipótesis cromosómica.⁷⁴

En principio la resultante de esta cruce para F1 (primera filial) sería en su totalidad moscas negras de alas largas. Pero si cruzamos a la progenie de la resultante, para F2 (segunda filial) tendríamos como resultado, según THM:

9 moscas de alas largas y cuerpo color gris
3 moscas de alas vestigiales y cuerpo color gris
3 moscas de alas largas y cuerpo de color negro
1 moscas de alas vestigiales y cuerpo color negro.

Así en el diagrama (Fig. 12) se muestra cómo THM representó este experimento utilizando las convenciones visuales internacionales. Las barras cruzadas

⁷⁴ Thomas Hunt Morgan et al, *The Mechanism of Mendelian Heredity*, pp. 20-23.

corresponden al carácter de alas vestigiales, el tercer par cromosómico con líneas delgadas representó alas largas, mientras que el color de cuerpo negro fue representado por el par cromosómico relleno en negro y el par cromosómico de líneas gruesas sería el representante de color gris.⁷⁵

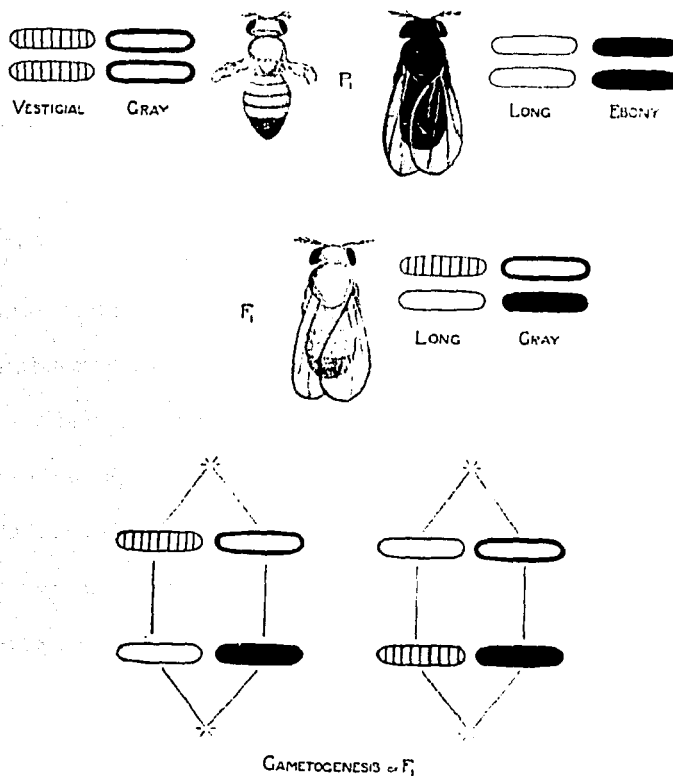


Figura 12. Ilustración de la cruz de dos caracteres: mosca gris (*gray*) de alas vestigiales versus mosca negra (*ebony*) alas largas. En la parte inferior THM nos muestra cómo debería de ser la separación de los pares cromosómicos.
[*The Mechanism of Mendelian Heredity*, p. 22]

⁷⁵ *Op. cit.*, pp. 20-23.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

THM continúa su libro hablándonos de los tipos de herencia mendeliana principalmente a los caracteres dominantes y recesivos. Sobre este asunto THM arguye al principio del segundo capítulo:

La experiencia nos ha mostrado que la herencia mendeliana se aplica a todos los caracteres, estructurales, fisiológicos, patológicos y psicológicos; a los caracteres particulares del huevo, del joven e incluso del de edad madura; a los caracteres taxonómicos fundamentales al igual que los caracteres 'superficiales'; y a los caracteres a los que concierne el mantenimiento de la vida del individuo, al igual que los caracteres que aparentemente no influyen en la sobre vivencia. Algunos de estos diferentes y su forma de heredarse pueden ser brevemente descritos, pero mientras los principios generales involucrados sean más importantes que el tipo de carácter que es afectado, los resultados serán considerados como parte de los encabezados.⁷⁶

Es así que utilizando flores blancas y rojas de *Mirabilis jalapa*, THM encontró un tipo de herencia que no esperaba a la que llamó 'herencia intermedia'. Esto quiere decir que ambos caracteres se intentan expresar con la misma fuerza de tal forma que los encontrados son una mezcla de ambos. En este caso lo que se obtuvo en la primera filial fue el 100% de rosas rosa y la progenie de estas dio como resultado una proporción 1:2:1, o lo que es lo mismo, $\frac{1}{4}$ de flores rojas, $\frac{1}{4}$ de flores blancas y $\frac{1}{2}$ de flores rosas. ¿Flores rosas? Era increíble, ¿qué había pasado? En el siguiente diagrama (Fig. 13) se ejemplificó dicho experimento como lo veremos a continuación.

⁷⁶ *Ibid.*, p. 27. La traducción es mía.

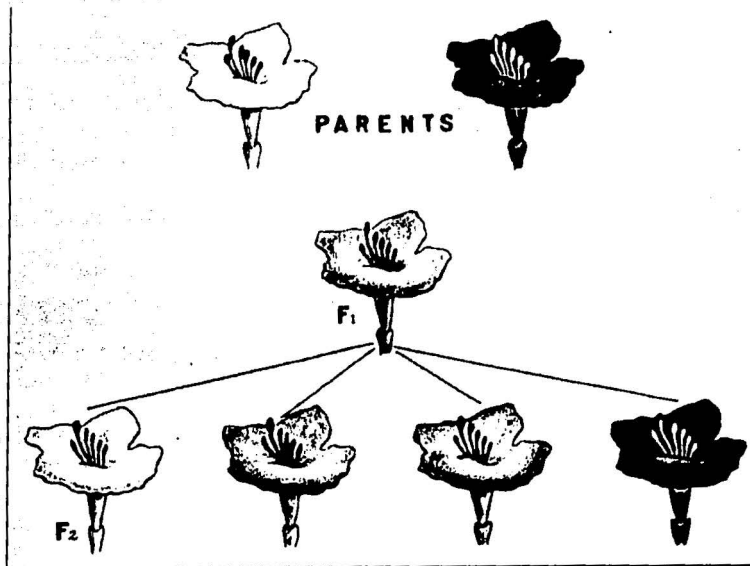


Figura 13. Demostración de herencia intermedia en *Mirabilis jalapa*.
 [The Mechanism of Mendelian Heredity, p. 28]

Esta sencilla representación si entra dentro del terreno de la imagen y expone perfectamente lo que THM intenta poner en la mesa de discusión: ¿cuál es la explicación a este fenómeno bajo las leyes mendelianas? En el nivel visual se aprecia una relación entre el concepto y su imagen representativa, es decir, la imagen hace referencia al concepto (herencia), lo explica y lo significa.

De regreso en el concepto, THM sugiere que esto podría ser la consecuencia múltiple de un sólo factor. A su vez, compara este fruto con el efecto que encontró en sus moscas. Existía cierto porcentaje (22%) de individuos que sufrían un cambio en el ala, y dicho cambio se debía –según THM– al efecto múltiple de un mutante. En el siguiente diagrama (Fig. 14), se muestra cómo estos factores a los

que THM nombró factores 'club', son los responsables de una cadena de diversas causas, algunas constantes, otras variables y otras más que se presentaban de manera ocasional. THM presentó el caso de la mosca *Drosophila* con alas rudimentarias. Estas alas son por lo general más cortas que las alas normales además de ser diferentes en forma pues el último par de patas era más delgada y corta. Por lo general este caracter se presenta en estado larval pero en ocasiones se expresa en estado adulto. Los machos son fértiles pero las hembras son estériles. Al respecto asumo que THM pensó que dicho factor responsable de tales eventos provocaba por si sólo estas reacciones en diversas partes del cuerpo. En el mismo diagrama (Fig. 14) podemos observar igualmente que este factor a veces cambia y de rudimentario genera una mosca con las alas atrofiadas.⁷⁷

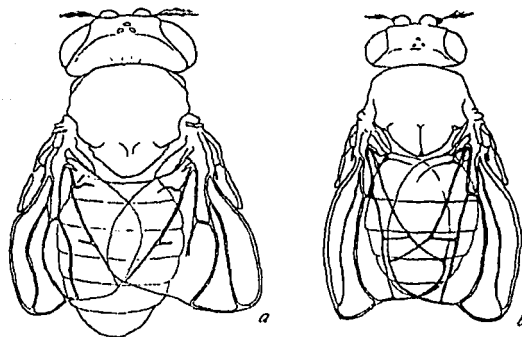


Figura 14. A la izquierda (a) podemos ver el ala rudimentaria, mientras que a la derecha (b) observamos un ala atrofiada. [*The Mechanism of Mendelian Heredity*, p. 31]

⁷⁷ *Ibid.*, pp. 33-35.

De acuerdo con la definición que De Vries diera sobre mutaciones el efecto antes señalado se explicaba plausiblemente, y según THM, implicaba que el efecto de este factor podía extenderse a todo el organismo aunque él sólo hubiera visto un efecto limitado, en otras palabras, su correlación inductiva del fenómeno le permitió vislumbrar un proceso general y en consecuencia perfilar el rumbo de sus propias investigaciones con cierto rango de predicción. Con su diagrama podemos apreciar –más o menos- cuáles eran los diferentes efectos que ocasionaba este factor múltiple, empero, lo único que hizo falta fue el punto de referencia, es decir, una mosca silvestre, que pudiera hacernos ver la verdadera diferencia. Por otro lado este diagrama tampoco explica de manera efectiva el surgimiento del efecto múltiple y sólo expone los resultados sin ser más explícito.

También THM señaló que los factores con diferente ubicación producen el mismo carácter. Lo único que ofrece es una imagen descriptiva de este efecto, es decir, verbal, que no consigue abundar en la supuesta explicación del efecto verificado. THM propone varios ejemplos, uno de ellos es el de tres factores ubicados en tres cromosomas diferentes (*sable*, en el primer cromosoma; *black*, en el segundo y por último *ebony* que se ubicaba en el tercer cromosoma). Así de antemano THM podía saber de su existencia a la hora de hacer una cruce pues el resultado consistiría en moscas de color gris (*gray*).⁷⁸

Adicionalmente THM estudió la influencia de los diferentes agentes que pueden afectar en la expresión de los factores como: ambiente, condiciones factoriales y

⁷⁸ *Ibid.*, pp. 37-38.

desarrollo. La validez de una hipótesis factorial puede ser probada bajo condiciones no tan controladas. Por lo tanto las condiciones son las responsables de cualquier efecto así como las mutaciones lo son de generación en generación⁷⁹. Según THM cuando dos factores se encontraban en un mismo cromosoma estos deberían tener igual número de gametas para cada uno de esos factores. Pero si las piezas de un cromosoma homólogo se intercambian, entonces una de las gametas contendrá al factor en cuestión, de tal forma que se encontrará en todas en igual cantidad. Al proceso de intercambio entre cromosomas se le denominó *crossing over* o entrecruzamiento y a la tendencia de los factores para estar unidos se le llamó *linkage* o ligamiento.⁸⁰ Para THM el número de entrecruzamientos es independiente del número de factores que se encuentren involucrados en dichos procesos.⁸¹

Como ejemplo THM ofrece el siguiente experimento. El factor para cuerpo negro y el de alas vestigiales se encuentran en el mismo par cromosómico, de tal forma que si cruzamos a esta mosca mutante con una mosca silvestre, es decir, de cuerpo gris y alas largas, en la primer filial el resultado será: moscas con cuerpo gris y alas largas. Es así que la progenie tendrá en un cromosoma los factores mutantes y en su homólogo los alelomorfos normales o silvestres de estos factores. Después de la maduración de éstos, convirtiéndose en gametas

⁷⁹ *Ibid.*, pp. 45-47.

⁸⁰ *Ibid.*, p. 48.

⁸¹ *Ibid.*, p 53.

maduras, éstas contendrán los mismos factores que la progeñe presenta como lo veremos en el siguiente diagrama (Fig. 15):

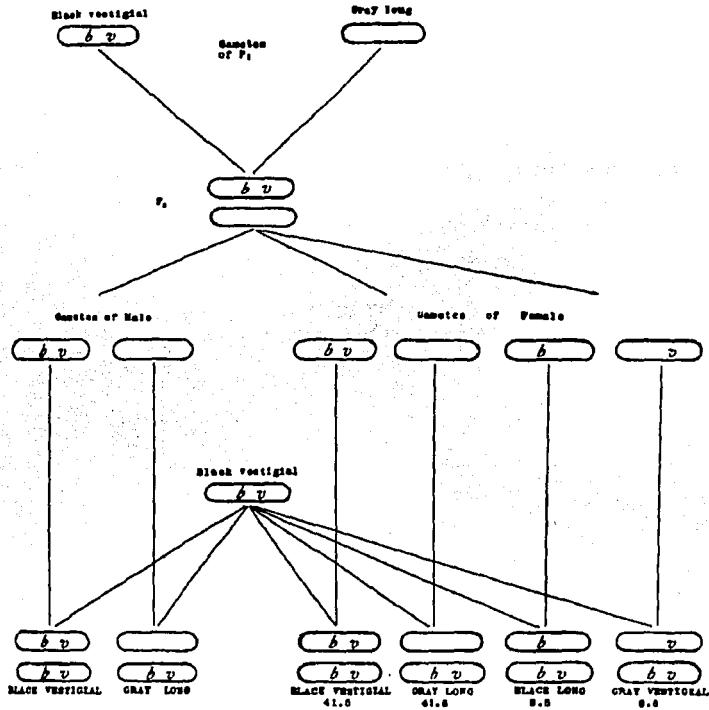


Figura 15. Diagrama que ilustra el entrecruzamiento en las hembras, mientras que en los machos no se presentó. [The Mechanism of Mendelian Heredity., p. 49]

El diagrama ilustra los resultados de la cruce anterior, subrayando que en los machos no se presentó el entrecruzamiento. De cualquier forma en esta ocasión, contrariamente a la imagen antes analizada en la Fig. 14, este diagrama no es visualmente claro, ni tampoco conceptualmente (idea). La representación no

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

correlaciona el punto que THM quería demostrar.⁸² En consecuencia, THM después ofrecería una comprobación para dicho embrollo. Según él la mejor manera de comprobar que existía intercambio de información en el material hereditario era mediante la cruz de individuos con dobles recesivos. Esto hizo al cruzar machos y hembras de cuerpo negro y alas vestigiales. Los resultados de dicha cruz fueron ilustrados igualmente como en la ocasión anterior, con el mismo tipo de diagrama, como lo vemos a continuación:

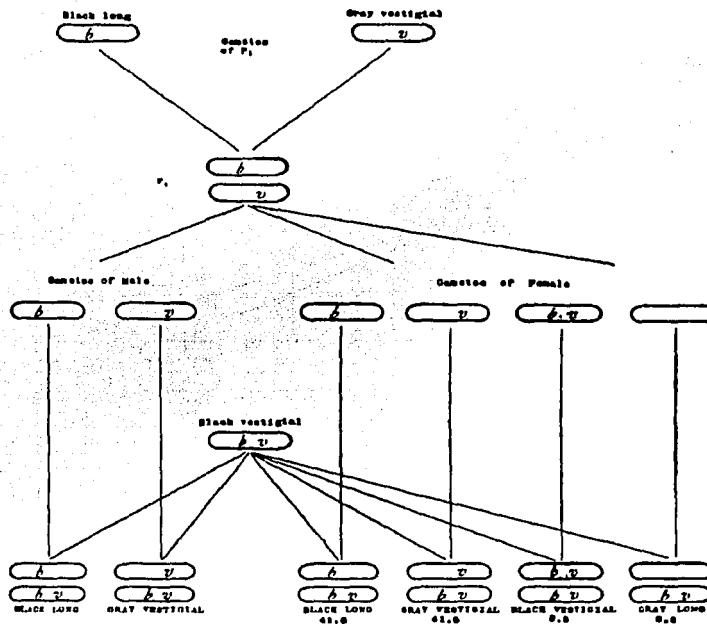


Figura 16. Experimento de repulsión. De igual tipo que la figura anterior, muestra el entrecruzamiento en las hembras y la ausencia de este fenómeno en los machos. Además, los porcentajes obtenidos en dicha cruz fueron similares al anterior.
 [The Mechanism of Mendelian Heredity, p. 51]

⁸² *Ibid.*, pp. 48-50.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Más tarde THM intentaría explicar el mismo fenómeno con factores ligados al sexo. Hasta el momento THM y su grupo sólo conocían dos factores dentro del cuarto grupo: cuerpo amarillo, ojos blancos. Lo que hicieron fue cruzar hembras con estas características mutantes, con machos silvestres; el resultado lo representaron en el siguiente diagrama (Fig. 17):

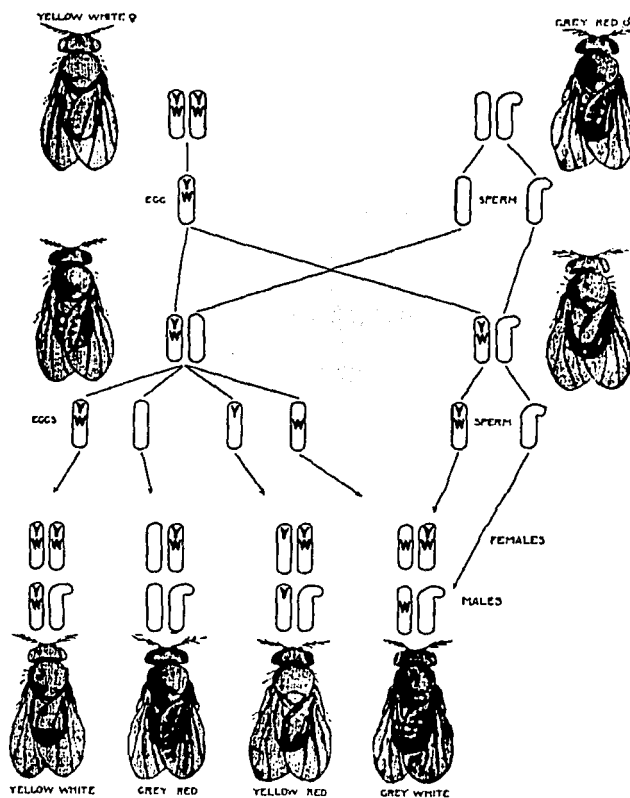


Figura 17. Cruza de dos factores de tipo mutante ligados al sexo *versus* un macho con características silvestres.
 [The Mechanism of Mendelian Heredity, p. 55]

Como consecuencia de lo anterior más adelante THM nos explicaría con detalle el mecanismo de la herencia ligada al sexo:

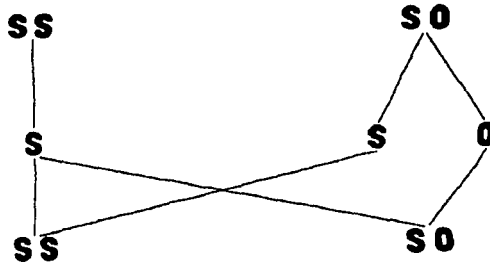


Figura 18. Determinación sexual. [*The Mechanism of Mendelian Heredity*, p. 78]

Existen entonces dos clases de herencia ligada al sexo, la del tipo *Drosophila*, donde la hembra es homocigota al factor de determinación sexual y el macho es heterocigoto. Para este tipo de herencia sexual THM empleó una nomenclatura especial, a este par cromosómico sexual lo designó con una 'X' y una 'Y'. Por lo general la 'Y' (o cromosoma tipo Y) es más pequeño y en algunos casos este no existe, y por convención internacional se le representaba con una especie de garfio, aunque la idea era que se distinguiera del otro cromosoma sexual. Entre el cromosoma X y el Y existen diferencias visibles en cuanto a su forma y tamaño, su expresión fue representada como lo podemos ver a la parte superior del siguiente diagrama (Fig. 19). Al segundo tipo lo denominó *Abraxas*, en donde sucedía todo lo contrario al anterior, la hembra era heterocigota al factor sexual, mientras que el macho era homocigoto al mismo. Para este fueron utilizadas las siglas 'Z' y la 'W'

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

por lo que la hembra sería 'WZ' el macho 'ZZ' como lo podremos observar en la parte inferior del diagrama (Fig. 19) que a continuación se presenta:

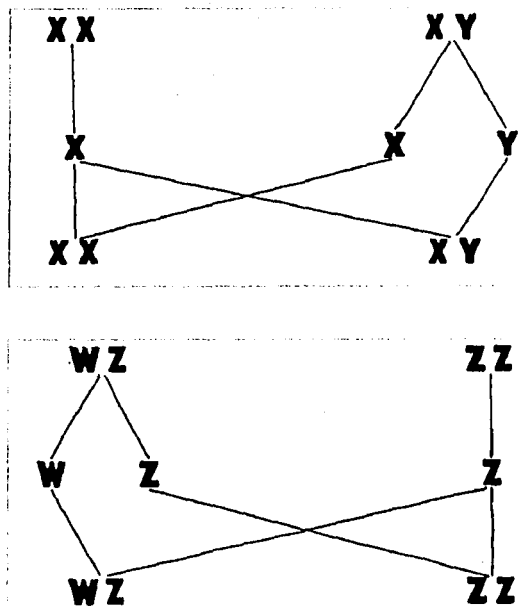


Figura 19. Tipos de herencia ligada al sexo. Arriba se encuentra la herencia del tipo *Drosophila* y abajo la de tipo *Abraxas*. [The Mechanism of Mendelian Heredity, p. 80 y 83]

Las representaciones de los diagramas antes señalados (Figs. 18 y 19) son ejemplos de significaciones conceptuales expresadas gráfica y simbólicamente. Su grado visual se significa no por la imagen en sí misma sino por el concepto que asocia. Este caso de representación requiere del concepto para ser "leído o interpretado", pues sin este la imagen no se sostiene ni comunica. Por otra parte, la figura 17 asocia la imagen con el concepto, y permite una visualización de cierto nivel o grado, es decir, expresa una parte del concepto (moscas, individuos

machos -hembras, cruzamiento, descendencia) por medio de una imagen de tipo parcial; digamos que por sí misma sólo leemos "moscas" y también que se trata de diferentes individuos, como color y forma. Empero, el concepto de cruza-descendientes-herencia es reforzado por su simbolismo grafico.

Por otra parte, otro de los capítulos más importantes -desde mi punto de vista- en *El mecanismo de la herencia mendeliana* es el dedicado a los 'alelomorfos' (más tarde conocidos como alelos). En este apartado THM expresó sus ideas y preocupaciones al respecto de cómo es que esta unidad tuviera a sus cargo toda la tarea de transmitir la información. Como hemos visto en los diagramas anteriores THM trató de ejemplificar el proceso mediante el cual resulta posible que varios caracteres pudieran segregarse en un individuo, pero la pregunta clave ¿cómo era que los cromosomas lo hacían? aún seguía en el aire. Para ofrecer una respuesta propuso la idea de los alelomorfos múltiples o factores múltiples. La dirección de la investigación apuntaba entonces a la manera en que los cromosomas pueden portar tan considerable cantidad de información, o sea, si únicamente cuentan con cuatro cromosomas y cada uno tiene encomendada una tarea o un carácter en este caso, entonces ¿cómo posible que los demás caracteres puedan ser transmitidos?

En general, y *a priori*, THM se valió de todos los elementos que consideró útiles para sus fines. Así, procedió por medio de aproximaciones y comparaciones de ciertos comportamientos fenotípicos pertenecientes a otras especies sin saber a ciencia cierta si esa era la manera en que realmente se comportaban. Insisto que THM no supo a "ciencia cierta" cómo fue que estos factores trabajaban en otras

especies, pero lo que sí sabía era cómo se comportaban los cromosomas en *Drosophila*. Como consecuencia de lo anterior, THM sostiene sus resultados de la siguiente manera:

*Los factores mendelianos no se encuentran fuera de cada una de las célula apropiadas, de modo que los factores para el color van en las células especializadas para este fin, los factores para la forma del ala a las células de las alas, etc., pero esa diferenciación se debe al efecto acumulativo de diferencias regionales en el huevo y el embrión, reaccionando con un fondo factorial complejo que es el mismo para cada célula.*⁸³

En ese entonces, para THM, como para muchos otros científicos, el concepto de gen era exclusivamente un término que servía para fundamentar una teoría estructural, que de manera conveniente era involucrada en diversas ocasiones para explicar los patrones observados en el problema de la herencia. Aún no se consideraba como argumento válido pensar que los cromosomas como portadores del material de la herencia, y que fuera fundamental para el desarrollo total de un organismo. En concordancia, la formulación de la teoría cromosómica de THM fue un proceso largo y un trabajo agotador. Sintetizando, en la época de THM no se vislumbró ninguna relación entre los cromosomas y los genes. En contraste, actualmente podríamos predecir -partiendo de la idea de que los cromosomas o "factores" de la herencia tienen una estructura fija y determinada- que se darán tantos grupos de caracteres en proporción al número de clases de cromosomas.

Otro aspecto de gran relevancia en *El mecanismo de la herencia mendeliana* fue el desarrollo de la concepción de la división celular de THM. Desde los ojos de la

⁸³ *Op. cit.*, p. 43.

ciencia del siglo XXI este postulado puede parecer nimio, pero se trataba de 1915, y además, si hacemos una retrospectiva a sus artículos anteriores, recordemos que para THM fue arduo ubicar a los cromosomas en la división celular.

En cuanto a la importancia y trascendencia de los cromosomas en la herencia, THM decía que sin importar cuanto citoplasma existiera dentro de la célula siempre encontraríamos un juego de cromosomas. Así fue que la sociedad científica aceptó que el espermatozoide aportaba la misma cantidad de material hereditario que el óvulo. A la primera división los cromosomas se encuentran dispuestos irregularmente en las regiones polares, lo cual según THM podría ocasionar la recombinación, o en este caso la redistribución independiente de los cromosomas en las células. THM se basó mucho en los experimentos hechos por Boveri: fertilización de huevos de erizo de mar. Como vemos en la siguiente figura (Fig. 20), THM se propuso con base en estos descubrimientos - entre varios realizados por otros científicos como Driech- explicar cómo se daría esta redistribución cromosómica dentro de los óvulos después de la fertilización.⁸⁴

⁸⁴ *Ibid*, pp. 109-113.

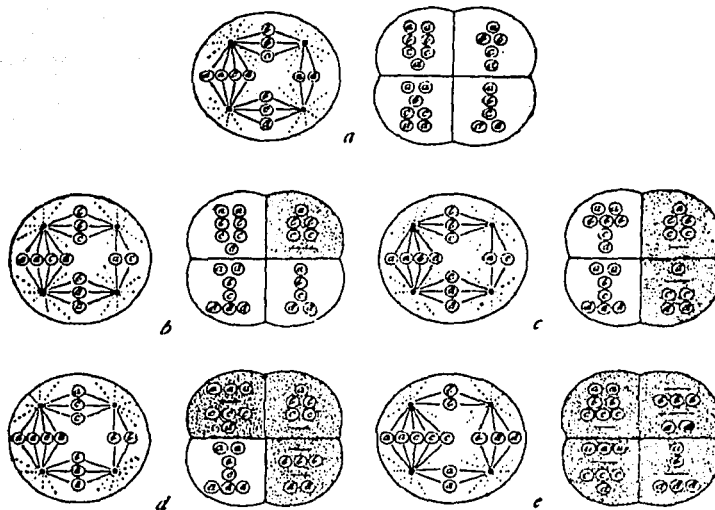


Figura 20. Diagrama que muestra las cinco combinaciones cromosómicas resultantes de la división de un huevo dispérmico, según THM. [The Mechanism of Mendelina Heredity, p 113]

Para THM los cromosomas son unidades que se autoperpetúan así mismos, conservando su identidad. En esta época ya nos dice que los cromosomas difieren en tamaño y forma de especie en especie pero sin perder su identidad.⁸⁵ Veamos la siguiente imagen (Fig. 21):

⁸⁵ *ibid.*, pp. 119-120.

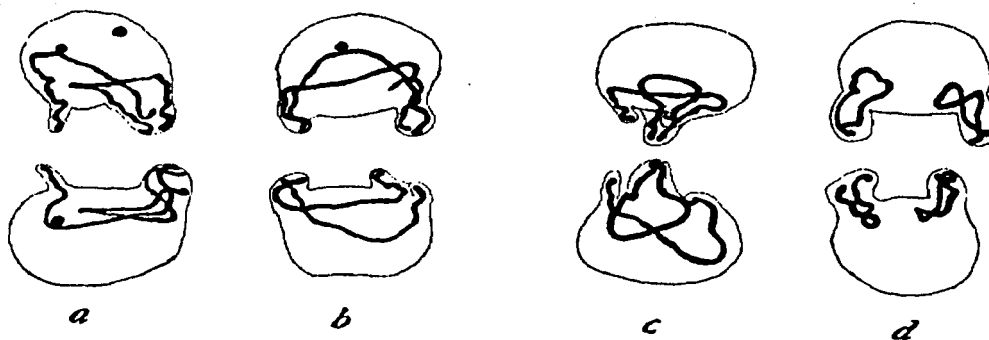


Figura 21. Cuatro pares de células hermanas de *Ascaris*, en donde los cromosomas se re reparten. (Después de Boveri). [The Mechanism of Mendelian Heredity, p. 119]

Otra parte muy importante en la construcción de sus teorías fue la utilización de imágenes provenientes de la citología, en las cuales de manera más o menos explícita podían verse los cromosomas, y al mismo tiempo dichas imágenes nos ofrecen una evidencia de cómo los científicos del momento percibían a los cromosomas.⁸⁶ Así, en el diagrama (Fig. 22) que a continuación presento podemos observar en la espermatogénesis las diferentes fases de división y distribución de los cromosomas a pesar de que en la última imagen no podremos ver con mucha claridad a los cromosomas. En este ejemplo tenemos una imagen que representa al objeto de estudio *per se*, tal y como es percibido, desde el microscopio, y cuyo concepto se expresa a través de la imagen, enlazándolo y significándolo. En otras palabras, el concepto sin la imagen quedaría trunco. Empero, el concepto explica

⁸⁶ *Ibid.*, p. 125.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

a la imagen y al hacerlo, ambos, imagen y concepto se vinculan en una sólo interpretación más homogénea a nivel representacional y epistemológico.

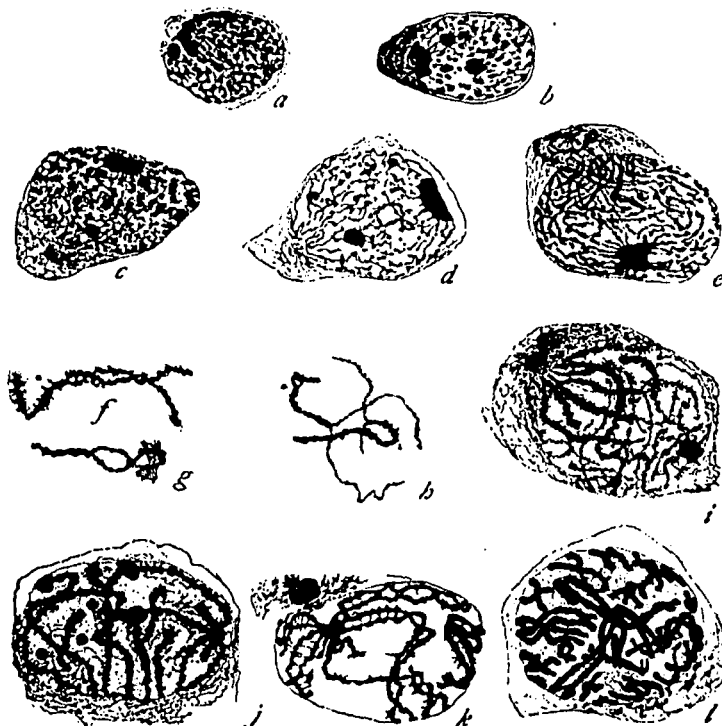


Figura 22. Espermatogénesis de *Batracoseps attenuatus*. En (a) podemos ver una telofase tardía en una división en la espermatogonia; en (f), (g) y (h) podemos ver cómo los cromosomas van girando dentro de la fase llamada leptoteno. En (j) podemos ver la fase de paquiteno, en (k) la fase entonces denominada *estropsinema* y finalmente en (l) podemos ver de manera más clara todos los cromosomas, cuando se vuelven a hacer delgados y finos. Ilustración después de Janssen) [*The Mechanism of Mendelian Heredity*, p. 125]

Finalmente, THM estableció desde el primer capítulo de esta su primera obra formal el objetivo de dicho trabajo: comprobar si las leyes formuladas por Mendel son o no ciertas y aplicables a los animales y no sólo a plantas. Consideremos de

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

nuevo que Mendel habló de la existencia de ciertas "unidades" o "factores" que los padres donaban a sus hijos, y que éstos a su vez se segregaban de manera independiente. THM se preguntó qué fue lo que Mendel quiso explicar al decir que se segregaban de forma independiente. Continuamente, a lo largo de su obra THM reflexionó sobre estas "unidades", en el supuesto lugar dónde se encontrarían y cómo resultaba posible que su expresión estuviera influenciada, o sea, hablando de la herencia influenciada por el sexo. Supuestamente muchas de estas preguntas ya habían sido contestadas, pero muchas otras no, quedando una incógnita. ¿Realmente los cromosomas por si solos son los responsables de la transmisión de caracteres? Y de ser así ¿cómo lo hacen? Fue así que el grupo *Drosophila* consolidó sus investigaciones con la publicación de este primer libro. Su objetivo principal era desarrollar una crítica de las teorías cromosómica y mendeliana explicando y fundamentando cada aspecto de ambas, ya fuera a favor o en contra. Como hemos podido observar en este texto la utilización de imágenes para explicar cada uno de los problemas facilita la comprensión teórico-conceptual y comprueba que la representación ligada a conceptos científicos es una herramienta metodológica y cognoscitiva de gran valor. Sin embargo se presentan ciertas deficiencias, pues aunque existen algunas teorías que son bien sustentadas con ejemplos verbales -conceptuales no están sustentadas con imágenes que muy bien podrían reforzarlas. Personalmente tuve ciertos problemas a la hora de observar y entender algunos de los diagramas que THM presenta. Por un lado, el nivel conceptual sin representación se convierte en abstracción pura, y sus concepciones descansan en lo descriptivo del lenguaje que las significa. En otro caso, aún y cuando existía una imagen que apoyara al



concepto, la relación de significado entre concepto e imagen no resultaba siempre del todo unitaria e inteligible, pues ya fuera que una parte del concepto era la representada de forma visual y no muy efectiva, o por el contrario, ciertos aspectos del concepto quedaron fuera o no encajaban en la representación. En este sentido THM no sólo utiliza a la *Drosophila* como ejemplo para explicar las teorías, también se apoya en otras imágenes desarrolladas por otros científicos de la época en plantas y animales. Es muy importante recalcar que si bien THM habló en este libro sobre los cromosomas y más o menos bosquejó que en éstos existían ciertos factores responsables de la herencia, nunca utilizo la palabra 'gen', aún y cuando Johanssen ya la había acuñado en 1909, como ya se había mencionado.

III

UN AÑO DESPUÉS de publicar su primera obra, en 1916, THM refiere un nuevo descubrimiento que podría ser la respuesta que tanto buscaba:

Se descubrió un nuevo microcosmos dentro de cada célula. Se encontró que cada célula contiene un cuerpo esférico, llamado núcleo. Dentro del núcleo hay una red de fibras y los intersticios de esa red están llenos de cierto líquido. La red se descompone a su vez en un número determinado de filamentos, cada vez que se divide la célula. A estos filamentos les damos el nombre de cromosomas. Cada especie de los animales y de las plantas posee un número característico de dichos filamentos, los cuales tienen tamaño fijo y a veces forma específica y también granulaciones en diferentes sitios. Más allá de esto no pueden penetrar ni siquiera nuestros microscopios más potentes. Hasta el momento la observación ha llegado a su último límite.⁸⁷

⁸⁷ Tomado de la siguiente página electrónica: <http://www.geocities.com/fdocc/2.htm>. Fragmentos de Thomas Hunt Morgan, "A Critique of the Theory of Evolution" (*Una crítica a la teoría de la evolución: La herencia cromosómica*), 1916. La traducción es mía.

Desde el inicio de los trabajos del grupo *Drosophila*, un número de científicos que se oponía a este proyecto, criticaron fuertemente la interpretación de la teoría cromosómica como fundamento de las leyes mendelianas. Muchos de ellos eran científicos que no pertenecían al campo de los estudios hereditarios. Para ellos, y tomando nota de sus comentarios, THM escribió en 1917 lo siguiente:

Las objeciones toman diversas formas. Se ha dicho, en primera instancia, que la interpretación factorial no es fisiológica pero sólo la estática ha sido la explicación científica más dinámica. Se ha dicho que desde la hipótesis no ha existido vínculo con las sustancias químicas, y que no hay futuro después de eso, esto es realmente una especie de simbolismo. Se ha dicho que no es una hipótesis realmente científica por que se refiere a los hechos como 'factores', y luego haciendo malabares con los datos pretenden explicar los resultados. Se ha dicho que un organismo es un todo, y tratarlo como si estuviera hecho de pequeñas piezas es perder por completo el problema de toda una "organización". Se ha argumentado seriamente que el fenómeno mendeliano es 'innatural', y que nada tiene que ver con los procesos normales de herencia y evolución como se han exhibido los huesos de los antiguos mamíferos. Se ha dicho que la hipótesis se sustenta en una discontinua variación de caracteres, que no existen. Se ha objetado el hecho de que la hipótesis asume que los factores estén arreglados de manera estable en el mismo sentido de como los átomos también lo están...⁸⁸

Irónicamente muchas de las objeciones hechas por estos científicos ajenos a la genética eran similares a aquellas que el mismo THM hubiera hecho alusión años atrás en 1909 en su artículo "¿Qué son los 'factores' en las explicaciones mendelianas?" ("What are 'Factors' in Mendelian Explanations?"). Fue a partir de 1915 que THM influenciado fuertemente por la hipótesis de los 'factores' de Mendel, aunque con poca evidencia sobre la naturaleza fisiológica de los genes y su papel en las interacciones durante el desarrollo, contagió a su grupo y empezaron de manera más entusiasta su investigación sobre los genes.

⁸⁸ T. H. Morgan, "The Theory of the gene" *apud*, Garland E. Allen, *The Man and His Science*. Thomas Hunt Morgan, p. 263. La traducción es mía.

Así en 1919 THM publica su segundo libro: *Las bases físicas de la herencia (The Physical Basis of Heredity)*. En esta obra consolida mucho más las teorías mendelianas y la teoría cromosómica, además de utilizar el concepto de 'gen' a diferencia del libro anterior. Los avances que THM ha logrado son reflejados en libro, dando así pauta al afianzamiento paulatino de los trabajos del grupo y de sus teorías. Aún no se ha cristalizado la teoría del gen, pero los cimientos ya están puestos. En virtud de lo anterior es importante señalar los avances más importantes en este texto. De nuevo es conveniente destacar que THM por primera vez usa el concepto de genes y no 'factores'. Lejos de criticar, descartar o rechazar a Mendel, ahora su postura cambia y estudia dos de sus leyes, contraste sin duda significativo con respecto de su primer libro. Arguye que aunque la segregación de caracteres se fundamente en una simple ecuación matemática, su importancia y validez es tal que estas podrán ser aplicadas por generaciones en experimentos de genética por botánicos y zoólogos.⁸⁹

Además THM deja claro cual será el rumbo de este libro. Así establece en su primer capítulo la importancia capital de las leyes mendelianas de segregación de y distribución independiente de caracteres, a lo cual agrega otros cuatro principios, establecidos en 1900: entrecruzamiento, alineación de los genes, interferencia y la limitación del entrecruzamiento en grupos. Así a partir del segundo capítulo THM primero describe el experimento de Mendel sobre la segregación de caracteres en *Pisum*, como lo veremos en el siguiente diagrama (Fig. 23).

⁸⁹ Thomas Hunt Morgan, *The Physical Basis of Heredity*, p. 15.

A diferencia de los anteriores, podemos ver que utiliza una nomenclatura especial para diferenciar al caracter dominante del recesivo. THM utiliza letras mayúsculas para el caracter dominante y en minúsculas para el caracter recesivo.

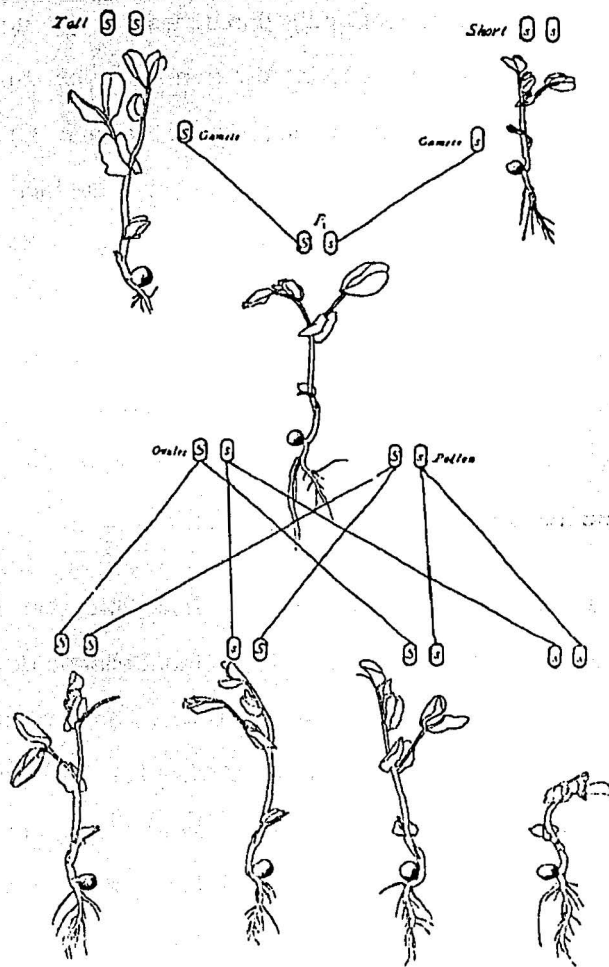


Figura 23. Cruza de plantas altas y bajas de *Pisum sativum*. En la F1 todas las plantas son altas y en la F2 se obtuvo tres plantas altas y una pequeña. [The Physical Basis of Heredity, p. 20]

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Otra diferencia importante que queda ilustrada en este diagrama (Fig. 23) es que podemos observar con claridad, que además de la apariencia (fenotipo) las plantas se distinguen unas de otras, y así también los resultados de la cruce de caracteres, es decir, podemos ver cuando son heterocigotos u homocigotos. Otra forma en que THM presentó los resultados de dicha cruce fue como el siguiente diagrama (Fig. 24) lo demuestra:

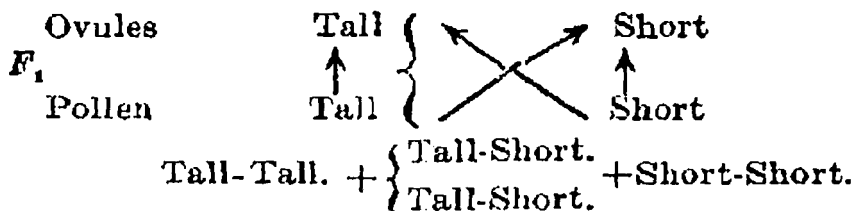


Figura 24. Oportunidad de recombinación de caracteres.
[*The Physical Basis of Heredity*, p. 22]

Quizás esta forma de representación no haya sido la más adecuada. THM intentaba demostrar cuáles eran las probabilidades de combinación al unirse el óvulo y el polen, sin embargo, en vez de aclarar cómo podrían ser las posibles combinaciones, confunde al lector sin dejar en claro los resultados ni las probabilidades de combinación. Más aún, cuando THM explica cómo se produce este proceso y cómo fue que se llevó a cabo el experimento realizado por Mendel no se alcanza a comprender la intención del mismo. No obstante en el diagrama anterior (Fig. 23) sí logra causar el impacto deseado.

Tomando de nuevo como referencia el libro de *Los mecanismos de la herencia mendeliana*, THM retoma una de esas imágenes para explicar de una mejor manera la *herencia intermedia*. Recordemos entonces que THM nos habla de dos características que dominaban una sobre la otra, por lo tanto el resultado era una característica media entre las dos. La imagen ejemplifica y ayuda a la comprensión del concepto y clarifica la teoría misma.

En el siguiente diagrama (Fig. 25) THM explica la heterocigosis, no sólo mostrando a las flores con sus colores distintivos, sino que también en la parte inferior podemos observar un esquema que simula a los caracteres que se combinan dándonos primero un homocigoto o línea pura para color rojo. En medio podemos ver a los caracteres combinados, el factor para color rojo y el factor para color blanco, lo cual forma un heterocigoto, y en este caso como ambos son dominantes el color rosa. Finalmente vemos la línea pura para el color blanco.⁹⁰ Si observamos la cruce de la descendencia de los padres, los resultados serán de 1:2:1 y no 3:1 de conformidad con lo esperado según las leyes de Mendel, como en el caso anterior sobre la altura en las plantas de chícharos (Fig. 24). En el siguiente diagrama (Fig. 25), se aprecia la herencia intermedia según THM.

⁹⁰ *Op. cit.*, pp. 24-27.

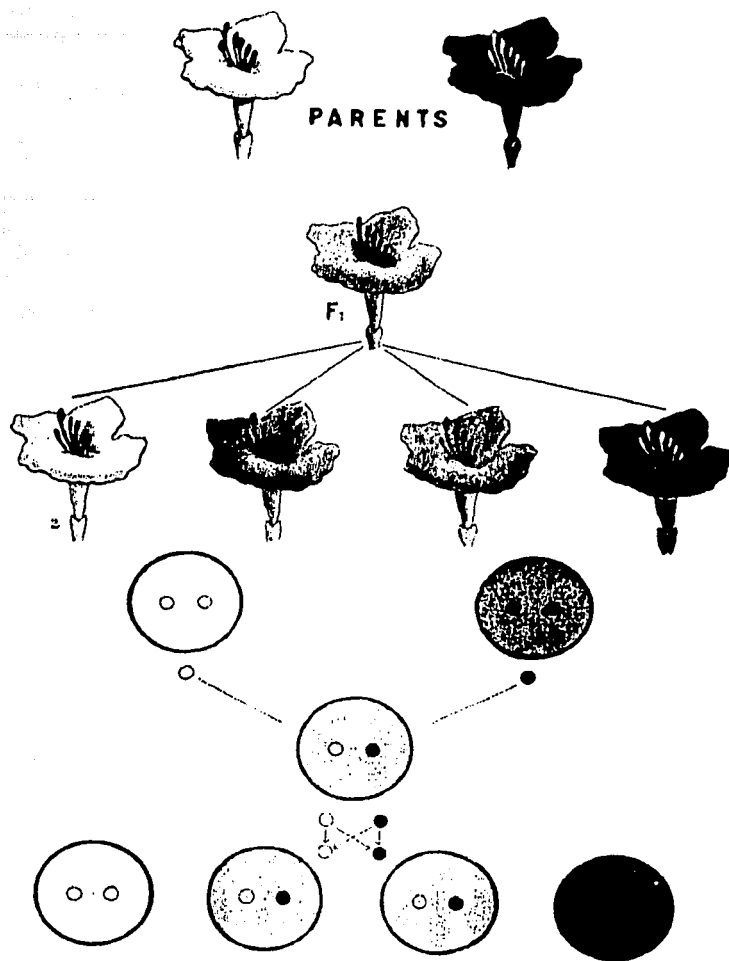


Figura 25. Cruza de flores blancas y rojas de *Mirabilis jalapa*. En la parte inferior podemos observar como se da la segregación de los genes. [The Physical Basis of Heredity]

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Sin embargo lo único que este diagrama no alcanza a explicar muy bien son los resultados de $\frac{1}{4}$ de flores rojas, $\frac{1}{4}$ de flores blancas, y $\frac{1}{2}$ de flores rosas, es decir, cómo se efectuó la cruce para obtener la F₂, en dónde están las gametas y también cómo se obtuvieron dichos resultados. Aún quedan muchas incógnitas sobre este proceso pero lo que sí queda claro en el diagrama y en las explicaciones de THM es la existencia de los genes, que son los que se combinan para suministrar cualquier característica. Otro aspecto digno de mencionar fue el hecho de aceptar la existencia de los cromosomas como parte importante del material de la herencia, además de puntualizar que cada célula contiene el mismo número cromosómico, donde la mitad es aportada por la madre y la otra mitad por el padre.

Para ilustrar esto THM recurrió a la citología. Al parecer THM se apoyó en los dibujos que él mismo hiciera de sus observaciones verificadas en el microscopio. Los dibujos de las imágenes aportadas por el microscopio sirvieron para exponer cuáles eran los mecanismos que originaban la segregación, especialmente utilizando la espermatogénesis. Así explicó el proceso de división en las células, tal y como lo muestra en el siguiente diagrama (Fig. 26).⁹⁶

En las figuras (a) y (b), la membrana nuclear desaparece y los cromosomas comienzan a desplegarse para comenzar la división. En la figura que sigue se forma el huso, donde posteriormente se alinearán los cromosomas primero en el ecuador, para después y gracias al huso, migrar hacia los polos formando dos

⁹⁶ *Ibid.*, p. 43.

células con igual número de cromosomas. Finalmente la célula comienza a constreñirse para dar lugar a dos células hijas. De la (i) a la (l), comienza el proceso que en aquel entonces se le denominaría sinapsis, durante este proceso la célula, según THM, llega a su madurez.⁹⁷

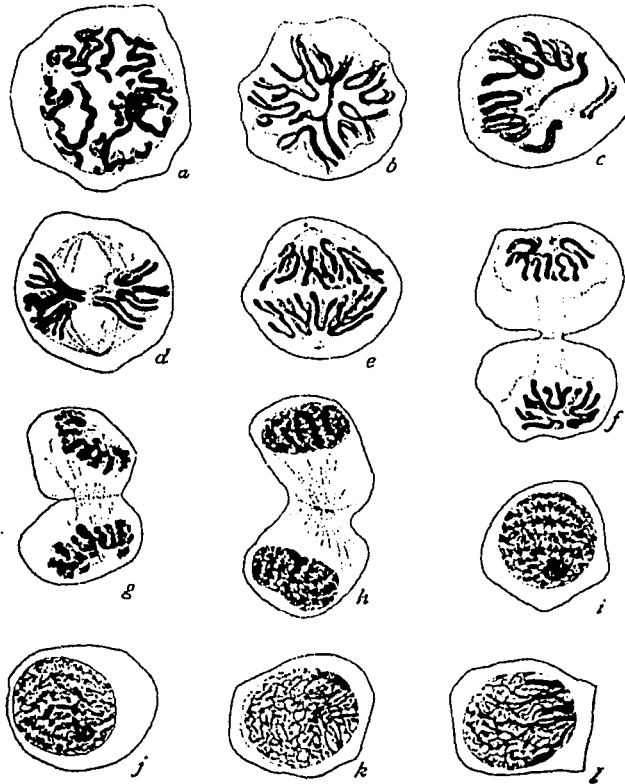


Figura 26. Espermatogénesis de *Tomopteris*. [*The Physical Basis of Heredity*, p. 43]

⁹⁷*Ibid*, pp.44-45.

Si vemos con detenimiento esta imagen observaremos que la forma de los cromosomas es confusa, es decir, únicamente se alcanza a distinguir una madeja de hebras a las que llamaron cromosomas. Otro punto importante es que una vez que se dio la división, no queda manifestado cómo es que se forma de nuevo la membrana nuclear. Si seguimos el curso del proceso antes de la maduración de las divisiones notaremos que nos encontramos en la mitad, en el estado en donde los cromosomas son sólo la mitad y comienzan a reagruparse las tetradas. Para aquel momento la idea de cómo debe de ser un cromosoma es muy diferente a la actual, aspecto que el lector nunca debe de olvidar y tener en cuenta a lo largo de todo este análisis. Nuevamente destaco que en esta obra es fundamental para el trabajo de THM la aceptación abierta y total de las leyes mendelianas y la teoría cromosómica. Al respecto Garland sólo ofrece especulaciones sobre el motivo por el cual THM y el grupo *Drosophila* no hubieran aceptado estos postulados anteriormente.

Otro aspecto notable en *Las bases físicas de la herencia* fue la transición y el cambio de las imágenes conforme la perspectiva del Grupo *Drosophila* también evolucionaba. Dicho de otra forma, queda manifestado un paralelo entre los conceptos de la teoría y las imágenes que la representan. Sin duda las representaciones ayudaron a THM a comprender mucho mejor sus propuestas, al tiempo que ofrece un panorama mucho más descriptivo e ilustrativo, y mucho más cercano a los conceptos que sustentaron los principios de la genética moderna. En esencia, este libro repercutió en la maduración de las teorías de esta nueva ciencia, la genética, aportando las bases necesarias para su futuro desarrollo.

En la misma dirección de lo anterior, THM muestra el proceso de la segregación de caracteres, es decir, de los genes responsables de la herencia, pues aquí ya está claro que los genes son los encargados de transmitir la herencia. También señala la ubicación de los genes y utilizando la nomenclatura internacional para denotar un carácter dominante de otro recesivo, THM muestra la segregación independiente de dos caracteres en el siguiente diagrama (Fig. 27).

La cruce de dos moscas, una con dos caracteres mutantes y la otra una mosca silvestre para ambas características da como resultado una mosca de caracteres heterocigotos. De esta forma, si a esta, la descendencia, la cruzamos con una mosca mutante, ¿cuál deberá de ser el resultado? Para explicarlo THM utilizó al lado de cada mosca un ovalo con las características que distinguen alas moscas una de la otra (Fig. 27). Aunque fue muy buena idea, no explica de manera efectiva el problema, pues no queda explícito el porque de los resultados como en el caso de *Mirabillis jalapa*; hay que recordar que estamos hablando de dos caracteres que se segregan independiente uno del otro y que por lo tanto la variedad en la combinación de caracteres apegándonos a las matemáticas es muy distinta de sus resultados.

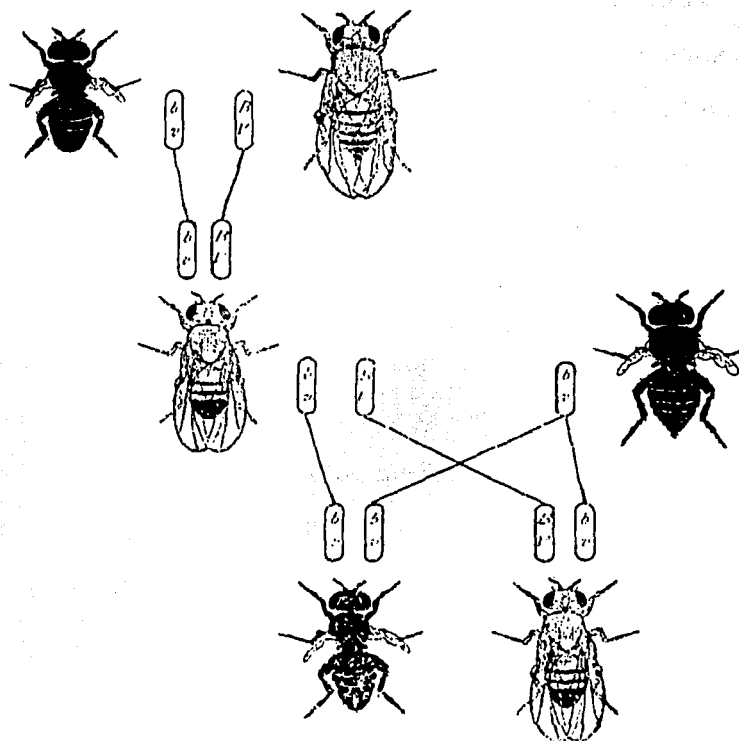


Figura 27. Cruza de una hembra de cuerpo negro, alas vestigiales y un macho silvestre, su resultante F1 versus un macho de cuerpo negro, alas vestigiales.
 [The Physical Basis of Heredity, p. 81]

Para explicar el entrecruzamiento THM volvió a utilizar el mismo problema de la mosca, lo curioso son los resultados pues aunque aparentemente son las mismas cruza las variedades obtenidas no lo son como lo veremos en el siguiente diagrama (Fig. 28).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

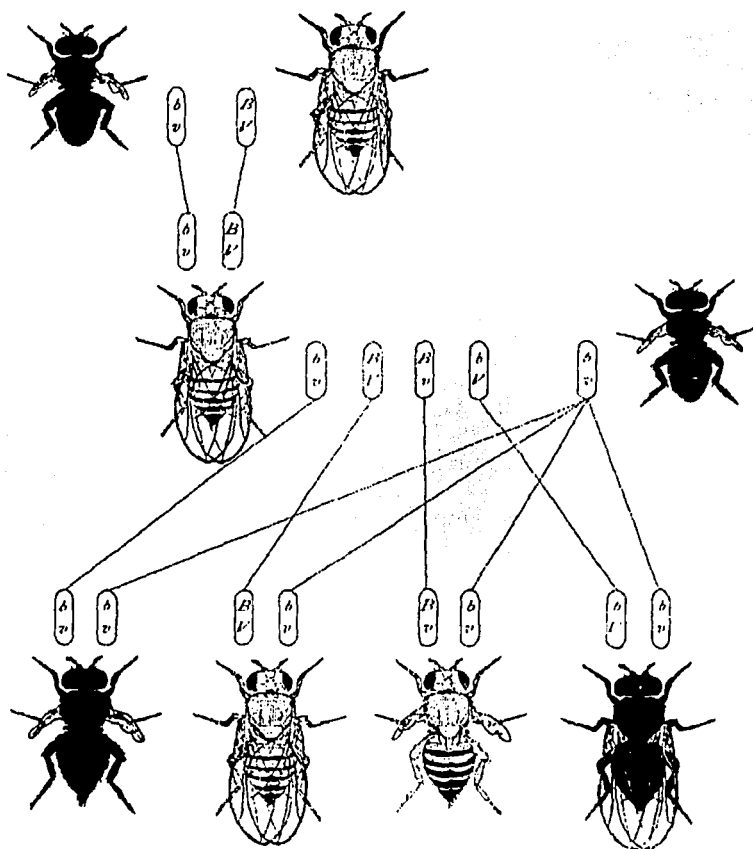


Figura 28. Entrecruzamiento de de una hembra de cuerpo negro, alas vestigiales y un macho silvestre, su resultante F1 versus un macho de cuerpo negro, alas vestigiales.
 [The Physical Basis of Heredity, p. 83]

A diferencia del anterior (Fig.27) en este diagrama intentaba demostrar que en el macho no había entrecruzamiento de caracteres. Aquí podemos observar que la progenie de (F1) de los padres es heterocigota y contiene 4 posibilidades ahora, las mutantes del padre y las silvestres de la madre, ahora bien, si cruzamos a una hembra heterocigota con un macho homocigoto de características mutantes, por

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

su parte THM asegura que tal intercambio de formas en que los genes se entrecruzan es efectivo.

Desafortunadamente la evidencia citológica de la época no aportaba la evidencia necesaria que ayudara a conocer el sitio donde se daba el intercambio de información entre cromosomas, y mucho a menos a observar con detalle este proceso. THM aclara que no se sabe a ciencia cierta el mecanismo del entrecruzamiento y que no han visto lo que sucede realmente con el cromosoma, es decir, no saben cómo es que el material hereditario aportado por el padre se recombina con el de la madre, fenómeno esencial para que exista entrecruzamiento. Por lo tanto, THM buscó nuevas explicaciones para su teoría con base en estos esquemas y apoyándose en los experimentos que Plough hiciera con *Drosophila melanogaster*, además de considerar la influencia de la temperatura durante el entrecruzamiento como un factor inherente en este proceso.

Como veremos en los siguientes diagramas (Figs. 29, 30 y 31), los cromosomas son cuatro hebras a los que llamaron tetradas⁹⁸, mismas que durante el proceso de entrecruzamiento se abren y a manera de apareamiento se recombina el material de una tetrada con otra (Fig. 30 siguiente).⁹⁹

⁹⁸ Las tetradas son la suma del cromosoma materno y del cromosoma paterno, y al sumar las hebras en vez de ser dos, ahora son cuatro y de ahí el nombre.

⁹⁹ Thomas Hunt Morgan, *The Physical Basis of Heredity*, pp. 96-101.

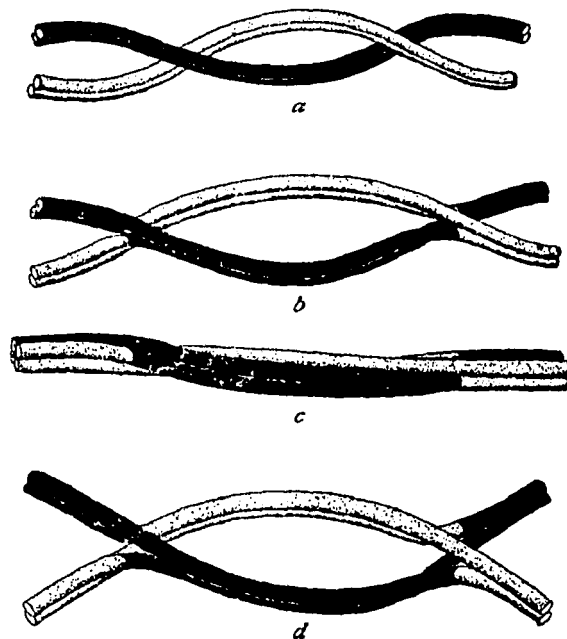


Figura 29. Entrecruzamiento de tetradas. [*The Physical Basis of Heredity*, p. 101]

Una vez más no queda clara la forma para comprobar cómo se llevaba a cabo el entrecruzamiento del material. Al parecer, sus resultados eran probados al relacionarlos con las frecuencias fenotípicas que obtenían de sus cruces, influenciadas por factores externos, como en el caso de Plough con temperatura. El siguiente diagrama mostraba como Robertson y Wenrich interpretaban que se daba el entrecruzamiento entre cromosomas. Ambos realizaron experimentos con grillos y según sus resultados pudieron observar que durante la espermatogénesis las hebras de los cromosomas, en este caso de la tetradas, se mezclaban de extremo a extremo como se ve en la parte superior del diagrama.

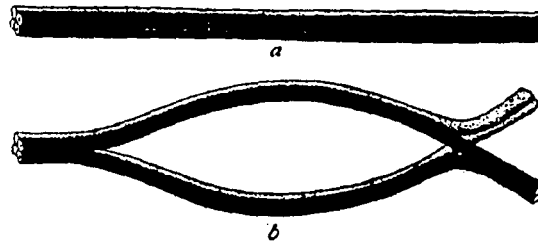


Figura 30. Diagrama de Robertson y Wenrich. Se muestra cómo las hebras de la tetrada se abren en dos planos. [*The Physical Basis of Heredity*, p.102]

Se utilizó entonces un tercer diagrama (Fig. 31) para explicar el entrecruzamiento de las hebras, pero el problema es que no reflejan lo que en realidad ocurre, pues solamente se muestra un plano, sin perspectiva dimensional, asumiéndose que los cromosomas fueran estáticos y sin más movimiento que el de abrirse como una hebra.

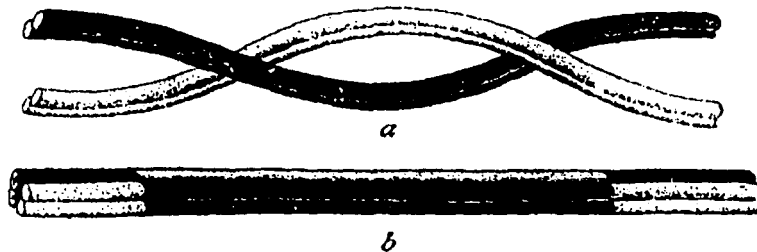


Figura 31. En primer lugar la tetrada se abre (a) para después entrecruzarse y dar el resultado de dicho entrecruzamiento en (b). [*The Physical Basis of Heredity*, p.103]

Incluso para THM a esta explicación le falta solidez, pues dejan fuera del diagrama a los cromosomas en el momento en que dentro del huso se tuercen a la hora de ser atraídos hacia los polos y formar dos células. De antemano podría objetarse

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

que el movimiento no puede ser representado en estos diagramas, pues son unidimensionales, por lo que no hay que perder de vista este hecho y pedir elementos fuera del alcance de la propia imagen. Como ya lo mencioné anteriormente THM también ponía sobre la mesa de discusión las ideas de sus colegas, por ello en ocasiones esquematizaba sus propuestas y al hacerlo no sólo le permitía a él tener todas las cartas de argumentación, también permitía al lector tener una opinión acerca de sus debates y/o propuestas. En relación con la teoría cromosómica y las leyes mendelianas, y sobre todo con respecto al entrecruzamiento Bateson y Punnet dieron su parecer sobre la ocurrencia de este fenómeno en los cromosomas, tal y como lo muestra el siguiente diagrama (Fig. 32).

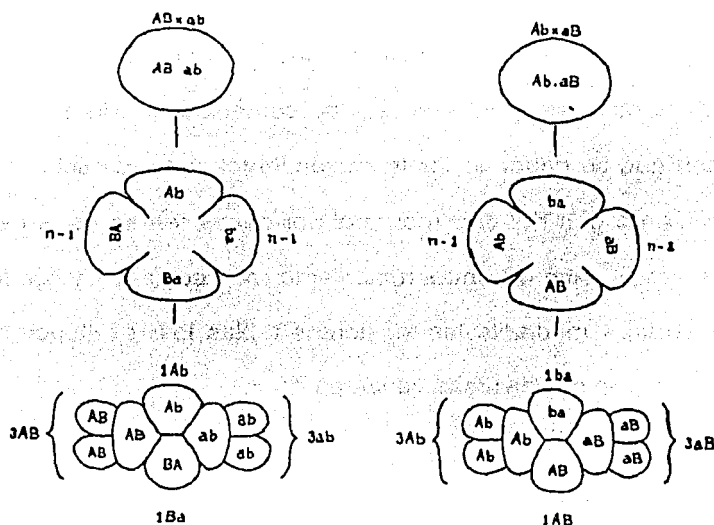


Figura 32. Diagrama que explica la teoría de reduplicación por Bateson y Punnet. Las tres primeras figuras de la izquierda muestran el acoplamiento de los cromosomas, mientras que las otras tres muestran repulsión. [*The Physical Basis of Heredity*, p. 116]

Uno de los descubrimientos más importantes de la época fue que los genes se encontraban alineados en los cromosomas, y en consecuencia, otro descubrimiento fundamental derivado a partir del entrecruzamiento fue que los genes se manejan en bloques.¹⁰⁰ La prueba de que los genes se encontraban alineados THM la ofreció en esta publicación en su capítulo "El orden de los genes" ("The Order of the Genes"¹⁰¹). Argumenta que los genes están alineados en los cromosomas y que esto no se debe a la formulación y comprobación de la teoría cromosómica, sino al entrecruzamiento y enlace de caracteres. THM y su equipo encontraron que los genes eran los responsables de la transmisión de la herencia. También descubrieron que con la frecuencia de entrecruzamientos y la forma en que estos se daban les ayudaría a construir el primer mapa génico sobre las diferentes mutaciones encontradas en *Drosophila*.¹⁰² Además THM habló de series alelomórficas, es decir, caracteres que se encontraban ligados y muy cercanos uno del otro. Así THM y su equipo comenzaron a tomar en cuenta las frecuencias con que se daban los entrecruzamientos entre caracteres. Entre más alejado estuviera un gen del otro más probabilidades tenían de entrecruzarse, y entre menor fuera el éxito de entrecruzamiento más cercanos y ligados estaban. Así ellos presentaron mediante las siguientes tablas los resultados, para alas y color de cuerpo, sobre sus diversas variantes.¹⁰³

¹⁰⁰ *Ibid.*, p. 126.

¹⁰¹ *Ibid.*, p. 118. La traducción es mía.

¹⁰² *Ibid.*, pp. 103-104.

¹⁰³ *Ibid.*, pp. 123-125.

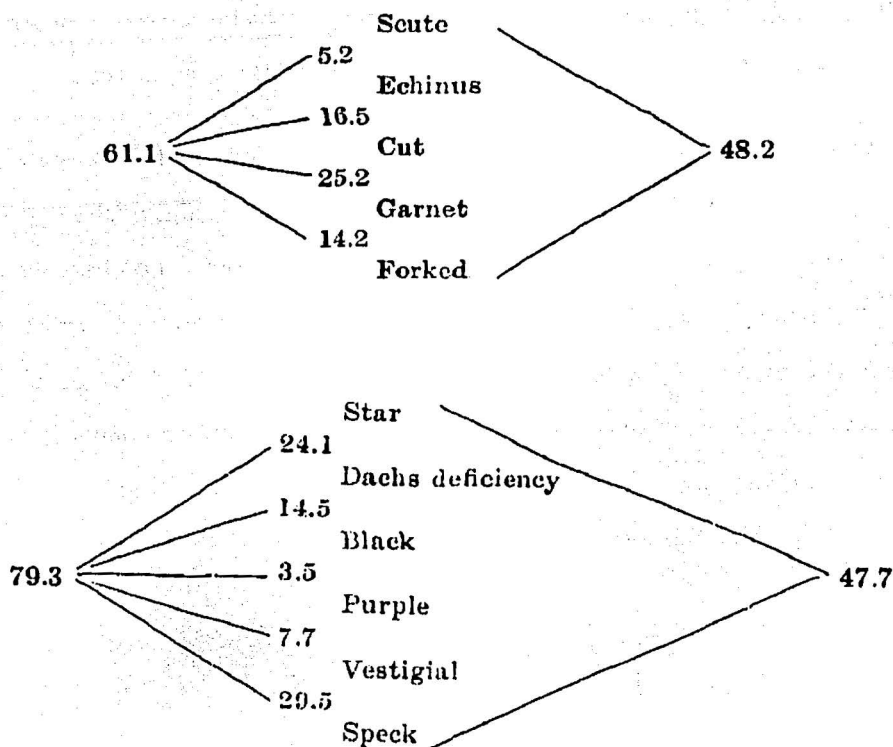


Figura 33. Este diagrama muestra como es que se comienza la construcción de mapas genéticos. Mediante la frecuencia de entrecruzamiento. [*The Physical Basis of Heredity.*]

Una vez que THM había asociado a los genes con los cromosomas, su siguiente problema era saber cual era su localización a lo largo del cromosoma.¹⁰⁴ Si recordamos el primer capítulo del primer libro, entonces nos acordaremos de que fueron nombradas las características que hasta la fecha habían encontrado en *Drosophila* pero hacia falta algunas, además de que no se sabía donde con

¹⁰⁴ Ana Barahona, *El hombre de las moscas*. Thomas H. Morgan, p. 29.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

exactitud donde era donde se encontraban. Fue gracias al trabajo de Sturtevant y Müller, bajo la tutela de THM, que se logrará el hacer un mapa genético.

Otra manera de mostrar el cómo es que los genes se encontraban alineados a lo largo del cromosoma, THM lo expone de la siguiente manera. El hecho de que los genes se encontraran alineados a lo largo de los cromosomas nos habla también de su distribución después del entrecruzamiento, partiendo de las explicaciones que anteriormente THM esquematizará. Para demostrar este punto THM argumenta que si tuviéramos un bloque *ABCDEFGHIJKLMN* y su aleomorfo fuera entonces *abcdefghijklmn* y estos se movieran en bloques el resultado podría ser visto de la siguiente manera:

A B C D E f g h i j k l m n
a b c d e F G H I J K L M N

Ahora bien cabría preguntar qué determina dónde comienza, dónde termina un bloque y porqué sucede así. Pero hay algo más importante que no debemos perder de vista, y es el hecho de que aún los cromosomas son los que tienen la mayor trascendencia y no los genes. Es decir, se considera que los cromosomas son los que se apareaban y no los genes. Estos experimentos fueron hechos por Müller, Sturtevant, Bridges, Weinstein y Gowen en *Drosophila*. Se propusieron determinar el entrecruzamiento y aunque no explican cómo llevaron a cabo el experimento sí establecieron que por lo regular los cromosomas tenían el mismo tipo de entrecruzamiento, es decir, se rompían en los mismos bloques. Pero también vieron que dependía en mucho del par de cromosomas que estudiaran.

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

También mostraron los diferentes tipos de cromosomas que vieran en hembras de *Drosophila* a lo largo de toda su investigación, tal y como se muestra en la siguiente imagen (Fig.34).

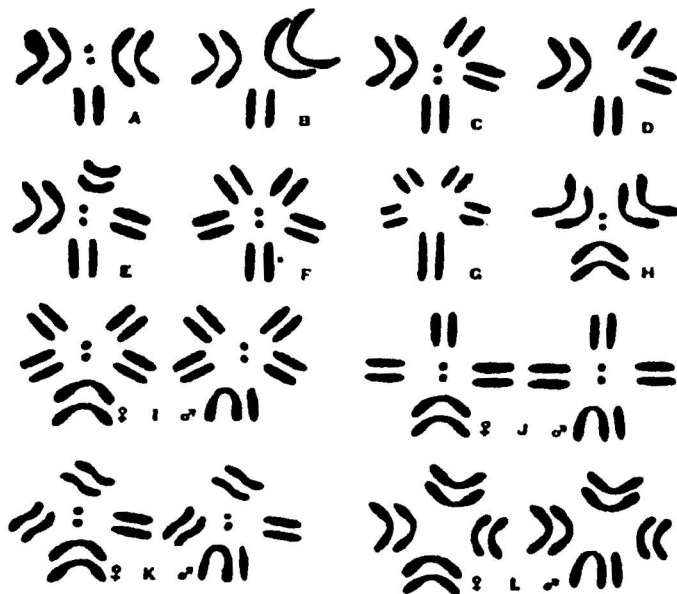


Figura 34. Cromosomas de diferentes tipos en *Drosophila melanogaster*.
[*The Physical Basis of Heredity*, p. 136]

Mucha fue la evidencia colectada por THM y su grupo, sobre los cromosomas y los genes, ayudando a la teoría que sustentaba que los cromosomas eran portadores de los genes. Al mismo tiempo los embriólogos de la época llegaron a descifrar la importancia de los cromosomas como portadores del material de la herencia. Los experimentos que Boveri realizará con los huevos de erizos de mar, fertilizados y fecundados, ayudo a la formulación de la hipótesis sobre los

cromosomas como portadores del material de la herencia.¹⁰⁵ A continuación veremos el diagrama (Fig. 35) de uno de los experimentos que utilizará Boveri para demostrar que tanto los espermatozoides, como los óvulos eran portadores del material de la herencia.

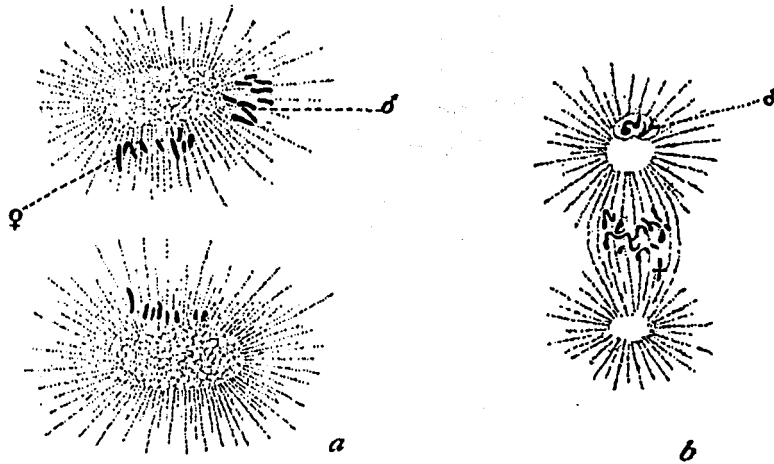


Figura 35. Fertilización de un óvulo que ha comenzado su desarrollo partenogenético. En este proceso podemos ver los cromosomas femeninos y masculinos en recombinación. [The Physical Basis of Heredity, p. 216]

IV

LA TEORÍA MODERNA de la herencia se consolidó de la reinterpretación de los principios enunciados por Mendel, como ya lo habíamos dicho antes. Igualmente he mencionado que THM conforme fue avanzando en sus investigaciones también avanzó en la comprensión de las leyes mendelianas. Consecuentemente sus

¹⁰⁵ Thomas Hunt Morgan, *The Physical Basis of Heredity*, p.218.

esquemas eran cada vez mucho más fáciles de comprender y exponían claramente los conceptos y las formulaciones acerca de la teoría del gen, la cual se manifestaría de manera formal en un libro que publicara en 1926: *La teoría del gen (The Theory of the Gene)*. En este texto THM aclara que gracias a la química y a la física se sabe acerca de aquellos elementos invisibles llamados genes. Con base en este conocimiento, THM explica de otra forma cómo las características se combinan dictando las características para las siguientes generaciones tal y como lo vemos en el siguiente diagrama (Fig. 36). Aquí se muestran las gametas de polen por un lado, mientras que del otro (en la parte superior del cuadro) aparecen las gametas que encontramos en el óvulo, mostrándonos cómo se da la combinación de ambos y de sus caracteres cuando estos son heterocigotos. Además, aunque en apariencia sean plantas altas, cuando, observamos su progenie esta tienen las dos características (alto y bajo), sólo que la característica de alto domina sobre la de bajo.



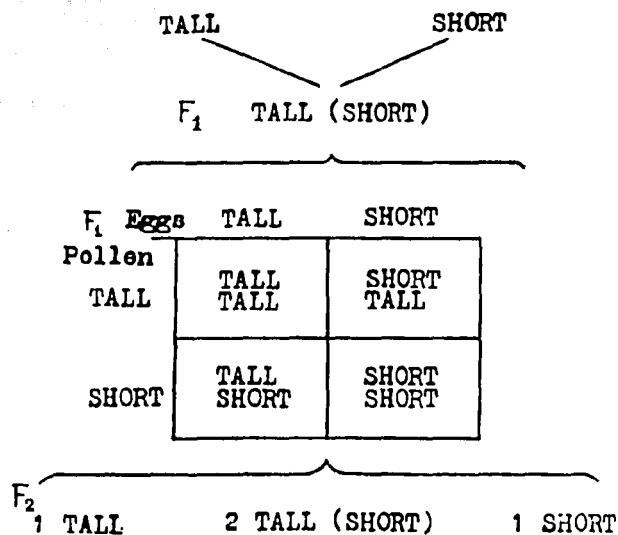


Figura 36. Cruza de plantas de chícharos altos y bajos (F₁ y F₂) hecha por Mendel.
 [*The Theory of the Gene*, p. 2]

THM utilizó otras maneras para ejemplificar este proceso, y es así que recurre de nuevo a los diagramas de círculos, pero a diferencia de los esquemas anteriores aquí ya podemos ver a los cromosomas pareados y se distingue cuando son puros u homocigotos o que ambos caracteres están combinados.

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

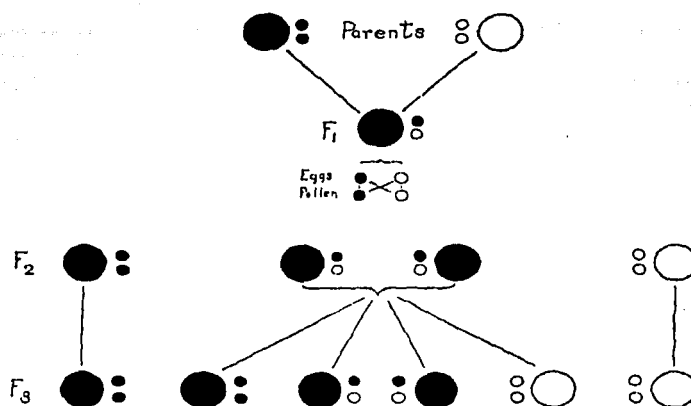


Figura 37. Historia de las células germinales en una cruce de caracteres de rojo y blanco. Los círculos pequeños representan a los genes portadores de cada una de las características. Los círculos en color negro son para el color rojo y los blancos para el carácter de color blanco. [*The Theory of the Gene*, p. 7]

THM probó con otro tipo de diagrama como el que a continuación veremos (Fig. 38). En este intentó bosquejar la cruce de dos caracteres diferentes, de manera independiente.

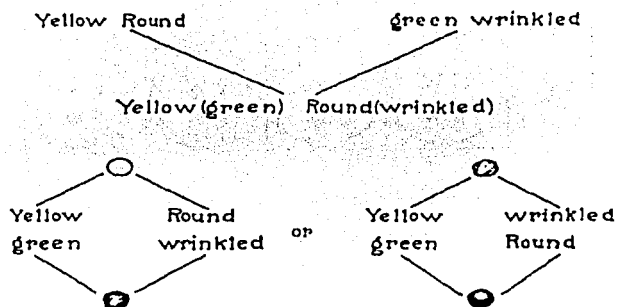


Figura 38. Diagrama que muestra la cruce de dos caracteres. [*The Theory of the Gene*, p. 8]

Desafortunadamente este esquema no es ideal para la muestra de resultados, mientras que el siguiente sí lo es, pues mediante un cuadro de Punnet. Además la utilización de una nomenclatura que denote el carácter de cada una de las características, es decir, mayúsculas para los dominantes y minúsculas para los recesivos, facilita la comprensión de los resultados. Es así que THM utiliza el siguiente cuadro para poner en claro los resultados obtenidos por Mendel en la segregación de dos caracteres independientes que eran chícharos verdes o amarillos, lisos o rugosos.

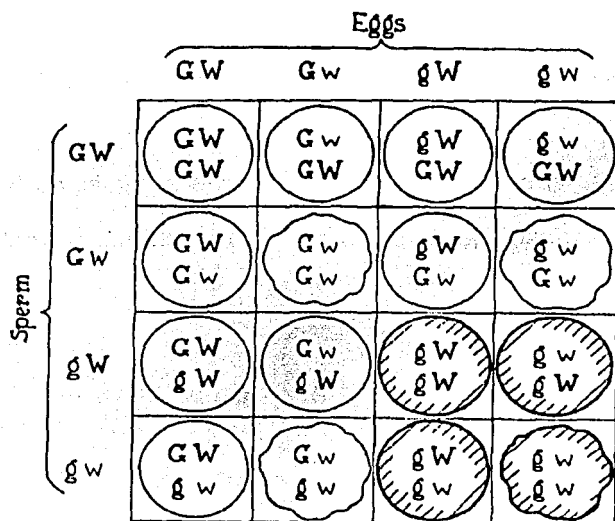


Figura 39. Diagrama que muestra la cruce F₂ de dos características. Cruza 9:3:3:1
[*The Theory of the Gene*, p. 9]

Otra forma que THM utilizara para ejemplificar que existía entrecruzamiento en los cromosomas, fue mediante el entrecruzamiento de bloques específicos de

caracteres, tal y como se aprecia en los siguientes diagramas. En ellos se expresa que para obtener información sobre la localización de cada gen y dictaminar la distancia entre cada uno se utilizará la frecuencia de entrecruzamientos y los lugares donde se llevaron a cabo. Tomemos como ejemplo el siguiente caso que THM utilizará, en este caso en específico utilizó el siguiente bloque de caracteres: bermellón, *garnet*, bifurcado y *bobbed*. Los primeros resultados se muestran en la figura 40, donde podemos observar que tuvo dos puntos de entrecruzamiento importantes.

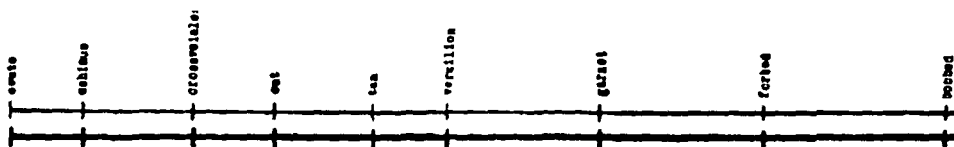


Figura 40. Diagrama de dos alelomorfos de genes ligados. En la línea superior encontraremos a nueve genes recesivos ligados al sexo, mientras que en la línea inferior encontraremos a los genes normales. [The Theory of the Gene, p 21]

El entrecruzamiento se dio en el mismo tipo de múltiplo recesivo, como sucederá subsecuentemente. Si el entrecruzamiento se da en medio de la serie o bloque, las dos mitades se verán involucradas en el entrecruzamiento, como lo muestra la siguiente figura.

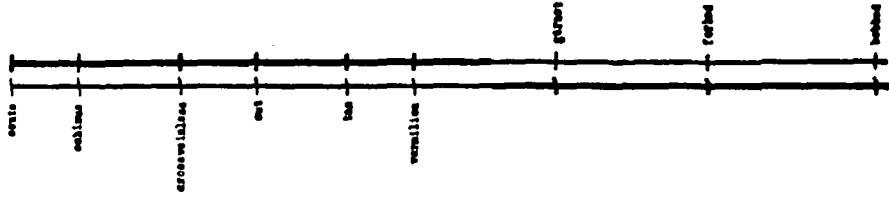


Figura 41. Diagrama que muestra el entrecruzamiento de los caracteres que vimos en el diagrama anterior. Entrecruzamiento en la parte donde se encuentra la característica para ojos color bermellón. [*The Theory of the Gene*, p 21]

Pero si el entrecruzamiento se da en los extremos, en una pequeña parte, el entrecruzamiento se limitará a esa parte, como lo muestra el diagrama siguiente.

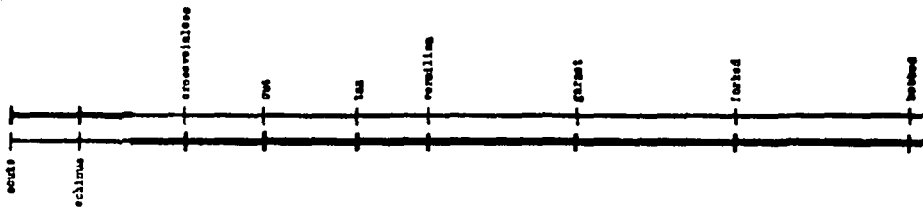


Figura 42. Al igual que en el diagrama anterior, se muestra el entrecruzamiento hacia el final del extremo izquierdo. [*The Theory of the Gene*, p 21]

Pero cuando el entrecruzamiento ocurre en dos lugares de manera simultánea, como ocurre en la siguiente figura, muchos son los cromosomas involucrados.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

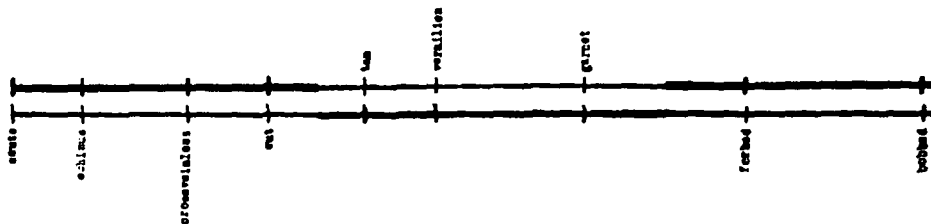


Figura 43. Aquí podemos ver un entrecruzamiento en dos regiones diferentes.
 [The Theory of the Gene, p 21]

Toda la serie de genes interactúan de una u otra forma, de hecho es una regla en el intercambio de información sólo en aquellos en los que exista entrecruzamiento. Cuando ocurren dos entrecruzamientos de manera simultanea, muchos son los genes los que se ven involucrados, pues como ya lo había expuesto anteriormente en su libro *Las bases físicas de la herencia*, en su capítulo "El orden de los genes", así de esta forma fue que se comenzaron a construir los primeros mapas genéticos.

Como lo vimos anteriormente la mayoría de las investigaciones se realizaron mediante las observaciones que hicieran de los procesos de división celular y de entrecruzamiento fue que supieron de la ubicación de cada uno de los genes que estaban estudiando en la *Drosophila*. THM encontró que entre más alejados estén los genes más fácilmente puede darse una ruptura entre ellos.¹⁰⁶

¹⁰⁶ Thomas Hunt Morgan, *The Theory of the Gene*, p. 30.

Una vez que THM había asociado a los genes con los cromosomas su siguiente problema era saber cuál era su localización a lo largo del cromosoma.¹⁰⁷ Recordemos que en el primer capítulo de su primer libro, THM nombró las características que hasta la fecha habían encontrado en *Drosophila*, pero faltaban algunas y además no se sabía con exactitud en dónde se encontraban. Fue gracias al trabajo de Sturtevant y Müller, bajo la tutela de THM, que se logró hacer un mapa genético como ya lo había mencionado anteriormente en este capítulo. Asimismo, como también lo señalé anteriormente, la mayoría de las investigaciones se realizaron mediante las observaciones que hicieran de los procesos de división celular y de entrecruzamiento, y a partir de estas fue que supieron la ubicación de cada uno de los genes que estaban estudiando en la *Drosophila*. THM encontró que entre más alejados estén los genes más fácilmente puede darse una ruptura entre ellos.¹⁰⁸ Fue así que finalmente en este libro dieron a conocer el mapa que construyeron para la localización de los genes de *Drosophila*. (Fig. 44)

¹⁰⁷ Ana Barahona, *El hombre de las moscas*. Thomas H. Morgan, p. 29.

¹⁰⁸ *Op.cit.*, p. 30.

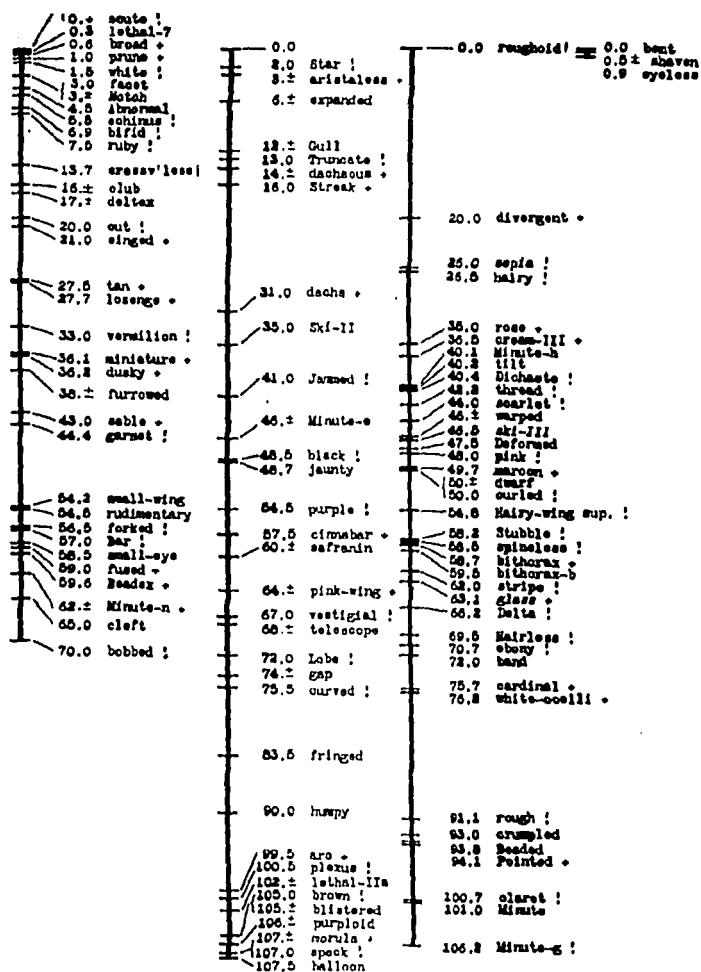


Figura 44. Mapa genético de *Drosophila*. [*The Theory of the Gene*, p 23]

Si recordamos en el primer libro *El mecanismo de la Herencia Mendeliana*, THM y su equipo sólo propusieron una lista de caracteres divididos en cuatro grupos.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Group I	Group II	Group III	Group IV
Abnormal	Antlered	Band	Bent
Bar	Apterous	Beaded	Eyeless
Bifid	Arc	Cream III	
Bow	Balloon	Deformed	
Cherry	Black	Dwarf	
Chrome	Blistered	Ebony	
Cleft	Comma	Giant	
Club	Confluent	Kidney	
Depressed	Cream II	Low crossover	
Dotted	Curved	Maroon	
Eosin	Dachs	Peach	
Facet	Extra vein	Pink	
Forked	Fringed	Rough	
Furrowed	Jaunty	Safranin	
Fused	Limited	Sepia	
Green	Little crossover	Sooty	
Jaunty I	Morula	Spineless	
Lemon	Olive	Spread	
Lethal 1	Plexus	Truncate intens.	
Lethal 1a	Purple	Trident	
Lethal 2	Speck	White head	
Lethal 3	Strap	White ocelli	
Lethal 3a	Streak		
Lethal 4	Tip		
Lethal 5	Trefoil		
Lethal 6	Truncate		
Lethal 7	Vestigial		
Lethal B			
Lethal Sa			
Lethal Sb			
Lethal Sc			
Miniature			
Notch			
Reduplicated			
Ruby			
Rudimentary			
Sable			
Shifted			
Short			
Skee			
Spoon			
Spot			
Tan			
Truncate intens.			
Vermilion			
White			
Yellow			

Figura 45. Lista de caracteres de *Drosophila melanogaster*
 [The Mechanism of Mendelian Heredity, p.6]

En conclusión, en este libro THM y su grupo de investigación manifiestan que ya se encuentran en posición de formular la teoría del gen, la cual a la letra dice:

La teoría postula que las propiedades del individuo están en relación con elementos pareados (genes) del material germinal, que dentro de un número definido de grupos de ligamiento, y dice que los miembros de cada par de genes se separan cuando las células germinales maduran de acuerdo con la primera ley de Mendel, y en consecuencia cada una de las células embrionarias contiene un solo juego, así mismo cada uno de los miembros pertenecientes a diferentes grupos de ligamiento se agrupan independientemente unos de otros, de acuerdo con la segunda ley de Mendel; y además se establece un intercambio ordenado entre los elementos de un grupo de ligamiento - entrecruzamiento -; dice que la frecuencia de entrecruzamiento proporciona la prueba de la ordenación lineal de los elementos de cada grupo de ligamiento y de la posición relativa de los elementos entre sí.

Estos principios que en conjunto me atrevería a llamar teoría de los genes, nos da la posibilidad de tratar problemas genéticos basándonos en criterios estrictamente numéricos y nos permiten predecir con gran exactitud lo que ocurrirá en cada situación dada. Desde este punto de vista la teoría cumple todas las exigencias de una teoría científica en sentido pleno.¹⁰⁹

Así como se descubrió que los cromosomas tenían diversas formas y tamaños, también se llegó a la conclusión que todas las células poseían un doble juego de cromosomas, como también lo poseían las células germinales en sus estados más tempranos. Localizando cromosomas pareados en las células somáticas, es decir, dos cromosomas de cada tipo, a diferencia las células germinales estos se pareaban cuando existía unión de las gametas femenina y masculina. La única excepción era el par sexual, el cual si estaba pareado. A esto THM lo sustentaría con los siguientes dos diagramas (Figs. 46 y 47).

¹⁰⁹ Thomas Hunt Morgan, *The Theory of the Gene*, p. 25. La traducción es mía.

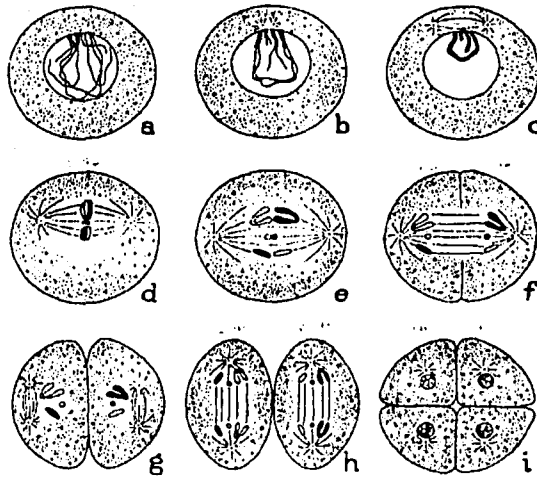


Figura 46. Diagrama que muestra la división de células espermáticas. Tres pares de cromosomas están representados en este. Los cromosomas del padre fueron representados en color negro y los de la madre en blanco. En la primera división existe una reducción (d, e, f), en la segunda los cromosomas migran a cada una de las células hijas (g, h).

[*The Theory of the Gene*, p. 37]

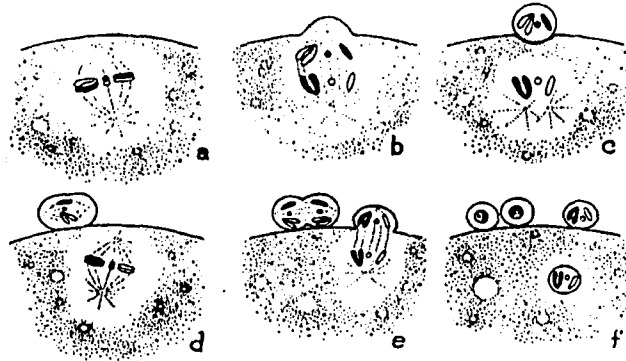


Figura 47. Diagrama que muestra la división de células del huevo. Al igual que en el caso anterior los cromosomas del padre fueron representados en color negro y los de la madre en blanco. En (a) se observa el primer giro hacia los polos. En (b) la separación de los cromosomas paterno del materno, provocando una reducción.

[*The Theory of the Gene*, p. 38]

Hasta entonces se había comentado sobre gen, su estabilidad como pieza clave en el proceso de la herencia.¹¹⁰ Así al final de esta obra se dejan muchas preguntas abiertas, preguntas que serían contestadas tiempo después por otros. Estas preguntas estaban en general enfocadas a la estabilidad de la molécula, es decir, su naturaleza física y química. Argumentaba que mientras este conocimiento no fuera aclarado el científico tendría que limitarse sólo a los hechos, es decir, a los resultados obtenidos y posibles de constatar a simple vista. Tiempo después THM en un artículo que publicará en 1934, argüiría:


No existe consenso general en la opinión entre los genetistas en cuanto a que los genes son reales o puramente ficticios - porque en el nivel en que los experimentos genéticos mienten, lo que no hace la diferencia de si el gene es una unidad hipotética, o si el gene es una partícula material. Cualquiera que sea el caso esta unidad es asociada con un cromosoma específico, y puede ser localizada allí por un análisis puramente genético. Así, si el gene es una unidad material, esto es un pedazo de un cromosoma; si esto es una unidad ficticia, esto debe remitirse a una posición definida en un cromosoma - el mismo lugar que sobre otra hipótesis. Por lo tanto, esto no hace ninguna diferencia con el trabajo real en la genética el que el punto de vista es tomado.¹¹¹

Cabe resaltar que THM siempre dio crédito a quien cito, utilizó los ejemplos de estos y los apoyo mediante imágenes. THM siempre apoyo sus conceptos e ideas mediante imágenes, lo cual muy posiblemente fue utilizado como una herramienta, pues la percepción siempre va ligada al conocer y este a su vez al conocimiento. La acción de conocer por si misma no explica lo conocido, sin embargo la percepción es el preconocimiento y su análisis y representación da como resultado el conocimiento. Así el conocimiento explica la percepción de lo que se conoce y

¹¹⁰ Thomas Hunt Morgan, *The Theory of the Gene*, p. 293.

¹¹¹ Thomas Hunt Morgan, *Nobel Lecture* "The relation of genetics to physiology and medicine", p. 315. La traducción es mía.

la explicación a lo que se percibe se traduce en conocimiento. La imagen representa conceptos, la suma de conceptos ayuda a la formulación de una teoría, y así con la imagen como sustento de conceptos, sustenta a su vez a la teoría tal y como lo vimos en las obras de THM.

En exitosa consecuencia, varios fueron los premios y distinciones que THM recibiera destacando la medalla *Darwin* en 1924, el premio *Nóbel* en medicina y fisiología por su descubrimiento de la transmisión hereditaria en *Drosophila melanogaster*, en 1937 y la medalla *Copley* de la Real Sociedad de Londres en 1939. En el periodo de 1927 a 1930 fue presidente de la Academia Nacional de Ciencias, y en 1930 de la Asociación Norteamericana para el avance de la Ciencia.¹¹² Entre sus principales obras están *Adaptación y Evolución* (1903), *El mecanismo de la herencia mendeliana* (1915), *La teoría del gen* (1926), *Embriología experimental* (1927) y *Embriología y Genética* (1934). 

¹¹² Ana Barahona, *El hombre de las moscas. Thomas H. Morgan*, pp. 15-16.

Cada ciencia tiene su etapa de formación... la creación de cualquier ciencia es común: determinar la materia a investigar, elaborar los conceptos correspondientes a la materia en cuestión, establecer la ley fundamental inherente a dicha materia y descubrir el principio o crear las teorías que permitieran explicar gran número de casos.

La ciencia

M.B. Kédrov y A. Spirkin.

V. CONCLUSIONES

Básicamente, el hilo conductor de este trabajo consistió en el análisis de dos niveles –podemos decir de tipo epistemológico– relacionados entre sí. Por un lado los conceptos que integran la teoría de THM a la luz de sus publicaciones mayores (*corpus general*) y otros artículos básicos (*corpus específico*). Por el otro, el grado de representación articulado a la teoría y directamente en su nivel visual. En ambos niveles existe una correlación que mostró la evolución de las ideas de THM con respecto a las leyes de Mendel, la herencia, los cromosomas y los genes en general, con su paralela evolución en las formas de representación, ya fueran esquemas, diagramas, cuadros e imágenes.

En el nivel teórico, en ocasiones me fue confuso entender las concepciones de THM, pues inicialmente tuve la tendencia de querer homologar los procesos de división que conocemos en la actualidad con sus progresos. En este sentido imagino que al romper paradigmas, principalmente aquel que consideraba a los cromosomas como los transportadores de la información y que dentro de estos existen unas unidades llamadas genes que contienen la información encargada de transmitir la herencia, fue sin duda alguna complicado y difícil de comprender y de aceptar, como lo es ahora para mí entender la ciencia de principios de siglo XX. Parece poco el tiempo que ha pasado y sin embargo las lagunas que tenemos con respecto a la forma o formas en que se genera el

conocimiento aún son muchas, como también los paradigmas científicos fueron rompiéndose y a su vez creándose nuevos a cada estadio particular de conocimiento. En suma, al revisar el trabajo de THM puede replantear el largo, a veces tortuoso camino del conocimiento dentro del tiempo; sus variados cambios que tuvo y cuántas vueltas se le dio al mismo asunto hasta encontrar la respuesta. El avance de THM no escapó de las contradicciones, momentos de confusión e incluso dolores de cabeza por comprender la magnitud de lo descubierto tanto por Mendel, sus colegas, y él mismo, por ejemplo. Comprender un sin fin de procesos únicamente mediante la ayuda de herramientas como el microscopio, a veces en condiciones demasiado manipuladas por el hombre, aumenta el grado de incertidumbre y la validez de los datos observados. Afortunadamente actualmente disponemos de un sin fin de herramientas que nos ayudan a transmitir el conocimiento y mejores formas de expresar lo que necesitamos transmitir a otros.

En el caso de THM, en un principio, desde mi muy personal punto de vista, fue un tanto arrebatada y apresurada sus ideas, pues sin más ni más y antes de que el lector terminara de comprender cómo actúan en principio los cromosomas, o cualquier otro mecanismo, confunde con la explicación de otro mecanismo. Aparentemente, estos mecanismos y sus explicaciones salen de la nada. No obstante, esta impresión aparente no resta mérito alguno al trabajo de THM. Si el lector resulta ser un buen observador y tener una lectura eficaz, podrá descubrir la sutil conexión de los conceptos fundamentales con los más elaborados en una progresión lógica y en una relación de metodología que le llevó a THM 17 años de investigaciones.

En su primer libro, un texto de reinterpretación y de reformulación teórica, más que una obra de resultados maduros, THM dejó un sin fin de preguntas y muchas respuestas vagas, mismas que reconsidera en su segundo libro en donde a su vez respondería y abriría de nueva cuenta muchas más preguntas. Sin embargo cabe señalar que su segunda obra es un poco más madura, de carácter menos exploratorio, pues establece las bases de la genética moderna. THM y su grupo aceptan desde entonces la existencia del cromosoma y la validez de las leyes mendelianas. La conjunción de la teoría cromosómica y las leyes mendelianas abrió muchas más preguntas, y gracias a los trabajos hechos por Sturtevan y Müller en la generación del primer mapa genético y las discusiones que THM promovió en sus libros citando los descubrimientos más destacados de la época, así como el uso de imágenes en sus explicaciones, permitió que la genética diera pasos agigantados en su construcción.

A pesar de que muchas fueron las críticas al grupo de THM, en su mayoría provenientes de grupos ajenos a esta rama de la ciencia, la influencia que sus trabajos tuviera en la forma de hacer ciencia quedó plasmada en las demás ramas. La utilización de imágenes no sólo ayudó a tener una mejor percepción del problema, sino que la simple percepción del problema que THM tuviera ayudó a hacer de lo complejo algo más sencillo de entender.

Quisiera hacer hincapié en algo que he marcado mucho, el ojo humano es limitado así como el tiempo que tiene para poder constatar todo lo que se descubre mediante la percepción. Aún cuando el desarrollo de la tecnología es sorprendente y diversas fórmulas matemáticas han sido expuestas, la capacidad de entendimiento tiene un límite, es decir, el que genera el conocimiento por el simple hecho de haberlo formulado y comprobado por si

mismo tiene validez y es verdadero para él mismo, el propio sujeto, pero para aquel que lo lee y trata de comprenderlo resulta un proceso de interpretación que busca recrear en la mente los conceptos expresados. Esta interpretación cuanto más ardua resulta si la teoría que se trasmite carece de imágenes que constaten de alguna manera su existencia y validez dentro de lo perceptible. Por eso creo que es de vital importancia para la mejor comprensión de cualquier problema incluir formas de representación. La representación es la expresión del concepto a través de una imagen "intencionada", "motivada". Las relaciones entre el concepto y la imagen se verifican al establecerse una analogía de naturaleza arbitraria, es decir, a partir del concepto se determina la forma; la forma de la imagen. Dicho de otra manera, es el concepto el que genera a la forma-imagen.

THM construyó un sistema de conceptos (teoría) y un sistema de representación (imágenes) para tales conceptos. Así pues los diagramas, esquemas, dibujos, fotografías, etcétera, están motivados por el concepto que representan. Aunque cabe aclarar que no todos los conceptos expuestos por THM pudieron ser representados y que algunos conceptos no estuvieron lo suficientemente sustentados por sus imágenes y viceversa, algunas imágenes no estuvieron del todo fundamentadas por sus conceptos. Como se dijo anteriormente imagen y concepto deben de ir en comunión para poder explicar la problemática y la respuesta a esta y si aún no se tiene esta, la representación permite en ocasiones vislumbrar la posible respuesta. Considero que fue así como THM pudo seguir avanzando mediante las imágenes, diagramas, esquemas y sobre todo con el desarrollo de los mapas genéticos que construyeron fue más fácil vislumbrar respuestas y romper y

generar nuevos paradigmas. Cabe resaltar que la finalidad y la búsqueda de la representación es la explicación total del concepto. El sentido natural de la imagen es la representación. Sentido, de acuerdo con Jean Paul Sartre, "es la cualidad natural de las cosas"; o la cualidad trascendente de las cosas, su sentido natural y no humano, o sea, conferido por el hombre de manera arbitraria. Por su parte el sentido del concepto no es una teoría *per se*, es evocar un fenómeno natural, un objeto, la cosa misma. Cuando se le confiere un concepto a una imagen y a su vez se le confiere un sentido nuevo al sentido primario, la comprensión del mismo cambia, generándose así un nuevo conocimiento que servirá de pilar para la generación de nuevas ideas y nuevos conceptos en una cadena teórico-epistemológica. La generación de estas ideas y conceptos debe de ser constante, de forma tal que no se estanque. Con la ayuda de las imágenes podemos tener diferentes perspectivas de un mismo problema; así la interpretación de las imágenes es tan importante como la interpretación de los conceptos, como lo hiciera THM con las leyes mendelianas.

El lenguaje científico tiene como objetivo representar "lo real" a diferencia del lenguaje del escritor que busca "significados".¹¹³ El concepto por sí mismo es polisémico, abierto a una variedad de sentidos. Su estructura es de naturaleza "flotante", y la representación son sus formas, sus posibilidades. Así, la imagen como representación posible del concepto, fija, define, limita, sujeta

¹¹³ No se trata de palabras en función del lenguaje mismo, sino de palabras que integran conceptos que remiten a un objeto de la naturaleza, a la cual consideramos real, aún y cuando no percibamos como tal a dicho objeto, en evidencia física, es decir, entiéndase como ejemplo un gen. Cf. Bas. C. van Fraassen and Hill Sigman, "Interpretation in Science and in Arts", in *Realism and Representation. Essays on the Problem of Realism in Relation to Science, Literature, and Culture*, George Levine (editor), pp. 73-97. Esta obra es sin duda una lectura fundamental para el problema del realismo, la representación y la interpretación en ciencia.


al concepto, la imagen dota al concepto de sentido cerrado, específico. Por ello mencionábamos el carácter dual interdependiente del sistema concepto-representación, particular del lenguaje científico.

Para finalizar, en lenguaje ordinario decimos que imaginamos algo, y eso que imaginamos no siempre está ahí, es decir, como un objeto de la realidad, a la que consideramos la verdad de la naturaleza de los fenómenos perceptibles por el hombre. Caso contrario, digamos, una persona que realmente pudiera ver en este caso un cromosoma, pero no imaginar, vería nos sólo un mundo sólido de estructuras y de cuerpos, sino simplemente formas, colores, elementos, dimensiones, etc., De este modo, para nombrar lo percibido la imaginación es sumamente importante, es una función indispensable para nuestro conocimiento del mundo que nos rodea. THM es un ejemplo de imaginación con búsqueda científica, para representar lo estudiado y explicarlo conceptualmente. Debe sostenerse esto, aunque contrariamente pueda decirse que en otros casos aquello que imaginamos son fantasmas, entidades sin realidad. ¿Qué tanto son los genes objetos fuera de la realidad? Lo fueron sin duda en un momento de la evolución del conocimiento científico, pero ahora, ¿qué sigue estando fuera de la realidad? Nuestra capacidad perceptiva es por lo tanto limitada y nuestra tecnología también.

El mismo tipo de error se expresa lamentablemente con la palabra imagen, que en este trabajo funcionó no como una simple palabra con sentido y significado, sino como un marco conceptual para hablar de la representación visual. Ambos errores son semejantes porque proyectan una unidad supuestamente ficticia, modelada, elaborada con intencionalidad, antropomorfizada, y nos induce a un pensamiento confuso cuya validez como posibilidad de conocimiento casi

siempre descartados de antemano. Alguien también podrá decir que todo podrá ser mejor expresado con la palabra imagen. Empero, eso depende, en primer lugar, de las condiciones bajo las cuáles se formen las imágenes, como lo analizamos en el caso de THM, y en segundo lugar, la imagen es generada por y para el concepto que se pretende representar. Luego entonces, si se tratará de mera terminología sería objetable. La imagen sugiere, como ya lo he señalado, una relación de analogía entre la relación de un concepto y la relación de una fotografía o de un dibujo con el objeto fotografiado o dibujado y expresado por el concepto. Así, la esencia de esta relación entre objeto-concepto-dibujo (imagen) es que todos se encuentran evidentemente presentes ante nosotros aunque no sean objetos que percibimos, es decir, se los percibe con herramientas y no a simple vista. Por ello, a uno se le llama la imagen del otro mientras sea manifiestamente como el objeto que representa. Y ese grado de representatividad varía, desde lo netamente simbólico hasta lo abstracto, o lo visual. Llamar a eso que percibimos como "genes" cuando miramos a través del microscopio es sugerir que vemos las cosas separadamente, es decir, el gen como tal y a su imagen.

Mientras que el punto de toda teoría científica es que no ocurra así; y es sugerir también que lo que vemos es una copia verdadera de los genes, introduciendo de esta manera al objeto que estudiamos-observamos. En síntesis, la teoría, integrada por conceptos, es un intento de explicar el mundo que perciben nuestros sentidos como también los posibles errores que cometemos con nuestras sensaciones al proyectarlas en los sentidos mismos; es decir, nos indica que se trata de una percepción, no del objeto en sí mismo, pero también nos indica que el objeto percibido sí existe. Por lo tanto, en ciencia, las

percepciones no pueden dividirse en reales e imaginarias. Esa experiencia a la que llamamos percepción es sólo de una clase y no es susceptible de las divisiones de real, verdadera y falsa, verídica e ilusoria, aunque a veces así parezca. Lo que es verdadero o falso es el pensamiento, o sea nuestra interpretación. Así, una percepción de un objeto de estudio, se conceptualiza y se representa adecuadamente científicamente interpretado y será falso lo contrario. En este punto llegamos a un tercer nivel, de nuevo al campo de lo imaginario. Será una percepción imaginaria cuando el objeto de estudio no ha sido interpretado, como cuando Mendel y el propio THM no pensaron en la existencia de los genes el primero, y el último no otorgó importancia teórica a los mismos, ya fuera porque se trató de interpretar y se fallara o porque simplemente nunca se había intentado. Cabe aclarar que no se trata de tres tipos de percepción, se trata de percepciones en la cuáles el trabajo interpretativo del pensamiento se realizó bien, mal o no se ha realizado. La distinción del sentido común entre percepciones imaginarias y reales, no es por lo tanto, falsa. Hay una distinción ciertamente, como lo constamos en el trabajo de representación de THM. Pero no es una distinción entre percepciones. Es una distinción entre las diversas maneras en que lo percibido puede encontrarse relacionado con el trabajo interpretativo del pensamiento del científico. Y sin duda, la imaginación de THM como función activa, desempeñó un papel primordial en la reinterpretación de las leyes de Mendel y en la continuidad de sus investigaciones. La imagen, en definitiva, queda integrada a la teoría que representa, si, pero se trata de la realidad representada. 

LISTADO DE IMÁGENES

Figura 1. Segregación de caracteres según THM. "Cromosomas y Herencia", 1910.

Fig. 2. Representación del entrecruzamiento. *The Mechanism of Mendelian Heredity*, 1915.

Figura 3. Determinación del sexo. *The Mechanism of Mendelian Heredity*, 1915.

Figura 4. Los cromosomas femeninos y masculinos de *Drosophila amphelophila*. *The Mechanism of Mendelian Heredity*, 1915.

Figura 5. Proceso de recombinación de información después de la fertilización según THM. *The Mechanism of Mendelian Heredity*, 1915.

Figura 6. División y reducción del material genético. *The Mechanism of Mendelian Heredity*, 1915.

Figura 7. División y reducción del huevo o cigoto. Segregación de caracteres. *The Mechanism of Mendelian Heredity*, 1915.

Figura 8. Segregación de caracteres. Se explica una segregación de 3:1, después de la conjugación de un óvulo y un espermatozoide con diferentes alelomorfos. *The Mechanism of Mendelian Heredity*, 1915.

Figura 9. Cruza de una mosca silvestre con una mosca mutante de alas vestigiales. *The Mechanism of Mendelian Heredity*, 1915.

Figura 10. Herencia ligada al sexo. Cruza de hembra silvestre *versus* macho mutante de ojos blancos. *The Mechanism of Mendelian Heredity*, 1915.

Figura 11. Cuadro que muestra la segregación de más de un caracter y sus resultantes según THM. *The Mechanism of Mendelian Heredity*, 1915.

Figura 12. Cruza de mosca gris (gray) de alas vestigiales *versus* mosca negra (ebony) alas largas. *The Mechanism of Mendelian Heredity*, 1915.

Figura 13. Demostración de herencia intermedia en *Mirabilis jalapa*. *The Mechanism of Mendelian Heredity*, 1915.

Figura 14. Esquema de la mosca *Drosophila* que muestra la diferencia entre una ala rudimentaria y un ala atrofiada. *The Mechanism of Mendelian Heredity*, 1915.

Figura 15. Entrecruzamiento. *The Mechanism of Mendelian Heredit*, 1915.

Figura 16. Repulsión. *The Mechanism of Mendelian Heredity*, 1915.

Figura 17. Cruza de dos factores de tipo mutante ligados al sexo *versus* un macho con características silvestres. *The Mechanism of Mendelian Heredity*, 1915.

Figura 18. Esquema de determinación sexual. *The Mechanism of Mendelian Heredity*, 1915.

Figura 19. Tipos de herencia ligada al sexo. (tipo *Drosophila* y del tipo *Abraaxas*). *The Mechanism of Mendelian Heredity*, 1915.

Figura 20. Diagrama que muestra las cinco combinaciones cromosómicas resultantes de la división de un huevo *dispérmico*, según THM. *The Mechanism of Mendelian Heredity*, 1915.

Figura 21. Cuatro pares de células hermanas de *Ascaris*, en donde los cromosomas se reagrupan. (Después de Boveri). *The Mechanism of Mendelian Heredity*, 1915.

Figura 22. Espermatogenesis de *Batrachoseps attenuatus*. *The Mechanism of Mendelian Heredity*, 1915.

Figura 23. Cruza de plantas altas y bajas de *Pisum sativum*. *The Physical Basis of Heredity*, 1919.

Figura 24. Oportunidad de recombinación de caracteres. *The Physical Basis of Heredity*, 1919.

Figura 25. Cruza de flores blancas y rojas de *Mirabilis jalapa*. *The Physical Basis of Heredity*, 1919.

Figura 26. Espermatogenesis de *Tomopteris*. *The Physical Basis of Heredity*, 1919.

Figura 27. Cruza de una hembra de cuerpo negro, alas vestigiales y un macho silvestre. *The Physical Basis of Heredity*, 1919.

Figura 28. Entrecruzamiento de de una hembra de cuerpo negro, alas vestigiales y un macho silvestre *The Physical Basis of Heredity*, 1919.

Figura 29. Entrecruzamiento de tetradas. *The Physical Basis of Heredity*, 1919.

Figura 30. Diagrama de Robertson y Wenrich. Se muestra cómo las hebras de la tetrada se abren en dos planos. *The Physical Basis of Heredity*, 1919.

Figura 31. Apertura y entrecruzamiento de tetradas. *The Physical Basis of Heredity*, 1919.

Figura 32. Diagrama que explica la teoría de reduplicación de Bateson y Punnet. *The Physical Basis of Heredity*, 1919.

Figura 33. Diagrama que muestra como es que se comienza la construcción de mapas genéticos. Mediante la frecuencia de entrecruzamiento. *The Physical Basis of Heredity*, 1919.

Figura 34. Cromosomas de diferentes tipos en *Drosophila melanogaster*. *The Physical Basis of Heredity*, 1919.

Figura 35. Fertilización de un óvulo que ha comenzado su desarrollo partenogénico. *The Physical Basis of Heredity*, 1919.

Figura 36. Cruza de plantas de chícharos altos y bajos (F1 y F2) hecha por Mendel. *The Theory of the Gene*, 1926.

Figura 37. Historia de las células germinales en una cruce de caracteres de rojo y blanco. *The Theory of the Gene*, 1926.

Figura 38. Diagrama que muestra la cruce de dos caracteres. *The Theory of the Gene*, 1926.

Figura 39. Cruza 9:3:3:1. *The Theory of the Gene*, 1926.

Figura 40. Diagrama de dos alelomorfos de genes ligados. *The Theory of the Gene*, 1926.

Figura 41. Entrecruzamiento de un bloque de genes. *The Theory of the Gene*, 1926.

Figura 42. Entrecruzamiento hacia el final del extremo izquierdo de un bloque de genes. *The Theory of the Gene*, 1926.

Figura 43. Entrecruzamiento de dos regiones diferentes. *The Theory of the Gene*, 1926.

Figura 44. Mapa genético de *Drosophila*. *The Theory of the Gene*, 1926.

Figura 45. Lista de caracteres de *Drosophila melanogaster*. *The Mechanism of Mendelian Heredity*, 1915.

Figura 46. División de células espermáticas. *The Theory of the Gene*, 1926.

Figura 47. División de células del huevo o cigoto. *The Theory of the Gene*, 1926.

156

Obras consultadas

Bibliografía

I. OBRAS PRINCIPALES DE THM

Artículos (*corpus general*)

1. MORGAN, Thomas H. "What are Mendelian 'Factors' in Mendelian Explanations?" *American Breeders Association Reports*, 1909. Vol. 5:365-369 pp.
2. MORGAN, Thomas H. "Chromosomes and Heredity". *The American Naturalist*, 1910. Vol. 44: 449-496 pp.
3. MORGAN Thomas H. "Sex Limited Inheritance in *Drosophila*". *Science*, 1910. Vol. 32:120-122 pp.
4. MORGAN Thomas H. "Simplicity versus Adequacy in Mendelian Formulae". *The American Naturalist*, 1913. Vol. 47: 372-374 pp.

Libros (*corpus específico*)

1. MORGAN, Thomas H., Alfred H. Sturtevant, Henry J. Muller and Calvin B. Bridges. *The Mechanism of Mendelian Heredity*, Henry Holt Company, New York, 1915.
2. MORGAN, Thomas H. *The Physical Basis of Heredity*, J. B. Lippincot Co. Philadelphia, 1919.
3. MORGAN, Thomas H. *The Theory of the Gene*, Yale University Press. Revised and Enlarged Edition. New Heaven, 1928.

Discursos

1. MORGAN, Thomas H. "The relation of genetics to physiology and medicine", Nobel Lecture, June 4, 1934. Discurso pronunciado para la recepción del Premio Nóbel de Medicina.

II. OBRAS CITADAS EN LAS NOTAS DE PIE DE PÁGINA

1. ABBAGNANO, Nicola. *Diccionario de Filosofía*. México, Fondo de Cultura Económica, 1991. 1206 pp.
2. BEUCHOT, Mauricio. "Abducción y Analogía". Consultado en la Red Mundial. (México, enero del 2003).
3. BARAHONA, Ana. *El hombre de las moscas. Thomas H. Morgan*. México, Consejo Nacional para la Cultura y las Artes, 1992. 107 pp. (Colección Viajeros del Conocimiento).
4. ESPARZA, Ramón. "De lo mnemónico a lo simbólico". Consultado en la Red Mundial: <http://www.ehu.es/ramonesparza/TCOMAUD/0401palimp.html>. (México, octubre de 2002).
5. ECO, Humberto. *Obras abierta*. Barcelona, Editorial Laia, 1982. 270 pp.
6. FERÁNDEZ, Francisco de Buey. "Historia de la ciencia". Consultado en la Red Mundial: <http://www.upf.es/iuc/buey/ciencia/>. (México, septiembre de 2002).
7. FOX, Seller Evelyn. Fragmento del libro *The Century of the Gene*. Consultado en la Red Mundial: <http://www.newyorktimes.com/libros>. (México, octubre de 2002).
8. GARLAND, E. Allen. *The Man and His Science. Thomas Hunt Morgan*. New Jersey, Princeton University Press, Princeton, 1978. 447 pp.
9. KUNH, Thomas S. *La estructura de las revoluciones científicas*. México, Fondo de Cultura Económica, 1999. 319 pp. (Colección Breviarios, 213).
10. LEVINE, George (editor). *Realism and Representation. Essays on the Problem of Realism in Representation to Science, Literature and Culture*. United States of America, The University of Wisconsin Press, 1993. 330 pp.
11. MOLINER, María. *Diccionario del uso del español*. Madrid, Editorial Gredos, 1991. 1585 pp.

12. MORGAN, Thomas H. Fragmentos de "*A Critique of the Theory of Evolution*" (*Una crítica a la teoría de la evolución: La herencia cromosómica*, 1916), Consultado en la Red Mundial: <http://www.geocities.com/fdooc/2.htm>. (México, septiembre de 2002).
13. NOVEL, E-Museum. "Biografía de Thomas Hunt Morgan". Consultado en la Red Mundial: <http://www.novel.se>. (México, agosto de 2002).
14. OLIVÉ, León. "La comunicación científica y la filosofía". Consultado en la Red Mundial. (México, agosto del 2002).
15. PÉREZ, Tamayo Ruy. *Acerca de Minerva*. México, Fondo de Cultura Económica, 2002. 202 pp. (Colección La ciencia para todos, 40).
16. REAL ACADEMIA ESPAÑOLA. *Diccionario de la lengua española*. Madrid, Espasa-Calpe, 1999. (2 vols.)
17. RIVAS, Marietta. "Epistemología". Consultado en la Red Mundial: <http://www.monografias.com/trabajos/epistemologia2/epistemologia2.shtml> (México, septiembre de 2002).
18. RIPIO, Andrés. "Las sutilezas de la ciencia". Consultado en la Red Mundial. (México, agosto del 2002).
19. SANPEDRO, Javier. "Lo que Darwin no supo y lo que Chargaff no vio". Consultado en la Red Mundial: <http://www.elpais.es>. (México, agosto de 2002).
20. THOMSON, George. *Los orígenes de la ciencia y el arte*. Consultado en la Red Mundial: <http://www.elaleph.com/> E-book. (México, agosto de 2002).
21. TRABULSE, Elías. *La ciencia en el siglo XIX*. México, Fondo de Cultura Económica, 1987. 235 pp. (Colección Biblioteca Joven, 52).
22. WAGENSBERG, Jorge. "La verdad en ciencia", en *Letras Libres*. Publicación mensual. Consultado en la Red Mundial: <http://www.lettraslibres.com>. (México, junio del 2002).

23. WEISSMANN, August. *Essays Upon Heredity*. Oxford, Clarendon Press, 1889.
24. XIRAU, Ramón. *Introducción a la historia de la filosofía*. México, UNAM, México, 1998. 572 pp. (Textos Universitarios).
25. YOUNG, Phillip. "En la conmemoración de los 50 años del descubrimiento del DNA". *Vancouver Sun*. (Canadá, Vancouver, 11 de marzo del 2003).

III. OBRAS DE APOYO

1. BARAHONA, Ana y Daniel Piñero. *Genética la continuidad de la vida*. México, Fondo de Cultura Económica, 2000. 147 pp. (Colección La ciencia para todos, 125).
2. BOORSTIN, Daniel J. *Los Descubridores. Volumen II: la naturaleza y la sociedad*. Barcelona, Editorial Grijalbo, 1986. 709 pp.
3. BUTTERFIELD, H. *Los orígenes de la ciencia moderna. Ciencia y Desarrollo*. CONACYT, México, 1981. 327 pp.
4. HANS, S. *History of Genetics. From Prehistoric Times to the Rediscovery of Mendel's Laws*. Cambridge, Massachusetts, The MIT Press, 1972. 356 pp.
5. KÉDROV, M. B. y A. Spirkin. *La ciencia*. México, Editorial Grijalbo, 1997. 157 pp. (Colección Iniciación)
6. MENDEL, G. *On Hieracium-hybrids Obtained by Artificial Fertilization. (Verhandlungen des Naturforschenden Vereines Abhandlungen)*. Brün, BD. VIII für das Jahr. 26-31. (Translated and reprinted as an appendix to BATESON, William. 1909. *Mendel's Principles of Heredity*). Cambridge University Press, 1869.
7. PORTUGAL, F. H. y J. S. Cohen *A Century of DNA. A History of the Discover and Function of the Genetic*. Cambridge, Massachusetts, The MIT Press, 1977. 384 pp.

8. PÉREZ, Tamayo Ruy. *¿Existe el método científico?* México, Fondo de Cultura Económica, 1998. 297 pp. (Colección La ciencia para todos, 161).
9. RIVAS, Marietta. "Filosofía y ciencia". Consultado en la Red Mundial: <http://www.monografias.com/trabajos/filoycienempi/filoycienempi.shtml> (México, septiembre de 2002).
10. RUIZ, Rosaura y Francisco J. Ayala. *El método en las ciencias. Epistemología y darwinismo*. México, Fondo de Cultura Económica, 1998. 216 pp.
11. VICO, Giambattista. *Principios de la ciencia nueva en torno a la naturaleza común de las naciones*. México, Fondo de Cultura Económica, 1993. 303 pp. (Colección Popular, 178).