

Humanitas

Anuario del Centro de Estudios Humanísticos
de la Universidad Autónoma de Nuevo León

2006

No. 33



UANL

SOBRE EL PAPEL DE LA HISTORIA DE LA CIENCIA EN LA EVALUACIÓN DE LA TEORÍA DEL CAMBIO CIENTÍFICO —SEGUNDA PARTE—

Mtro. César Augusto Reza Rodríguez
Candidato al Doctorado en Filosofía
Por la Universidad Complutense de Madrid

La Teoría Cromosómica de la Herencia

En la carta que De Vries enviara a H. Roberts en 1924, en respuesta a la información solicitada por éste con relación a la manera en que llegó a su descubrimiento de las leyes de Mendel¹, De Vries sostuvo que él llegó por su propia cuenta a las proporciones mendelianas alrededor de 1895, así como a interpretar el comportamiento de los híbridos en términos de las leyes del azar. Sugiere ahí algo que ya había dado a entender en 1900: durante varios años estuvo trabajando en experimentos de hibridación a fin de obtener una perspectiva más completa de los procesos por los cuales ocurren las variaciones evolutivas de las especies. Guiado por su aceptación de la hipótesis darwiniana de la pangénesis, conforme a la cual el conjunto de características de una planta se consideraba constituido por unidades discretas, ligadas a algún tipo de soporte material, resultaba importante distinguir entre los cambios interespecíficos producidos por las mutaciones, y los cambios intraespecíficos que ocurren por la combinación de caracteres a través de la hibridación.²

¹ Roberts solicitó esta información a los tres personajes involucrados en 1900 a este descubrimiento: De Vries, Correns y Tschermak.

²Cfr. De Vries, "La ley de segregación de los híbridos", y la carta de De Vries a H. Roberts; ambos textos en Stern y Sherwood, *ob. cit.*, p. 111-122 y 139-140.

Cuando sus diversos experimentos estaban ya concluidos y se encontraba listo para publicar sus resultados, la lectura del texto de Mendel le hizo ver que sus hallazgos se habían producido ya treinta años antes y se había dado de los fenómenos una explicación semejante. Publicó en marzo de 1900 *Sur la loi de disjonction des hybrides*, sin mencionar a Mendel, y pocos días después, en alemán, el texto en el cual ya le hace el debido reconocimiento.

Correns, al mes siguiente, refirió haber llegado al descubrimiento de Mendel de un modo semejante. A la disputa de prioridad que estos hechos generaron se sumó el austriaco Tschermak, y William Bateson, en Inglaterra, se encontraba ya en camino de ligar su trabajo experimental con las conclusiones de Mendel.

Esta situación refleja que para 1900 había una generación de investigadores ocupados en los mismos problemas y estudiándolos en la misma línea que lo hizo el monje agustino. En el ámbito de la biología se habían producido ya cambios suficientes como para generar una atmósfera propicia a los modos de abordaje del fenómeno hereditario ejemplificados por el trabajo de Mendel. Castrodeza³ ubica estos cambios en dos dimensiones; una relativa al ambiente intelectual de la ciencia europea de la época, favorable en general a la búsqueda de explicaciones lo más ajustadas posible al ideal de simplicidad; la otra, interna al campo de la biología, caracterizada por los desarrollos habidos en la citología desde 1840 hasta entonces.

Para la época de publicación del trabajo de Mendel sobre los guisantes, los conocimientos citológicos ya habían logrado establecer plenamente el concepto de la célula como unidad estructural fundamental de los seres vivos. La idea de Matthias Schleiden (1838), según la cual los embriones derivan de una sola célula, y los organismos de todas las plantas están constituidos por una multitud de células individuales — idea complementada el año siguiente por Theodor Schwann haciéndola extensiva a los organismos animales—, desemboca en los dos principios básicos de la teoría celular: 1) todos los organismos, animales y vegetales, independientemente de sus importantes diferencias estructurales, están constituidos por una o más células; y 2) la célula es la unidad estructural de la vida. Pocos años después, en 1855, Rudolf Virchow, opositor radical de la teoría de la generación espontánea, explicaría la

³ *Ob. cit.*, p. 72-79.

multiplicación celular como resultado de sucesivas divisiones de células preexistentes.⁴

Con los adelantos en el diseño de microscopios y la utilización de anilinas para la tinción de los tejidos sometidos a observación, fue posible analizar la estructura interior de las células sexuales y vincular luego sus componentes con el fenómeno de la herencia. Cuando óvulos y espermatozoides fueron analizados por estos medios, se encontró que había entre ellos diferencias considerables: mientras el citoplasma de los óvulos es muy voluminoso, en los espermatozoides está prácticamente ausente. Sus núcleos, sin embargo, son de un tamaño muy semejante. Si, como se creía, la aportación del óvulo y del espermatozoide a la herencia es la misma, entonces lo más probable es que los materiales hereditarios residan en el núcleo, no en el citoplasma.

En 1873, Friedrich Schneider pudo observar al microscopio la división de células de *Mesostomium* (gusano plano) en una serie de etapas de corta duración, iniciadas con la aparición de pequeñas partículas filamentosas en el núcleo celular, usualmente homogéneo, fibrillas que, moviéndose en grupos hacia cada uno de los polos, terminaban luego diluyéndose en los nuevos núcleos así formados. Un hecho semejante fue reportado por Edward Strasburger en 1875, observado en embriones de coníferas. En 1879, Walter Flemming, después de confirmar la aparente universalidad de este fenómeno, lo denominó mitosis.

En 1883, Wilhelm Roux estudiaba el desarrollo de células de batracios. Cuando observó la distribución de los materiales del núcleo en las células formadas durante la mitosis, se preguntó qué propósito podía guiar a un fenómeno así. Posiblemente las fibrillas eran partículas hereditarias que transmitían a las células las características por las cuales se diferencian unas de otras. En 1888 esas fibrillas fueron bautizadas por W. Waldeyer como cromosomas, basándose en su particularidad de adquirir tonalidades intensas al contacto con anilinas, a diferencia de otros componentes del núcleo.

En su obra *El plasma germinal*, publicada en 1893, August Weismann retomó las ideas de Roux, aunque ofreció una explicación diferente.

⁴ Sobre este tema, es interesante el examen crítico del desarrollo de la teoría celular, desde la confrontación de las teorías del cambio científico de Kuhn y Lakatos, realizado por José Luis González Recio en "Elementos dinámicos de la teoría celular", *Revista de Filosofía* (Madrid, Ed. Complutense, 1990), 3ª. Época, vol. III, núm. 4, p. 83-109. Los puntos de vista sostenidos ahí por González Recio fueron el germen de la idea que me llevó a mí a desarrollar este trabajo.

Las partículas hereditarias, señaló, se encuentran realmente en el núcleo, transportadas por cada uno de sus cromosomas. Cuando en la fecundación se funden los núcleos del óvulo y del espermatozoide, se reúnen los cromosomas de ambos en el embrión. Ahora bien, mientras que esto permitiría esperar que la dotación cromosómica aumentara progresivamente, se ha observado que la cantidad de cromosomas en las células de cada especie es el mismo siempre, y distinto de unas a otras. Por lo tanto, debe haber un mecanismo por el cual se hace posible que su número permanezca constante. Al formarse el huevo y el espermatozoide, se debía producir una reducción de las unidades hereditarias y de sus portadores; luego, al fusionarse en el huevo fecundado, se volvía a formar el número de cromosomas característico de la especie.

Hasta aquí hemos narrado los avances más importantes producidos en la citología durante el período que interesa, los cuales prepararon el terreno para la recepción de la obra de Mendel en los albores del siglo. A falta de fuentes directas, lo hemos hecho resumiendo los relatos que sobre este asunto se ofrecen en los libros de texto consultados. Es inevitable tener la impresión de que en esa historia todo parece haber transcurrido con relativa placidez; uno a uno, los avances sucedían, sin despertar alguna polémica, añadiendo un escalón en ruta hacia la mejor comprensión de las cosas. ¿Era esto así?

Para hacernos una mejor idea del contexto en el cual se daba la asimilación de estas contribuciones, vale la pena reproducir en extenso el dibujo de la situación ofrecido por uno de los personajes involucrados en la aparición posterior de la teoría cromosómica de la herencia. En 1900, en *The cell in development and heredity*, Edmund B. Wilson señala:

Por tanto, en su aspecto fisiológico, la herencia es la repetición en generaciones sucesivas de formas semejantes de metabolismo, y esto se realiza mediante la transmisión de generación en generación de una sustancia específica o idioplasma que nos parece razonable identificar con la cromatina. Esto es verdad, cualquiera que sea el concepto que tengamos de la naturaleza morfológica del idioplasma (como un microcosmos de gérmenes invisibles o pangenes como el concebido por De Vries, Weismann y Hertwig; como un almacén de fermentos específicos, como sugiere Dreisch, o como un complejo de sustancias moleculares agrupadas en micelas, como en la hipótesis de Nägeli). Lo cierto es, como asegura Verworn, que el citoplasma es esencial para la herencia; sin un citoplasma específicamente organizado, el núcleo es incapaz de elaborar formas específicas de síntesis. Esta objeción, que ya ha sido considerada desde distintos puntos de vista por De Vries y Dreisch, desaparece tan pronto como miremos al mismo citoplasma

del huevo como un producto de la actividad nuclear; es precisamente aquí donde el papel general del núcleo en el metabolismo es de vital importancia para la teoría de la herencia. Si el núcleo es el centro formador de la célula y las sustancias nutritivas son elaboradas por él o bajo su influencia, como si se produjeran en una fábrica viviente, entonces el carácter específico del citoplasma está determinado por el del núcleo y desaparece la contradicción. Aceptando esta teoría admitimos que el citoplasma del huevo es, en cierto modo, el substratum de la herencia; pero sólo lo es en virtud de su relación con el núcleo que es, por así decir, el tribunal supremo. El núcleo no puede operar sin un campo citoplásmico en el que ejercer sus poderes particulares; pero este campo es creado y modelado por él mismo. Ambos son necesarios para el desarrollo; pero el núcleo sólo basta para la herencia de las posibilidades específicas del desarrollo.⁵

No era, de acuerdo con esto, un ambiente libre de contraposiciones. No todos los investigadores interpretaban del mismo modo lo visto a través de los microscopios. Faltaba, al parecer, algún modelo de trabajo experimental suficientemente prometedor como para que sus presupuestos permitieran limitar la gama de interpretaciones y proporcionarles a unos y otros un enfoque común, desde el cual se hiciera evidente el papel de los cromosomas en el juego de la herencia. Este fue el papel desempeñado por el trabajo de Mendel: mostró el camino, indicando el tipo de experimentación que habría de hacerse y el modo de analizar los resultados.

Theodor Boveri había estado realizando diversos experimentos orientados a elucidar la cuestión de si los cromosomas cumplen efectivamente la función de transportar el material hereditario y, en tal caso, decidir entre las dos hipótesis rivales que se habían postulado a ese respecto: en una, la de Weismann, cada uno de los cromosomas contenía el material hereditario para la totalidad de las características propias de los miembros de la especie, en otra, la de Roux, cada cromosoma transportaba porciones diferentes del material hereditario. Basándose en los informes de R. Y O. Hertwig, quienes habían probado que la doble fertilización de los huevos de erizo de mar se traduce en la formación de un eje tetrapolar y la consecuente división del huevo en cuatro blastómeros, a partir de los cuales se forman cuatro nuevas células, se propuso aislar los conjuntos cromosómicos resultantes de la doble fertilización y observar los efectos producidos en el desarrollo de los embriones a partir de alterar, primero, componentes del citoplasma; y luego, las dotaciones cromosómicas. Si Weismann tenía razón, la

⁵ E. B. Wilson (1900), *The Cell in Development and Heredity*, N.Y., Johnson Reprint, 1966, p. 34.

alteración del número de cromosomas originales de un núcleo no debería tener consecuencias en su desarrollo, pues uno sólo de ellos bastaría para desencadenar el proceso de la herencia. Si Roux la tenía, entonces las células hijas no podrían desarrollarse con normalidad. Inició los experimentos en 1901, y publicó un primer informe en 1902.⁶

De sus resultados, Boveri extrajo, respecto de la primera cuestión, una conclusión semejante a la expresada más arriba por Wilson: el citoplasma es fundamental, pero sólo el núcleo es realmente determinante para la herencia. Sobre lo segundo, se declara en acuerdo con Roux, después de comprobar que los cromosomas conservan su identidad a través de cada división celular, pero sólo el conjunto completo de ellos produce un desarrollo normal del embrión.

Walter S. Sutton era por ese entonces un estudiante de doctorado en la Universidad de Columbia, bajo la tutela de E. Wilson. Publicó dos artículos en el *Biological Bulletin* de esa Universidad: uno a finales de 1902, "On the Morphology of the Chromosome Group in *Brachystola Magna*"; el otro en abril de 1903: "The Chromosomes in Heredity".

Fue en este segundo texto donde Sutton argumentó la teoría de los cromosomas que había sugerido en el primero. En ese artículo, dice:

...llamó la atención hacia la posible relación entre el fenómeno ahí descrito [la asociación de los cromosomas maternos y paternos en pares y su posterior separación en la división reduccional (=meiosis)] y ciertas conclusiones obtenidas en 1865 por Gregor Mendel de observaciones sobre plantas híbridas.⁷

A fin de destacar mejor el paralelismo entre las conclusiones a las cuales llega Sutton en su texto, vamos a enlistarlas y a relacionarlas con su interpretación en términos mendelianos.

| | |
|---|--|
| El complejo cromosómico del embrión, antes de la sinapsis, está constituido por dos series equivalentes de cromosomas: una de ellas proveniente del padre; la otra, de la madre. El proceso de la | Los caracteres de un organismo están determinados por la acción de factores aportados por cada uno de los progenitores. Las células híbridas se forman por la |
|---|--|

⁶ T. Boveri, 1902. "Über Mehrpolige Mitosen als Mittel zur Analyse des Zellkerns". *Verhandlungen der physikalisch-medizinischen Gesellschaft zu Würzburg*. Neu Folge 35: 67-90. Yo me he basado en la versión al inglés proporcionada por <http://www.devbio.com/chap07/link0708a.shtml>

⁷ W. S. Sutton, *The Chromosomes in Heredity*, Electronic Scholarly Project, 1998, p. 1. Edición electrónica proporcionada por <http://www.esp.org>

| | |
|--|---|
| sinapsis consiste en la unión, en parejas, de los miembros homólogos de ambas series | unión temporal de los factores vinculados al mismo carácter. |
| La división reduccional consiste en la separación de los cromosomas conjugados en la sinapsis, y su segregación hacia diferentes células germinales. El movimiento de los cromosomas bivalentes hacia uno u otro de los polos de la división reduccional es simple cuestión de azar. | En la formación de nuevas células germinales (huevos y polen), los factores temporalmente unidos se separan y se distribuyen al azar, resultando de esto dos clases de células-huevo, y dos clases de granos de polen, en proporciones semejantes |
| Los fenómenos de división celular y herencia muestran que poseen las mismas características: unidades discretas (cromosomas, caracteres) y transmisión independiente de las mismas. | La relación de cada pareja de caracteres diferentes en la unión híbrida es independiente de las otras diferencias que presentan las dos cepas parentales originales. |

Este paralelismo llevó a Sutton a sostener que "los cromosomas son la base de la herencia de los caracteres" mendelianos y, en ese sentido, los fenómenos descubiertos por él han de ser vistos como "la expresión de la reducción cromosómica"; de lo cual "se sigue que en las formas en donde hay variación de acuerdo con las leyes de Mendel debe estar presente una división reduccional."⁸

Ideas como éstas proporcionaban un fundamento citológico a la acción de los factores mendelianos, e invitaba por ello a pensarlos como entidades materiales y no solamente como ingeniosos recursos analíticos. La Hipótesis de Sutton-Boveri, bautizada así por E. Wilson, representó la fusión de los estudios citológicos con los de la herencia, y sirvió de base a una gran variedad de investigaciones en el campo de la genética.

La consolidación de esta teoría cromosómica de la herencia, delineada por la hipótesis de Sutton-Boveri, había de esperar aún unos años más. Las pruebas más importantes para la misma vinieron del grupo organizado en la Universidad de Columbia, primero, y luego en Caltec, por uno de los personajes en un principio más reacios a su aceptación: Thomas Hunt Morgan.

Entre los trabajos referidos por Th. Boveri en su (1902) figura uno escrito en 1895 por Morgan: *A Study of Variation in Cleavage*. Por ese entonces, Morgan era profesor asociado de Biología en un colegio pri-

⁸ *Ídem*, p. 14.

vado, hasta que en 1904 ingresó en la Columbia University (N.Y.) como profesor de Zoología experimental. Durante esos años, los intereses de Morgan estaban principalmente enfocados en la teoría de la evolución, intentando sustituir en ella la vaga noción de variación – propuesta por Darwin y asociada a la explicación de la aparición de las especies como resultado de la acumulación de cambios continuos y fijados por la selección natural– por el concepto de mutación introducido por De Vries –a quien Morgan visitó en 1903–. Convencido de que la naturaleza produce nuevas especies de modo repentino, también era contrario a la idea, entonces en boga como consecuencia del redescubrimiento de Mendel, de que las células germinales se conservan siempre las mismas, transmitiéndose sin mezcla de generación en generación.

Su presencia en la Universidad de Columbia le permitió a Morgan confrontar sus puntos de vista con las propuestas emanadas del grupo de E. B. Wilson, y ello en un ambiente convertido en el punto de confluencia de los estudios más avanzados de la época en citología y herencia.⁹ Ello explica, al menos en parte, el viraje que sufrieron sus puntos de vista entre 1909 y 1910.¹⁰ Permaneció en Nueva York hasta el año 1928, período durante el cual integró un equipo de trabajo al que se debería, a la postre, el asentamiento definitivo de la teoría cromosómica de la herencia; dando forma a lo que en diversos círculos habría de denominarse genética mendeliano-morganiana, y a la identificación del análisis mendeliano como estrategia central en el estudio de los fenómenos hereditarios. En 1918, junto a una buena parte de su equipo, marchó al California Institute of Technology (Caltec) para desempeñarse como profesor de Biología y director de los Laboratorios G. Kerckhoff.

En la biografía de Thomas Morgan preparada para la Fundación Nobel por Edward Lewis, éste nos lo presenta como un decidido opo-

⁹ Wilson mantenía una relación muy estrecha con, entre otros, Theodor Boveri y William Bateson. Éste último, recién publicada su traducción de la obra de Mendel (1902), acudió a Nueva York a ofrecer una exposición de la teoría mendeliana que causó una honda influencia en Sutton.

¹⁰ Crew refiere: “En la reunión de la American Breeder’s Association, en 1909, Morgan puso en duda la existencia real en el cromosoma, o en cualquier otro lugar, de las células germinales, de los supuestos cuerpos materiales responsables de la producción de los caracteres mendelianos” (*ob. cit.*, p. 72). En 1910 Morgan publicó *Sex Limited Inheritance in Drosophila*, en el cual ya se reconocía la asociación, en las células germinales, entre los factores responsables de la determinación sexual y de la mutación *white* de la mosca del vinagre.

sitor al dogma en que se estaba convirtiendo la teoría mendeliana de la herencia.

Estaba insatisfecho, (dice), incluso escéptico, del tratamiento formalista que la genética había adquirido en el período comprendido entre el redescubrimiento del mendelismo en 1901 y 1909. Ridiculizaba las explicaciones de los resultados de la hibridación que postulaban más y más factores hereditarios, sin poder nunca determinar qué eran esos factores. Quería saber cuál podía ser la base física de los mismos.¹¹

No sólo Morgan. En la confrontación a la teoría de Sutton-Boveri participaban muchos otros importantes personajes de la época. Las objeciones más importantes a esa teoría provenían del hecho de no haber podido presentar todavía una prueba fehaciente de la localización de los genes –bautizados así los factores mendelianos por Johanssen en 1903–, lo cual permitía incluso cuestionar la existencia misma de tales hipotéticos factores hereditarios. Y ante la imposibilidad de observar los cromosomas en interfase –el período que media entre dos divisiones nucleares sucesivas–, no estaba tampoco claro el que éstos conservaran efectivamente su identidad morfológica en todo momento, con lo cual tampoco podía asignarse con certeza a cada cromosoma una función específica en la herencia. Así las cosas, le parecían carentes de todo apoyo cuestiones tales como el tratamiento que se daba al sexo considerándolo un carácter mendeliano: ¿cómo explicar en el esquema mendeliano, desde la dominancia atribuida al factor de la feminidad, el hecho de una descendencia hembras-machos presentada en proporción una a uno?

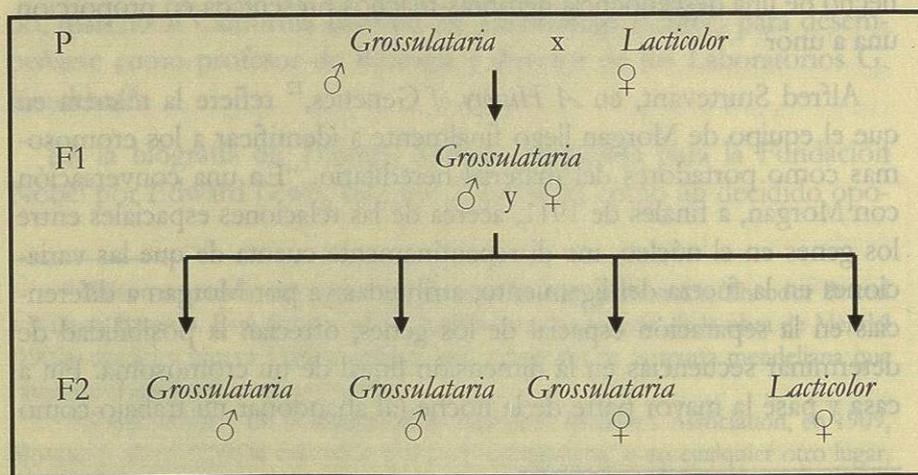
Alfred Sturtevant, en *A History of Genetics*,¹² refiere la manera en que el equipo de Morgan llegó finalmente a identificar a los cromosomas como portadores del material hereditario. “En una conversación con Morgan, a finales de 1911, acerca de las relaciones espaciales entre los genes en el núcleo, me di repentinamente cuenta de que las variaciones en la fuerza del ligamiento, atribuidas ya por Morgan a diferencias en la separación espacial de los genes, ofrecían la posibilidad de determinar secuencias en la dimensión lineal de un cromosoma. Fui a casa y pasé la mayor parte de la noche (al abandonar mi trabajo como

¹¹ E. B. Lewis, 1998. *Thomas Hunt Morgan and his Legacy*. Nobel e-Museum, The Official Web Site of The Nobel Foundation.

¹² Cfr. La Introducción de R. J. Robbins a Sturtevant (1913), *The Linear Arrangement of Six Sex-Linked Factors in Drosophila, as Shown by Their Mode of Association*, versión electrónica de ESP: <http://www.esp.org>

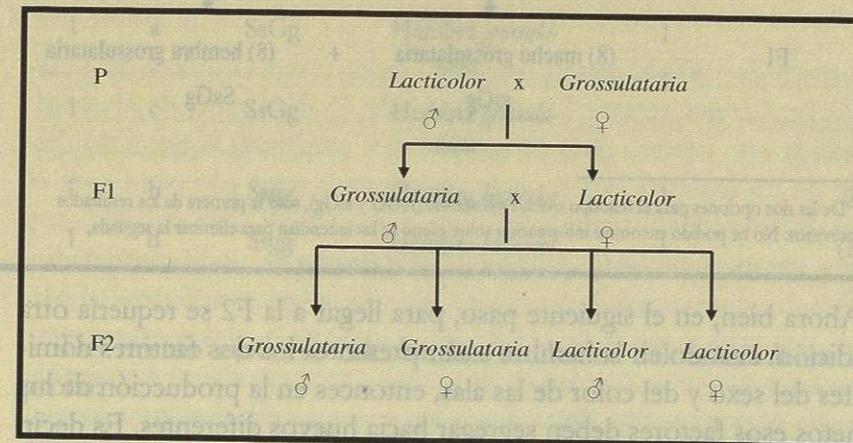
estudiante del doctorado) desarrollando el primer mapa del cromosoma, el cual incluía los genes ligados al sexo *y*, *w*, *v*, *m* y *r*, en el orden y aproximadamente en las distancias relativas en que ellos todavía aparecen en los mapas usuales." Al año siguiente, él y Bridges identificaron y elaboraron el mapa de dos grupos de factores no ligados al sexo y elaboraron sus mapas correspondientes. Un tercer grupo fue identificado por Müller en 1914. Encontraron que estos cuatro grupos de ligamiento se correspondían puntualmente con los cuatro pares de cromosomas de *Drosophila*. Cuando, posteriormente, Bridges descubrió la no disyunción (segregación irregular) en los cromosomas sexuales, pudo interpretarse esa correspondencia como prueba de que los cromosomas son realmente los portadores de genes. Repasemos estos hechos.

Una de las características de los cruzamientos estudiados por Mendel es que en ellos el resultado no depende de cuál sea el parental que proporciona uno u otro de los factores responsables de cada carácter.¹³ En 1906, L. Doncaster y G. H. Raynor encontraron un caso atípico: en la mariposa del grosellero *Abraxas*, el cruce de una hembra de la variedad *lacticolor* (alas blancas) con un macho *grossularia* (alas oscuras) produjo una descendencia compuesta toda por mariposas de la variedad *grossularia*, lo cual indicaba claramente que el carácter ala-oscura es dominante. Del apareamiento entre un macho y una hembra de esta generación reapareció, en la siguiente, como era de esperar, el carácter recesivo ala-blanca —y en la proporción 3:1 prevista—, pero sólo en el cincuenta por ciento de las hembras.



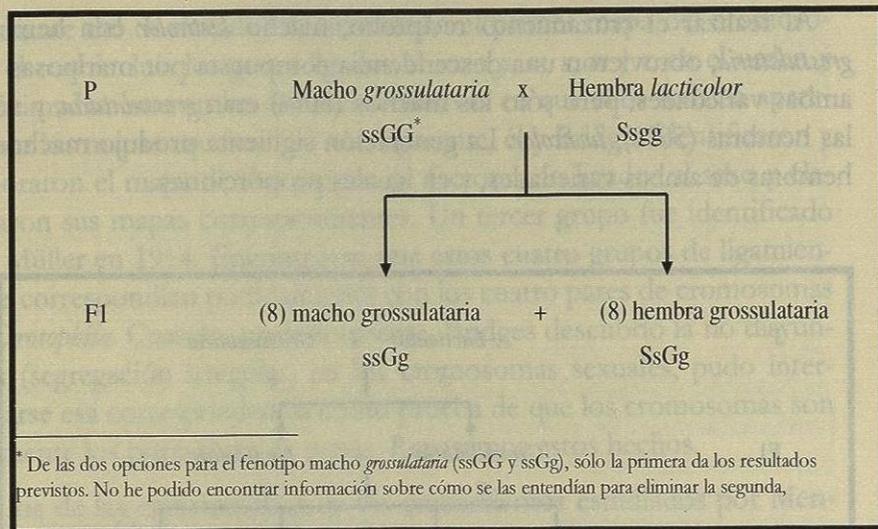
¹³ Así, por ejemplo, si respecto de la forma de la semilla de *Pisum* las alternativas son lisa y rugosa, los resultados de los cruces (polen-liso x óvulo rugoso) y (polen-rugoso x óvulo-liso) coinciden: en ambos casos el híbrido así formado produce semillas lisas.

Al realizar el cruzamiento recíproco, macho *lacticolor* con hembra *grossularia*, obtuvieron una descendencia compuesta por mariposas de ambas variedades, pero sólo los machos (50%) eran *grossularia*; y sólo las hembras (50%), *lacticolor*. La generación siguiente produjo machos y hembras de ambas variedades, y en iguales proporciones.

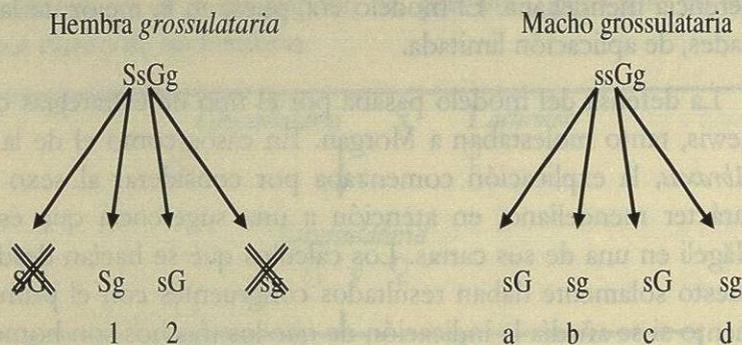


No fue esta la única excepción encontrada a las reglas de Mendel. Con frecuencia aparecían informes en los cuales se reportaban resultados ajenos a las predicciones del modelo, despertando la sospecha de que era reducido el número de casos donde podría reconocerse una herencia mendeliana. El modelo era, pues, en la mejor de las posibilidades, de aplicación limitada.

La defensa del modelo pasaba por el tipo de estrategias que, según Lewis, tanto molestaban a Morgan. En casos como el de la mariposa *Abraxas*, la explicación comenzaba por considerar al sexo como un carácter mendeliano, en atención a una sugerencia que éste hizo a Nägeli en una de sus cartas. Los cálculos que se hacían desde este supuesto solamente daban resultados congruentes con el primer experimento si se añadía la indicación de que los machos son homocigóticos para el factor recesivo, mientras que las hembras son necesariamente heterocigóticas. Si representamos los factores determinantes del color de las alas con G para el dominante y g para el recesivo; y los factores determinantes del sexo con S para femenino y s para masculino, entonces en el primer cruce (macho de alas oscuras x hembra de alas claras) el paso de P a F1 quedaba así salvado:



Ahora bien, en el siguiente paso, para llegar a la F2 se requería otra condición: cuando en la hembra están presentes los dos factores dominantes del sexo y del color de las alas, entonces en la producción de los gametos esos factores deben segregarse hacia huevos diferentes. Es decir, debía existir entre ellos alguna suerte de "repulsión", de modo tal que cada huevo producido por la hembra llevaba uno u otro de los dos factores, pero nunca ambos. En la segregación, por tanto, las posibilidades quedaban limitadas a las siguientes:



Y por cruzamiento al azar, las combinaciones, fenotipos y proporciones:

| GAMETOS | | CIGOTO | PROPORCIONES | |
|---------|---|----------|----------------------|---|
| ♀ | ♂ | GENOTIPO | FENOTIPO | ♂ |
| 2 | a | $ssGG$ | Macho <i>grossu-</i> | 2 |

| | | | | | |
|---|---|--------|------------------------------|---|-----|
| 2 | b | $ssGg$ | Macho <i>grossu-lataria</i> | 2 | 6 |
| 2 | c | $ssGG$ | Macho <i>grossu-lataria</i> | 2 | (3) |
| 2 | d | $ssGg$ | Macho <i>grossu-lataria</i> | | |
| 1 | a | $SsGg$ | Hembra <i>grossu-lataria</i> | 1 | |
| 1 | c | $SsGg$ | Hembra <i>grossu-lataria</i> | 1 | |
| 1 | b | $Ssgg$ | Hembra <i>laticolor</i> | 1 | 2 |
| 1 | d | $Ssgg$ | Hembra <i>laticolor</i> | 1 | (1) |

Del mismo modo se calculan los resultados del cruzamiento recíproco:

P Macho *laticolor* $ssgg$ x Hembra *grossularia* $SsGg^{**}$

| Gametos | sg | sg | sg | sg | Sg | sG | | |
|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | a | b | | |
| Cigotos | 1a | 2a | 3a | 4a | 1b | 2b | 3b | 4b |
| | $ssGg$ |

F1 4 machos *grossularia* (50%) + 4 hembras *laticolor* (50%)

Macho F1 $ssGg$ x Hembra F1 $Ssgg$

| Gametos | sG |
|---------|----|----|----|----|----|----|----|----|
|---------|----|----|----|----|----|----|----|----|

** F.Crew refiere un experimento de Doncaster, en el cual, al cruzar un macho *laticolor* con una hembra *grossularia* silvestre, en la progenie todos los machos eran *grossularia*; y todas las hembras, *laticolor*. Esto evidencia que las hembras son heterocigóticas para el carácter color-del-ala.

| | | | | |
|---------|--------------|---------------------|---------------------|---------|
| Cigotos | 1a SsGg | 2a Ssgg | 1c ssGg | 2c ssgg |
| | 1b SsGg | 2b Ssgg | 1d ssGg | 2d ssgg |
| | 3a ssGg | 4a Ssgg | 3c ssGg | 4c ssgg |
| | 3b SsGg | 4b Ssgg | 3d ssGg | 4d ssgg |
| | Hem. | Hem. <i>Lactic.</i> | Macho <i>gross.</i> | Macho |
| F2 | <i>gross</i> | | <i>lac.</i> | |
| | 25% | 25% | 25% | 25% |

A partir de 1909 Morgan comenzó a trabajar con la mosca del vinagre, *Drosophila melanogaster*. La sugerencia de W. E. Castle, de Harvard, de utilizar este díptero para investigaciones genéticas, le permitió disponer de un material experimental que resultó muy adecuado para el trabajo que se traía entre manos: la mosca tenía un ciclo de vida muy corto y era muy fecunda, así que en relativamente poco tiempo dispondría de generaciones y ejemplares suficientes para analizar el efecto de las mutaciones en el desarrollo de la especie; podrían mantenerse convenientemente agrupadas en el laboratorio y estudiarse con recursos nada excepcionales. Además, como ventaja adicional para lo que vendría después, resultó que *Drosophila* posee solamente cuatro pares de cromosomas perfectamente diferenciables.

Al poco tiempo, Morgan encontró entre la descendencia¹⁴, en un cultivo de moscas con ojos normales color rojo, un primer mutante: un macho de ojos blancos.

- Al cruzar este macho mutante con sus hermanas de ojos normales, obtuvo una descendencia (F1) compuesta por 1237 moscas de ojos rojos, hembras y machos en iguales proporciones, y tres machos de ojos blancos, a los cuales identificó como nuevos mutantes y los aisló. Este resultado le indicó que ojo-rojo era el carácter dominante.

- Cruzó luego ejemplares de la F1 y obtuvo en su descendencia (F2) la proporción esperada de 3:1; 2459 hembras de ojos-rojos, 1011 machos de ojos-rojos, y 782 machos de ojos-blancos. Al notar la ausencia de hembras en la descendencia de ojos blancos, Morgan sospechó la existencia de una limitación debida al sexo, puesto que el carácter ojo-blanco era transmitido por el macho (P) a una parte de sus nietos, pero a ninguna de sus nietas.

¹⁴ En lo que sigue, me baso en la exposición que hace Morgan en su 1910, "Sex Limited Inheritance in *Drosophila*", *Science*, 32: 120-122, versión electrónica de Electronic Scholarly Publishing.

- Para analizar esta situación, cruzó estos machos de ojos blancos de la F2 con hembras de ojos rojos seleccionadas de la F1; obtuvo machos y hembras de ambos tipos, todos en las mismas proporciones: 129 hembras de ojos rojos, 132 machos de ojos rojos, 88 hembras de ojos blancos, y 86 machos de ojos blancos. Esto le indicó que el nuevo carácter, *white*, no era incompatible con la condición femenina —en este sentido no estaba limitada al sexo— y que se comportaba de modo estrictamente mendeliano.

- Un nuevo cruce, de hembras *white* con machos *red* de una cepa silvestre, le dio una descendencia compuesta por hembras *red* y machos *white* en proporción de 1 a 1.

¿Por qué estos resultados? ¿Qué papel juega el sexo en ellos?

Griffiths hace referencia¹⁵ a la importancia que tuvo en la explicación elaborada por Morgan el hecho de que para entonces ya hubiera sido establecida la correlación entre el tipo sexual y la dotación cromosómica. Wilson, en 1905, estudiando la chinche *Protenor*, observó la correspondencia 1 a 1 entre la segregación del carácter sexual y la de un cromosoma no apareado en los machos. A ese cromosoma lo denominó cromosoma X. El mismo año, Nettie Stevens, encontró que en las células de los machos y las hembras del escarabajo *Tenebrio* está presente el mismo número de cromosomas, pero mientras que en las hembras todos los pares son homólogos, no ocurre así en los machos. En éstos, una de las parejas está formada por cromosomas de diferente tamaño: uno de ellos igual a uno de los pares de las hembras (lo llamó cromosoma X); al otro, sin contraparte en las hembras, lo llamó cromosoma Y. Algo semejante encontró Stevens en *Drosophila*: en los machos, una de las parejas cromosómicas era heteromorfa.

Sobre esta base, Morgan elaboró una hipótesis para explicar sus datos:

Puesto que el carácter *white* es transmitido por un macho, el factor para este carácter debe ser transportado por los espermatozoides; y en tanto el macho es heterocigoto para el sexo, la mitad de los espermatozoides transporta el factor sexual X y la otra mitad no. Así, la condición macho-*white* se puede representar: WXW; y las dos clases de espermatozoides: WX – W.

¹⁵ A. Griffiths (*et al.*), *ob. cit.*, p. 65.

Ahora bien, los huevos de la hembra *red* transportan el factor para ojos rojos. Luego, después de la meiosis cada uno lleva un X. El símbolo para la hembra de ojos rojos resulta ser: RXX; el de sus huevos: RX - RX.

Para la prueba de esta hipótesis, Morgan derivó predicciones ensayando todas las combinaciones posibles y las contrastó con las observaciones. En prácticamente todos los casos los resultados le fueron razonablemente favorables. Las predicciones correspondientes a los datos obtenidos inicialmente fueron las siguientes:

- Cuando el mutante *white* se cruza con sus hermanas *red*, el resultado esperado conforme a la hipótesis es:

| | | |
|---|---|---|
| P | WX - W RX - RX | (macho <i>white</i>) (hembra <i>red</i>) |
| F1 | (50%) WXX + RXW (50%) Hembras <i>red</i> Machos <i>red</i> | |
| (toda la descendencia será <i>red</i> , con machos y hembras heterocigóticos) | | |

- Del cruce entre individuos de la F1 se espera:

| | | |
|--|---|--|
| | RX - WX RX - W | (Hembra F1) (Macho F1) |
| F2 | (25%) RXX - (25%) RXWX Hembras <i>red</i> Hembras <i>red</i> | (25%) RXW - (25%) WXW Machos <i>red</i> Machos <i>white</i> |
| (la descendencia será mendeliana, en el sentido de que presentará tres <i>red</i> por cada <i>white</i> , pero sólo en apariencia, pues el carácter <i>white</i> estará confinado en los machos) | | |

- Las predicciones para el tercer cruce serían:

| | | |
|--|--|--|
| | WX - W RX - RX | (Macho <i>white</i> F2) (Hembra <i>red</i> F1) |
| | (25%) RXWX - (25%) WXWX Hembras <i>red</i> Hembras <i>white</i> | (25%) RXW - (25%) WXW Machos <i>red</i> Machos <i>white</i> |
| (las cuatro clases de individuos estarán representadas, y todas en igual número) | | |

- En el cuarto caso ocurría una anomalía. La suposición de que el macho *red* salvaje era homocigótico arrojaba una predicción en la cual la descendencia de su cruce con una hembra *white* debería estar compuesta por hembras y machos *red*, en iguales proporciones. Sólo asumiendo que el macho es heterocigótico se obtenía una predicción acorde con los datos:

| | | |
|--|--------------------------------|--|
| | RX - W WX - WX | (Macho <i>red</i> salvaje) (Hembra <i>white</i>) |
| | (50% Hembras <i>red</i>) RXWX | (50% Machos <i>white</i>) WXW |

Ahora bien, puesto que en las cepas salvajes el macho ha de ser heterocigótico (RXW), de acuerdo con lo anterior, y las hembras son homocigóticas (RXX), pues de lo contrario no se habría mantenido el carácter *red* a lo largo de tantas generaciones, la aparición del mutante *white* sólo se puede explicar asumiendo que la mutación tuvo lugar en la ovogénesis: un huevo, en lugar de surgir de la meiosis como RX, se convirtió en un WX. Al ser fecundado por un espermatozoide no-R y no-X (= un Y), produjo el macho *white*. Esta es la razón por la cual Morgan asume la unión necesaria entre los factores del color y el sexo en *Drosophila*: éstos deben siempre segregarse juntos.

Una vez encontradas las combinaciones correctas, desde este conjunto de supuestos, para dar cuenta de los resultados obtenidos en *Drosophila*, comparó la situación con la descrita por Punnett y Raynor en el caso de la mariposa *Abbraxas*. Encontró que su hipótesis también le era aplicable, pero subrayando la existencia de importantes diferencias entre los dos casos: mientras que las mutaciones naturales en *Abbraxas lacticolor* solamente ocurren en las hembras, en *Drosophila* éstas se presentan en los machos; además, la hembra *Abbraxas grossularia* debe ser heterocigótica para el color y el sexo, mientras que en *Drosophila* es el macho el heterocigótico para ambos caracteres.

A raíz de estos resultados, Morgan se sintió más y más atraído hacia hipótesis acerca de las cuales había expresado fuertes reservas. Fue en un tiempo crítico de la teoría mendeliana de la herencia, y se mostró desconfiado hacia algunos aspectos de la teoría de la herencia. Sus descubrimientos en relación a la mutación *white* de *Drosophila* le permitieron reconsiderar.

La aparición de nuevas mutaciones intensificó el trabajo de búsqueda de respuestas a las interrogantes abiertas por la tesis de los límites que el ligamiento al sexo impone a la segregación independiente de los factores hereditarios. En el año de 1911 Morgan publicó cinco trabajos, en los cuales dio cuenta de un total de seis mutaciones en *Drosophila*, no todas ellas vinculadas al cromosoma X, y de los dilemas que se generaban al seguir su comportamiento en los cruces experimentales. El episodio narrado por Sturtevant aparentemente consistió en esto: Morgan sugirió que el ligamiento genético era un resultado mecánico simple de la localización de los genes en el cromosoma, y que los resultados obtenidos por ellos al analizar varios factores mutantes —los cuales sólo se explicaban a partir de asumir que la descendencia los recibía de distintas series cromosómicas— daban cuenta de la formación de clases recombinantes, proceso equiparable a la formación de entrecruzamientos visibles en los quiasmas que se forman durante la meiosis. De esta sugestión derivaron los trabajos de Sturtevant y Bridges, de los cuales surgieron los primeros mapas de ligamiento y la tesis de la no disyunción.

La teoría cromosómica de la herencia estaba ya definitivamente en marcha.

Análisis y Conclusiones

Una primera cuestión que emerge del recorrido hecho en las páginas anteriores es la confirmación de la existencia, en las fases previas a la aparición de un paradigma, de una notable dispersión del campo de la disciplina entre diversas escuelas en competencia. Durante más de un siglo, los esfuerzos por encontrar una explicación satisfactoria al fenómeno de la herencia se encontraron mediadas por las pretensiones de cada escuela de imponer sus propias perspectivas. Los argumentos de unas y otras hacían acopio de evidencias, y todas podían encontrar apoyo en construcciones derivadas de las más diversas fuentes teóricas. Pero, como bien señala Kuhn, a falta de un paradigma unificador era prácticamente imposible a los protagonistas del debate discriminar los méritos de cada conjunto de observaciones como para poder hablar de una evidencia común. Contaba, desde luego, la autoridad, pero todas las escuelas podían encontrar alguna en la cual ampararse.

Como fuente de interpretación de los hechos valían no solamente diversos esquemas de raigambre metafísica (creacionismo, vitalismo...); también se apelaba a la exportación, desde disciplinas próximas, de

modelos teóricos que allá gozaban de un mayor reconocimiento. Las décadas finales del siglo XIX, y primera del siglo XX, conocieron la influencia del paradigma evolucionista en ascenso en la orientación de los estudios sobre la herencia. Fue ese el ambiente en el cual transcurrieron las investigaciones de Mendel, y fue también el primer destinatario de sus aportaciones. El nulo entusiasmo con que Nägeli siguió las diversas comunicaciones de Mendel —según se desprende de la correspondencia Mendel → Nägeli—, las respuestas de éste se limitaban a las normas de la cortesía: unos pocos comentarios técnicos y la aportación esporádica de algunos materiales para experimentos adicionales o alternativos— fue influida por el poco peso atribuido al enfoque mendeliano en dirección a fortalecer la teoría evolucionista sustentada por Nägeli. Y fue también la sospecha de fijismo mendeliano, o al menos de que la teoría de la herencia particulada pudiera atemperar la idea de las variaciones continuas —incluso a favor de un evolucionismo más dinámico—, lo que medió en el debate entre Bateson y los biometristas ingleses, y en la ponderación positiva de De Vries que supuso su redescubrimiento; así como en el rechazo inicial del mendelismo por parte de Morgan.

En la caracterización inicialmente ofrecida por Kuhn del período pre-paradigmático, en esa fase la investigación científica transcurre de manera errática, perdida en el marasmo de observaciones que se acumulan sin mayor orden. Posteriormente, entre las varias consecuencias de la reformulación del concepto de paradigma, Kuhn reconoció en las escuelas en competencia propias de este período la posesión de paradigmas.¹⁶ Es una modificación importante, pues permite identificar la existencia de principios-guía para el trabajo de las comunidades científicas que conforman las escuelas en competencia. Y también, por supuesto, extender a este período las críticas asociadas a la rigidez del papel que para Kuhn, en todas las versiones de la noción ofrecidas en su obra, desempeñan los paradigmas en las ciencias.

Paradigma y comunidad científica son para Kuhn términos correlativos. Cabría esperar, por tanto, que las modificaciones sufridas por uno de ellos tuvieran su contraparte en el otro. Esto no es del todo así, sin embargo.

En *Segundos pensamientos sobre paradigmas*, Kuhn introdujo modificaciones en esa relación, orientadas a la identificación de criterios ade-

¹⁶ Cfr. la Posdata de 1969 añadida a la segunda edición en inglés de *La estructura...*, así como Kuhn (1978), *Segundos pensamientos sobre paradigmas*, Madrid, Tecnos, específicamente la nota 4, p. 13.

cuados a caracterizar a las comunidades científicas de los paradigmas. Todos esos criterios: la prosecución de metas u objetivos comunes; el seguimiento de patrones de investigación conformados a los mismos ejemplares; la posesión de esquemas comunes para la interpretación de los fenómenos de un campo de investigación determinado, derivados del paso de los científicos por una formación académica profesional similar; su integración a las mismas redes de flujo de información especializada —congresos y similares, literatura sobre el campo—; hacen de las comunidades científicas núcleos de investigadores entre los cuales la comunicación es relativamente completa. Así, las comunidades científicas pueden ser vistas a diferentes niveles de integración: desde el más general, en el cual estarían comprendidos, por ejemplo, todos los científicos naturales; hasta los grupos más reducidos —de unas cuantas decenas de miembros— dedicados a la investigación sobre problemas muy esotéricos.

Correlativamente a esta caracterización más precisa de las comunidades científicas, Kuhn hace la distinción entre los dos sentidos en que quedan comprendidos los diversos usos que se hacen del término paradigma en *La estructura de las revoluciones científicas*: el sentido global, en el cual se comprenden la totalidad de los compromisos compartidos por un grupo de científicos —creencias, métodos, valores—; y un sentido más específico, donde se abarcan compromisos de alcance más reducido, ligados a logros exitosos convertidos en ejemplos de solución a los problemas característicos del campo de acción de una comunidad científica. La relación originalmente establecida entre comunidades científicas y paradigmas se conserva ahora de un modo más preciso: una comunidad científica es un grupo de individuos dedicados a la investigación especializada, los cuales diseñan su trabajo siguiendo los mismos patrones ejemplares de solución de problemas, e interpretan sus resultados aplicando el mismo aparato formal y estableciendo su correspondencia con las observaciones en función de un cuadro de analogías compartidas. Fuera de este conjunto específico de compromisos, los miembros de una comunidad científica pueden discrepar sobre aspectos esenciales del paradigma, considerado en el más global de sus sentidos.

Cada comunidad científica especializada está conectada con otras afines en la medida en que hay entre ellas compromisos de otro nivel que integran un paradigma común; por ejemplo, teorías generales. Pero, como Kuhn ya había establecido desde *La estructura...*, aunque entre esas comunidades pueda haber un mismo paradigma —en este sentido

también global— común a varios núcleos de especialistas, no es para cada uno de ellos el mismo paradigma.

¿Cuál es la situación que se dibuja, vistas las cosas desde esta óptica, en las investigaciones citogenéticas durante las primeras dos décadas del siglo XX? El redescubrimiento de Mendel supuso la entrada en juego de un modelo de investigación¹⁷ que se ensayó con éxito aplicándolo a estudios de la herencia y la variación en una gama muy amplia de especies, así como a mejorar los métodos de control en el mejoramiento de plantas y animales. Ello permitió consolidar el trabajo de los grupos involucrados en tales investigaciones, a la vez que estimuló la creación de otros nuevos. Para 1902 el número de esos grupos era ya muy importante, tanto en Europa como en Estados Unidos. Ciertamente que el análisis mendeliano no dejó de enfrentar desajustes entre las predicciones formuladas sobre su base y los resultados experimentales, pero las más de las veces esas anomalías contribuyeron a la apertura de nuevas líneas de investigación, en las cuales el mendelismo se enriqueció con las modificaciones que se le iban incorporando. Por otra parte, los avances en el estudio de los componentes celulares permitió muy pronto vincular citología y herencia, y generar la primera formulación del paralelismo entre el comportamiento cromosómico y el de los factores mendelianos. ¿Fue el grupo de E. B. Wilson, en Columbia University, el núcleo de la comunidad científica citogenética en formación; y fue la hipótesis Sutton-Boveri el hilo conductor de las investigaciones en la nueva disciplina? ¿Fueron Morgan y su grupo miembros de ese núcleo?

Uno de los indicadores de pertenencia a una comunidad destacados por Kuhn lo constituye el cuerpo de citas contenidas en las comunicaciones que los investigadores publican en las revistas especializadas y otros medios de divulgación de sus avances. En las obras de esta época consultadas para este trabajo nos encontramos: Sutton cita, entre otros, a Wilson y a Boveri; Boveri cita a Wilson y a Morgan; Sturtevant, por su parte, hace lo propio con Morgan, Boveri, McClung, Stevens, Wilson y Sutton. Sobre esta base, y algunos datos que han aparecido en el

¹⁷ En torno a la recepción de este modelo a raíz de su divulgación por De Vries, Correns y Tschermack, en primera instancia, y luego por Bateson, se plantea ya una primera cuestión polémica: ¿qué fue exactamente el redescubrimiento? Para unos —la mayoría— fue el rescate del olvido de un trabajo que pasó, tal cual, como base del análisis genético; para los menos —entre ellos Castrodeza (*ob. cit.*, p. 76-81) — sólo en la forma se corresponden el Mendel de 1865 y el de 1900, pues en el trámite De Vries y Correns desarrollaron modelos que guardaban diferencias de fondos con el mendeliano, y fue sólo por la disputa abierta entre ellos por la prioridad en su postulación que decidieron resolverla adjudicando el mérito a Mendel.

recuento de las páginas precedentes, podríamos concluir que la comunidad científica citogenética se fue constituyendo entre 1900 y 1914 como un amplio grupo de investigadores provenientes de diversos campos y ubicados principalmente en Alemania, Inglaterra y Estados Unidos. Morgan era en un principio un miembro marginal, para luego convertirse en el principal protagonista.

Pero, en rigor, no me es posible responder a esas preguntas. Cabe la posibilidad de que el paso de la hipótesis de Sutton-Boveri a los nuevos principios establecidos por Morgan y su grupo hayan constituido cambios de paradigma y la conformación de nuevas comunidades científicas, más exclusivas. En cualquier caso, la situación, a mi juicio, es la siguiente.

Para Kuhn, la característica distintiva de una ciencia madura es la existencia de una duradera tradición de ciencia normal, episódicamente interrumpida por cortos períodos de cambio revolucionario que modifican los paradigmas y provocan una nueva conformación de la comunidad científica. La empresa científica, por tanto, es esencialmente conservadora: nada de lo que ocurre en la ciencia normal está orientado a una revisión del paradigma vigente.

Ahora bien, si como Kuhn señala, “ninguna parte de la ciencia normal está encaminada a provocar nuevos tipos de fenómenos”, entonces los esfuerzos de Morgan, en los comienzos de su trabajo con *Drosophila*, por encontrar evidencias para apoyar la importancia de las mutaciones como mecanismo de variación, dada su capacidad de producir novedades imprevistas dentro de una especie —contra el presupuesto mendeliano de que ese mecanismo está constituido por la variación mecánica resultante de la recombinación de los factores hereditarios segregados de modo independiente—, no constituyeron parte de la ciencia normal asociable a la hipótesis de Sutton-Boveri, sino del propósito de establecer un paradigma alternativo, proveniente de una modificación importante a la teoría darwinista de la evolución. En algún momento, dentro de ese esfuerzo de crítica y orientación de los estudios genéticos en una dirección diferente, Morgan se vio “repentinamente” convertido a la teoría cromosómica de la herencia delineada por Sutton-Boveri. En abono de esta idea está el hecho de que en 1910, poco antes de la aparición, en *Science*, de su trabajo “Sex Limited Inheritance in *Drosophila*”, en el cual ya asumía la localización de los genes en los cromosomas, Morgan envió otro trabajo a *American Natu-*

ralist, en el cual se negaba tajantemente dicha relación.¹⁸ Esto sería congruente con las ideas de Kuhn. El problema está en que Morgan, si lo anterior pretende recoger adecuadamente su asimilación a la hipótesis Sutton-Boveri, y con ella al mendelismo, sólo llegó a asumir la teoría cromosómica de la herencia cuando pudo generar hipótesis correctoras de las leyes de Mendel: los genes ligados en un mismo cromosoma no se acogen a la ley de segregación independiente. La “conversión repentina”, que para Kuhn constituye el tránsito, sin mediación, de un estado dogmático al siguiente, deja de lado, en el caso de Morgan, una posibilidad más viable: Morgan mantuvo su postura crítica en todo momento; su propósito no era simplemente sumarse a una idea prometedora, sino buscar en ella “huecos” para introducir su propia perspectiva de las cosas.

Más aún, ese espíritu crítico no se detuvo ahí. Sturtevant en su ya referida *A History of Genetics*, da cuenta del afán de Morgan de perseguir en su trabajo intuiciones novedosas y del estímulo que proporcionaba a él mismo y a los otros miembros del grupo hacia la búsqueda de evidencias críticas.

Pues bien, si lo que ocurrió en los inicios de la genética —y no sólo en el período analizado, pues a la llegada de Morgan, Sturtevant, Müller y Bridges a Caltec pronto surgieron nuevas rutas para la investigación genética, sucediéndose los cambios de manera acelerada— puede ser interpretado como cambio de paradigma, entonces la agitación revolucionaria es más común de lo que Kuhn supone; si, por el contrario, fue solamente la ampliación-consolidación de un paradigma, entonces no se cumple la caracterización de la ciencia normal como una fase conservadora en la cual el científico es un mero solucionador de puzzles. En las actividades de los personajes que hemos mencionado, al menos, no era simplemente su propia capacidad de “manejo de las herramientas” lo que estaba en juego: las propias herramientas estaban en cuestión. Las controversias que se fueron generando a raíz de los resultados experimentales “anómalos” no pedían simplemente la solución de dificultades residuales dejadas por el paradigma: supusieron cambios de fondo, que se tradujeron en la postulación de nuevas leyes y estrategias de investigación. La genética resulta ser más dinámica de lo que exige el patrón de desarrollo postulado por Kuhn.

La insistencia de Kuhn en la inconmensurabilidad obedece al servicio que ésta presta a la crítica de la concepción acumulativista del desa-

¹⁸ Cfr. Crew, *ob. cit.*, p. 107-108.

rrollo científico. Esto es importante, pero arrastra consecuencias que no pueden aceptarse fácilmente.

A mi modo de ver, la más negativa de esas consecuencias es que condena a las comunidades científicas a un aislamiento insalvable. En un primer momento, cuando el esquema de Kuhn estaba centrado en el análisis diacrónico de la actividad científica, los cortes provocados por la inconmensurabilidad implicaban la imposibilidad de evaluar teorías científicas sucesivas con un patrón común, lo cual conlleva orientaciones al relativismo de las que el mismo Kuhn renegó. Después, al destacar la importancia de la dimensión sincrónica, la inconmensurabilidad se convirtió en el límite a la comunicación efectiva entre los miembros de comunidades científicas especializadas distintas: los científicos pertenecientes a ellas viven y desarrollan su trabajo en mundos distintos porque no pueden nunca compartir cabalmente sus marcos de significación. Cuando, desde las teorías generales que les son comunes, usan los mismos términos, tienen de sus referentes distintos conceptos, pues el significado asociado a ellos deriva de modo fundamental del conocimiento tácito, intuitivo, que han adquirido en la práctica de aplicación de esos términos a los problemas exclusivos de su campo de especialidad.

Yo no alcanzo a ver cómo las metáforas utilizadas por Kuhn para ilustrar estas dificultades y asociarlas en definitiva a límites de una traducción "sin pérdidas ni residuos" pueden ser relevantes para el análisis de los procesos del cambio conceptual en las ciencias. Aún asumiendo que, en efecto, la vinculación de las palabras al mundo pasa por el conocimiento tácito, no accesible desde el exterior —y por ende incommunicable—, ¿de qué manera eso impide la identificación de las transformaciones del aparato conceptual de una teoría al aplicarse a nuevos y nuevos tipos de procesos? ¿Qué tienen de inconmensurables esas transformaciones?

A este respecto, me parece pertinente un paralelo que se puede establecer entre esas transformaciones de un concepto y el proceso de descubrimiento que describe Kuhn en *La estructura de las revoluciones científicas*. Cuando, en esa obra, Kuhn da cuenta de las dificultades para asociar el descubrimiento a un acto único, está haciendo ver cómo la emergencia de una idea nueva es producto de un proceso complejo, y que entre los eventos inicial y final del mismo necesariamente se han ido hilvanando cambios —caracterizables incluso como cambios de paradigma—, asociados a la asimilación conceptual, que, a la vez que los conectan, los separan. ¿Tenía Lavoisier, desde un primer momento,

una idea diferente de las de Priestley? ¿O fue derivando desde un concepto próximo a la teoría del flogisto hasta la identificación del oxígeno como un nuevo tipo de gas? Kuhn se orienta por esta segunda opción. Pero, entonces, ¿los diversos estadios de Lavoisier en ese tránsito son inconmensurables?

En algunos textos —el de Griffiths, por ejemplo— se atribuye a Mendel la formulación del concepto —no la palabra— de gen. Evidentemente, entre el factor mendeliano y el moderno concepto de gen hay una importante distancia, incluso suponiendo que en la actualidad ese concepto fuera unívoco. ¿Cómo se justifica, entonces, que los especialistas afirmen que al usarlo en cada etapa —o en cada campo— están hablando, a la vez, de lo mismo y de otra cosa? ¿Es porque han despojado al concepto de su historia? Yo creo que no: que es precisamente por su historia que esa idea es legítima. Los conceptos —y las teorías de las que forman parte— no son constructos rígidos: en el curso de su desarrollo se aplican a nuevas situaciones, lo cual conlleva una continua redefinición de su significado. Esos cambios no son meramente acumulativos (puramente extensionales), sino que también implican ajustes de connotación.

Tomemos, por ejemplo, el concepto de fenotipo. Éste fue introducido por Johannsen para definir los caracteres observables en los organismos, y en su formulación original podía aplicarse ya fuera a un carácter específico (como los estudiados por Mendel en sus experimentos con *Pisum*) o al conjunto de todos ellos. Pero luego fue extendido hacia nuevas aplicaciones, tales como la capacidad —o su inhibición— de un organismo para sintetizar una determinada proteína. Estos usos, y todos los demás en que ha aparecido, constituyen una familia conceptual; no homogénea, pero donde todos los usos mantienen una relación discernible.

En consecuencia, en los cambios de significado hay una conexión que ha de ser posible identificar, o de lo contrario la dimensión histórica de los conceptos se pierde. Kuhn, que ha subrayado la importancia de esta dimensión, la pone en entredicho con la idea de la inconmensurabilidad. Y ni siquiera el papel que esa idea jugó en la derrota final de la concepción acumulativista de las teorías científicas puede justificar que se siga aplicando al examen del cambio conceptual.