

# LEYES, MODELOS Y TEORÍAS EN BIOLOGÍA \*

## UNA INTERPRETACIÓN UNIFICADORA

Pablo Lorenzano<sup>†</sup>

### RESUMEN

Tres conceptos metacientíficos objeto de análisis filosófico son los de ley, modelo y teoría. El objetivo de este artículo es presentar la elucidación de estos conceptos, y de sus relaciones, hecha dentro del marco del Estructuralismo Metateórico o Sneediano (BALZER; MOULINES & SNEED, 1987), y de su aplicación a un caso del ámbito de la Biología: la Genética Clásica. El análisis realizado posibilitará fundamentar, en contra de lo que sostienen algunos filósofos de la ciencia en general y de la biología en particular, las siguientes afirmaciones: a) que hay “leyes” en las ciencias biológicas, b) que muchos de los heterogéneos y distintos “modelos” de la Biología pueden ser acomodados bajo alguna “teoría”, y c) que justamente esto es lo que les confiere a las teorías biológicas su gran poder unificador.

**PALABRAS CLAVE:** conceptos metacientíficos - Estructuralismo Metateórico - ley biológica - Genética Clásica

### RESUMO

Três conceitos metacientíficos sujeitos a análise filosófica são lei, modelo e teoria. O objetivo deste artigo é apresentar a elucidação desses conceitos e suas relações, realizada no âmbito do Estructuralismo Metateórico ou Sneediano (BALZER; MOULINES & SNEED, 1987), e sua aplicação a um caso no campo da Biologia: a Genética Clássica. A análise realizada permitirá basear, contra o que mantêm alguns filósofos da ciência em geral e da biologia em particular, as seguintes afirmações: a) que existem “leis” nas ciências biológicas, b) que muitos dos “modelos” heterogêneos e diferentes da Biologia podem ser acomodados sob alguma “teoria” e c) que é precisamente isto que dá às teorias biológicas seu grande poder unificador.

**PALAVRAS-CHAVE:** conceitos científicos - Estructuralismo Metateórico - lei biológica - Genética Clássica

---

\* Este trabajo fue realizado con la ayuda de los proyectos de investigación PICT-2014-1741 (ANPCyT, Argentina) y FFI2012-37354/CONSOLIDER INGENIO CSD2009-0056 (España).

<sup>†</sup> Centro de Estudios de Filosofía e Historia de la Ciencia, Universidad Nacional de Quilmes (CEFHC-UNQ) / Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). *pablo.lorenzano@gmail.com*.

## Introducción

Tres conceptos metacientíficos objeto de análisis filosófico son los de ley, modelo y teoría. Dichos conceptos, a resultas del análisis particular efectuado, podrían encontrarse vinculados. A lo largo del siglo XX, y del XXI, pueden identificarse tres concepciones generales sobre las teorías científicas: las concepciones “clásica (o heredada)”, “histórica (o historicista)” y “semántica (o modelo-teórica)”.<sup>1</sup>

Para la concepción *clásica*, en su planteo más general, las *teorías* debieran representarse metateóricamente como *conjuntos de enunciados organizados* deductiva o *axiomáticamente*. Las *leyes*, por su parte, son un *componente esencial* de éstas: constituyen los *axiomas* mediante los cuales se las representa metateóricamente (CARNAP, 1939, en especial secciones 21-25, 1956, 1966, parte V). En tanto que, en sus comienzos, los *modelos* se conciben como fenómenos *marginales* de la ciencia (CARNAP, 1939). Autores posteriores (BRAITHWAITE, 1953 y NAGEL, 1961) se esfuerzan en incorporar los modelos, y reconocer su importancia, en el marco dicha concepción *clásica*.

Los filósofos *historicistas* de la ciencia, con sus nociones alternativas al concepto clásico de teoría –*patrón de descubrimiento* en Hanson (1958), *paradigma* o *ideal de orden natural* en Toulmin (1961), *paradigma* o *matriz-disciplinar* en Kuhn (1962, 1970a, 1970b, 1974 y 1977), *programa de investigación* en Lakatos (1970 y 1971) y *tradición de investigación* en Laudan (1977)–, dejan traslucir cierta concepción sobre las leyes distinta a la clásica. Además, al mismo tiempo se desarrollan *propuestas alternativas* a la clásica, que destacan la *función de los modelos en la práctica* científica (ACHINSTEIN, 1968, HESSE, 1966 y HARRÉ, 1970), así como también se investiga qué papel juegan las *analogías* y *metáforas* en la construcción de modelos (BLACK, 1962 y HESSE, 1966) o de otros componentes, vinculados con éstos, planteados por los filósofos historicistas, tales como los *ejemplares* (KUHN, 1970).

Contemporáneamente, en donde se enfatiza la importancia de los modelos en la(s) (diversas) práctica(s) científica(s), se impone la(s) “concepción(es) *semántica(s)*” –que aborda la temática de los modelos en el marco de una concepción general sobre las teorías científicas– como alternativa a la concepción clásica e historicista de las teorías científicas y se desarrollan las “concepciones *modelísticas*” de la ciencia –que abordan las cuestiones de la relación entre los modelos y la experiencia y entre los modelos y las teorías generales con independencia de una metateoría general sobre las ciencias (CARTWRIGHT;

<sup>1</sup> Ver Moulines (2008).

SHOMAR & SUÁRES, 1995, MORRISON, 1998 y 1999, CARTWRIGHT, 1999 y CARTWRIGHT & SUÁREZ, 2008)–.

De acuerdo con la concepción semántica de las teorías los conceptos relativos a modelos son más provechosos para el análisis filosófico de las teorías científicas, de su naturaleza y funcionamiento, que los relativos a enunciados; la naturaleza, función y estructura de las teorías se comprende mejor cuando su caracterización, análisis o reconstrucción metateórica se centra en los modelos que determina, no en un particular conjunto de axiomas o recursos lingüísticos mediante los que lo hace.<sup>2</sup> Por lo tanto, el componente más básico para la identidad de una teoría es una *clase* (conjunto, colección, familia) *de modelos*. Con el énfasis que se hace en los modelos, podría pensarse que no sólo puede prescindirse del término, o del concepto, de “ley”,<sup>3</sup> sino que tampoco se debiera discutir el tema de las leyes. Sin embargo, habría que identificar los modelos de alguna manera y ésta suele ser, en la(s) “concepción(es) *semántica(s)*”, a través de las leyes o principios o ecuaciones de la teoría (el particular modo en que se lo llamen es lo menos importante del asunto) a la cual ellos pertenecen (así, los modelos constituirían la contraparte semántica o modelo-teórica de tales leyes o principios o ecuaciones). Por otro lado, para las “concepciones *modelísticas*” los modelos no forman parte de las teorías (en algún sentido usual, abarcador del término), y son independientes o “autónomos” respecto de ellas. Sin embargo, los modelos también se representarían o serían identificados mediante, o contendrían, principios, ecuaciones o leyes, aunque no universales.

El objetivo de este trabajo es presentar la elucidación de los conceptos metacientíficos de ley, modelo y teoría hecha desde el Estructuralismo Metateórico, y de su aplicación a un caso particular de la Biología: la Genética Clásica.

El análisis llevado a cabo hará posible dar apoyo, en contra de lo que han sostenido algunos filósofos de la ciencia en general y de la biología en particular, a las siguientes afirmaciones:

- a) que hay “leyes” en las ciencias biológicas,

<sup>2</sup> Esta idea ha sido desarrollada de diferentes maneras particulares, dando lugar a distintos enfoques, variantes o versiones que, a pesar de sus diferencias, constituyen una familia, la *familia semanticista*. Para una caracterización de esta familia, y de algunos de sus miembros, así como una referencia a muchos de ellos, ver Lorenzano (2013) y Ariza, Lorenzano y Adúriz-Bravo (2016).

<sup>3</sup> Para posiciones escépticas acerca de cualquier noción de ley y la sustitución del término “ley” por otras nociones, tales como “ecuaciones (fundamentales)” o “principios (básicos)”, ver Cartwright (1983 y 2005), Giere (1995) y van Fraassen (1989).

- b) que muchos de los diferentes y heterogéneos “modelos” de la Biología pueden ser acomodados bajo alguna “teoría”, y
- c) que es precisamente esto lo que les confiere a las teorías biológicas su gran poder unificador.

Concluiremos el análisis argumentando en favor de la utilización de esquemas interpretativos, y en contra de un inductivismo estrecho, en metaciencia. En primer lugar, presentaremos la elucidación estructuralista de los conceptos de ley, modelo y teoría, y de sus relaciones. Luego, aplicaremos estos conceptos en el ámbito de la Genética Clásica.<sup>4</sup> Esto será realizado en dos pasos. En el primero, se presentarán las aplicaciones intencionales, los modelos y las aplicaciones exitosas de dicho ámbito. Lo anterior motivará el segundo paso, a saber: la presentación de la red teórica de la Genética Clásica, con la correspondiente identificación de su ley fundamental/principio-guía y de sus especializaciones. A continuación, se discutirán los temas de la existencia de leyes en las ciencias biológicas, del lugar de los modelos en las teorías de la Biología y del poder unificador de las teorías biológicas a la luz del análisis efectuado en las secciones anteriores. Por último, concluiremos con algunas reflexiones finales.

### **1 Los conceptos de ley, modelo y teoría desde el punto de vista del estructuralismo metateórico<sup>5</sup>**

El punto de partida de la elucidación estructuralista del concepto de teoría es el reconocimiento de que la expresión “teoría científica” es ambigua, o mejor: polisémica, en su uso pre-sistemático. A veces, significa solo una ley (como cuando se habla indistintamente de la *ley* de gravedad o de la *teoría* de la gravedad). Este sentido no es elucidado por el concepto estructuralista de teoría, sino el concepto estructuralista de ley. A veces, el uso de la expresión “teoría científica” corresponde a aquello que es elucidado mediante la noción estructuralista de *elemento teórico*. En este sentido, un elemento teórico es la porción más pequeña de la ciencia que parece poseer todas las características usualmente asociadas a las teorías. Sin embargo, incluso este sentido más pequeño de teoría *no puede ser identificado con una clase* (o conjunto o población o colección o

<sup>4</sup> El análisis de la Genética Clásica está basado en Lorenzano (1995, 2000 y 2002), Balzer y Lorenzano (2000).

<sup>5</sup> Para una presentación completa y técnicamente precisa de esta metateoría, ver Balzer, Moulines y Sneed (1987).

familia) *de modelos*, aunque *pueda ser básicamente identificado a través de ella*. Un modelo, en su significado mínimo informal, es un sistema o estructura que pretende representar, de manera más o menos aproximada, una “porción de la realidad”, constituida por entidades de diverso tipo, que *hace verdaderas* una serie de afirmaciones, en el sentido de que en dicho sistema “ocurre lo que las afirmaciones dicen” o, más precisamente, las afirmaciones son verdaderas en dicho sistema. A pesar de que tal clase es el componente más básico para la identidad de una teoría, no es el único. Un *elemento teórico*, e.e. el tipo más simple de estructura conjuntista que puede ser identificada con, o puede ser usada como una reconstrucción racional de, o puede ser considerada como una elucidación formal del concepto intuitivo, informal de teoría científica, puede ser identificada, en una primera aproximación, con un par ordenado que consiste en el “núcleo (formal)”, simbolizado por  $\mathbf{K}$ , y el dominio de *aplicaciones intencionales* de la teoría, simbolizado por  $\mathbf{I}$ :  $\mathbf{T} = \langle \mathbf{K}, \mathbf{I} \rangle$ .

El núcleo  $\mathbf{K}$  constituye la identidad formal de cualquier teoría empírica con un cierto grado de complejidad, que está compuesto por las clases ordenadas de *modelos potenciales* ( $\mathbf{M}_p$ ), de *modelos* (efectivos) ( $\mathbf{M}$ ), de *modelos parciales* ( $\mathbf{M}_{pp}$ ), de *condiciones de ligadura* ( $\mathbf{C}$ ) y de *vínculos interteóricos* ( $\mathbf{L}$ ), e.e.  $\mathbf{K} = \langle \mathbf{M}_p, \mathbf{M}, \mathbf{M}_{pp}, \mathbf{C}, \mathbf{L} \rangle$ .

Los modelos (ya sean potenciales, efectivos o parciales) se conciben como sistemas o estructuras, e.e. como estructuras matemáticas. En la versión estándar del Estructuralismo Metateórico, estas estructuras son estructuras relacionales o conjuntistas de cierto tipo, constituidas por una serie de dominios básicos (conjuntos de objetos) y de relaciones (o funciones) sobre ellos, e.e., como entidades de la forma:  $\langle D_1, \dots, D_k, R_1, \dots, R_n \rangle$ , en donde  $R_j \subseteq D_{i1} \times \dots \times D_{ik}$  (las  $D_i$ 's representan los llamados “conjuntos base”, e.e. los “objetos” a los que refiere la teoría, su ontología, en tanto que las  $R_j$ 's son relaciones o funciones construidas (conjuntistamente) a partir de los conjuntos base).

La clase de *modelos potenciales* de la teoría  $\mathbf{M}_p$  es la clase total de estructuras que satisfacen las ‘condiciones marco’ que establecen las propiedades formales de los conceptos de la teoría, pero no necesariamente también las ‘leyes sustantivas’ de la teoría.

La clase de los *modelos* (efectivos) de la teoría  $\mathbf{M}$  es la clase total de estructuras que satisfacen, además de las ‘condiciones marco’, las ‘leyes sustantivas’ de la teoría. Si  $A_1, \dots, A_s$  son ciertas fórmulas (axiomas) que representan las leyes de la teoría, los *modelos* de la teoría son estructuras de la forma  $\langle D_1, \dots, D_k, R_1, \dots, R_n \rangle$  que satisfacen los axiomas  $A_1, \dots, A_s$ . (Y es por esta razón, como ya fue mencionado antes, por la que los modelos pueden ser considerados la contraparte modelo-teórica de las leyes de la teoría.)

El Estructuralismo Metateórico establece una distinción entre dos tipos de términos o conceptos: términos que son específicos o distintivos de la teoría en cuestión, y que son usualmente introducidos por la teoría, y aquellos que se encuentran disponibles previamente y que constituyen su “base empírica” relativa de contrastación.

Si **T** es la teoría en cuestión, los términos del primer tipo son llamados “(términos o conceptos) **T**-teóricos”, e.e. teóricos respecto de la teoría **T**. Los términos del segundo tipo son “(términos o conceptos) **T**-no-teóricos”, e.e. no-teóricos respecto de dicha teoría **T** (lo cual no significa que no puedan ser teóricos para alguna otra teoría; de hecho, por lo general son teóricos para otras teorías presupuestas **T'**, **T''**, etc.). La concepción estructuralista provee un criterio preciso de **T**-teoricidad, que aquí caracterizamos informalmente del siguiente modo: un término o concepto usado por **T** es **T**-teórico si y sólo si la extensión del concepto expresado por el término no se puede determinar sin presuponer las leyes **T**, e.e. si y sólo si *todo* método de determinación de la extensión del concepto expresado por el término presupone o usa alguna ley de **T**. De otro modo, el término o concepto (usado por **T**) es **T**-no-teórico, e.e. si es posible determinar la extensión del concepto expresado por el término sin usar las leyes de **T**, si *existe al menos algún* método de determinación/medición que no use ninguna ley de la teoría **T**.

La clase de los *modelos parciales*  $\mathbf{M}_{pp}$  se obtiene al “recortar” los conceptos **T**-teóricos de la clase de modelos potenciales  $\mathbf{M}_p$  ( $\mathbf{M}_{pp} := \mathbf{r}(\mathbf{M}_p)$ , en donde **r**, la función de “restricción”, es una función muchos-uno tal que  $\mathbf{M}_p \rightarrow \mathbf{M}_{pp}$ ). Si los modelos potenciales son estructuras de tipo  $x$  ( $x = \langle D_1, \dots, D_k, R_1, \dots, R_n \rangle$ ), los *modelos parciales*  $\mathbf{M}_{pp}$  son estructuras de tipo  $y$  ( $y = \langle D'_1, \dots, D'_j, R'_1, \dots, R'_m \rangle$ ), en donde cada estructura de tipo  $y$  es una *subestructura parcial* de una estructura  $x$ .<sup>6</sup>

Mientras que las relaciones intrateóricas entre los distintos modelos de una teoría son representadas por las llamadas *condiciones de ligadura* **C**, las relaciones interteóricas son representadas por los llamados *vínculos (interteóricos)* **L**. Ellas caracterizan las relaciones “esenciales” de la teoría con otras teorías al conectar los términos **T**-no-teóricos con las teorías de donde proceden.

<sup>6</sup>Una estructura  $y$  es una *subestructura* de otra estructura  $x$  (en símbolos:  $y \sqsubseteq x$ ) cuando los dominios de  $y$  son subconjuntos de los dominios de  $x$  y, por lo tanto, las relaciones (o funciones) de  $y$  son restricciones de las relaciones (o funciones) de  $x$ . Una estructura  $y$  es una *subestructura parcial* de  $x$  (también simbolizada mediante  $y \sqsubseteq x$ ) cuando, además de ser una subestructura de  $x$ , hay al menos un dominio o relación (o función) en  $x$  que no tiene contraparte en  $y$ . El asunto importante es que la subestructura *parcial*  $y$  contiene menos componentes –dominios o relaciones (o funciones)– que la estructura  $x$ . Así, las estructuras  $x$  e  $y$  son de tipos lógicos distintos. Si  $y$  es una *subestructura* (ya sea parcial o no) de  $x$ , también se dice, conversamente, que  $x$  es una *extensión* de  $y$ .

Toda teoría empírica está relacionada con la “realidad” o el “mundo exterior”, e.e. con algunos hechos, fenómenos o sistemas empíricos específicos sometidos a algunas condiciones específicas, a los cuales se intenta aplicar y para los cuales ha sido ideada. Estos hechos, fenómenos o sistemas empíricos también pertenecen a la identidad de la teoría debido a que, de otro modo, no sabríamos acerca de qué es la teoría, ya que la clase de modelos contiene “todos” los modelos, tanto pretendidos como no-pretendidos. Ellos constituyen lo que se denomina el “*dominio de aplicaciones intencionales*” de la teoría, que es simbolizado mediante **I**. El dominio de *aplicaciones intencionales* de una teoría, aun cuando es un tipo de entidad fuertemente dependiente de factores históricos y pragmáticos que, por su propia naturaleza, no son formalizables, está conceptualmente determinado mediante conceptos ya disponibles, e.e. mediante conceptos **T**-no-teóricos; así, cada aplicación intencional puede ser concebida como un sistema empírica (e.e., **T**-no-teórico) representado por medio de una estructura del tipo de los modelos parciales **M<sub>pp</sub>**. Todo lo que puede ser dicho acerca de **I** desde un punto de vista formal es, así, que es un subconjunto de la clase de modelos parciales **M<sub>pp</sub>**.

Las teorías no son enunciados, pero son *usadas* para hacer enunciados o aserciones, que tienen luego que ser contrastadas. Los enunciados (o aserciones o afirmaciones) (factuales o empíricos) hechos por medio de las teorías científicas son, hablando intuitivamente, del siguiente tipo: que un dominio dado de aplicaciones intencionales puede ser efectivamente *subsumido* (o *incrustado*) (exacta o aproximadamente) bajo los principios (leyes, condiciones de ligadura y vínculos) de la teoría. Normalmente, en cualquier teoría “realmente existente”, la “versión exacta” de la llamada *aserción empírica central* de la teoría –que el dominio completo de aplicaciones intencionales puede ser efectivamente *subsumido* (o *incrustado*) bajo los principios de la teoría– será estrictamente falso. Lo que sucede habitualmente es que o bien hay una subclase de aplicaciones intencionales para la cual la aserción empírica es verdadera o bien que la aserción empírica es estrictamente falsa, pero *aproximadamente verdadera*.

Llamemos a una estructura específica de tipo *y*, con instancias específicas de los conceptos **T**-no-teóricos, un “*modelo de datos*” de **T**. Llamemos a una extensión específica de tipo *x*, con instancias específicas de los conceptos **T**-teóricos, de una estructura específica de tipo *y*, con instancias específicas de los conceptos **T**-no-teóricos, un “*modelo teórico*” de **T**. Y, finalmente, llamemos a un modelo teórico específico *apropiado* de un

modelo de datos específico, e.e. a un modelo teórico que satisface (exacta o aproximadamente) las leyes de la teoría, una “*aplicación exitosa*” de **T**.

Algunos ejemplos de teorías científicas de la “vida real” pueden ser efectivamente reconstruidos como *un* elemento teórico, pero, por lo general, teorías únicas en el sentido pre-sistemático tienen que ser concebidas como agregados de varios (a veces de un gran número de) elementos teóricos. Estos agregados son llamados *redes teóricas*. Esto refleja el hecho de que la mayoría de las teorías tienen leyes de muy distintos grados de generalidad dentro del mismo marco conceptual. Usualmente, hay una única ley fundamental o principio-guía “en la cúspide” de la jerarquía y una serie de leyes más especiales –que se aplican a situaciones específicas– con distintos grados de “concreción”, “especificación” o “especialización”.

A partir del reconocimiento de que pese a los sucesivos y renovados esfuerzos realizados *no* se dispone de un *concepto satisfactorio de ley científica*, e.e. de un conjunto adecuado de condiciones necesarias y suficientes precisas como criterio para que un enunciado sea considerado una “ley (científica)”,<sup>7</sup> cuando en el marco de la metateoría estructuralista se discuten los criterios para que un enunciado sea considerado como una *ley fundamental de una teoría*, se tiende a hablar más bien de “condiciones necesarias” (STEGMÜLLER, 1986, p. 93), de “condiciones necesarias débiles” (BALZER, MOULINES & SNEED, 1987, p. 15) o, mejor aún, sólo de “«síntomas», algunos incluso formalizables” (MOULINES, 1991, p. 233), aunque “en cada caso particular de reconstrucción de una teoría dada, parece, por regla general, ser relativamente fácil concordar, en base a consideraciones informales o semiformales (por ejemplo, sobre su papel sistematizador o su carácter cuasi-vacuo), en que un determinado enunciado debe tomarse como ley fundamental de la teoría en cuestión” (MOULINES, 1991, p. 233).

Muy brevemente, podemos mencionar cinco criterios como condiciones necesarias, condiciones necesarias *débiles* o «síntomas» para que un enunciado sea considerado una ley fundamental/principio-guía en el sentido estructuralista (LORENZANO, 2006, 2007 y 2014-2015, por aparecer):<sup>8</sup>

<sup>7</sup> Ver Stegmüller (1983) y Salmon (1989) para un análisis de las dificultades con las que se enfrenta dicha elucidación.

<sup>8</sup> En la literatura científica y filosófica se habla muchas veces no sólo de *leyes* a secas, sino también de *leyes naturales*, o *de la naturaleza*, por un lado, y de *leyes científicas*, o *de la ciencia*, por el otro. Dichas expresiones, además, suelen utilizarse como si las pertenecientes a un par fueran intercambiables por las pertenecientes al otro, e.e., como si fueran sinónimas o poseyeran el mismo significado. Sin embargo, nosotros consideramos conveniente distinguir el primero de los pares del segundo de ellos, ya que



- 1) Su *carácter arracimado* o *sinóptico*. Esto significa que una ley fundamental debería incluir “*todos* los términos relacionales (e implícitamente también todos los conjuntos básicos) y, por lo tanto, finalmente, *todo concepto fundamental* que caracteriza a tal teoría” (MOULINES, 1991), “*varias de las magnitudes*”, “*diversas funciones*”, “*posiblemente muchos conceptos teóricos y no-teóricos*” (STEGMÜLLER, 1986), “*casi todos*” (BALZER, MOULINES & SNEED, 1987), “*al menos dos*” (STEGMÜLLER, 1986).
- 2) Tener *validez en todas las aplicaciones intencionales*. De acuerdo con ello, no es necesario que las leyes fundamentales de las teorías posean un alcance ilimitado, se apliquen en todo tiempo y lugar y tengan como universo de discurso algo así como una “*gran aplicación*”, que constituye un modelo único o “*cósmico*”, sino que basta que se apliquen a sistemas empíricos parciales y bien delimitados: el conjunto de aplicaciones intencionales de la teoría (STEGMÜLLER, 1986).<sup>9</sup>
- 3) Su *carácter cuasi-vacuo*. Esto significa que son altamente abstractas, esquemáticas, lo suficientemente vacías y con ocurrencia esencial de términos T-teóricos, que en sentido estructuralista son términos cuya extensión sólo puede ser determinada mediante la aplicación de la(s) ley(es) fundamental(es) de la teoría de modo que resisten cualquier posible refutación, pero que, sin embargo, adquieren contenido empírico específico (y la posibilidad de ser contrastadas) a través de un proceso no-deductivo conocido con el nombre de “*especialización*” (MOULINES, 1984).
- 4) Su *papel sistematizador* o *unificador*. Las leyes fundamentales posibilitan incluir dentro de una misma teoría diversas aplicaciones a distintos sistemas empíricos, al proveer una guía y un marco conceptual para la formulación de otras leyes (las denominadas “*especiales*”) que introducen restricciones adicionales respecto de las leyes fundamentales y se aplican así a los sistemas empíricos en particular

---

corresponden a enfoques o perspectivas diferentes –ver p.e. Weinert (1995)–: el primero a un enfoque de tipo *ontológico* –correspondiente a cómo son las cosas mismas– y el segundo a uno de tipo *epistémico* –centrada en lo que conocemos–. En lo que sigue, cuando hablemos acerca de las leyes, lo haremos acerca de las leyes *científicas*, o *leyes de la ciencia*, y no acerca de las leyes *naturales*, o *leyes de la naturaleza*. Para una discusión de la naturaleza de las leyes desde un punto de vista estructuralista, ver Lorenzano (2014-2015).

<sup>9</sup> La validez de las leyes puede considerarse como *exacta* –y así éstas como leyes *estrictas* o no interferibles– o, mejor, en la medida en que suelen contener diversas *idealizaciones*, como *aproximada*, como ya fue señalado por Scriven (1959) y más extensamente por Cartwright (1983) –y así éstas como no estrictas o *interferibles*.

(MOULINES, 1984). Las leyes fundamentales determinan la clase total de modelos de una teoría, mientras que las leyes especiales determinan sólo algunos de ellos, que constituyen una subclase de la clase de modelos. Está claro que la distinción entre leyes fundamentales y leyes especiales es relativa a la teoría en cuestión.

- 5) Poseer  *fuerza modal*. Las leyes fundamentales expresan regularidades no-accidentales, susceptibles de dar apoyo a contrafácticos (si se toman “junto-con-sus-especializaciones” dentro de una red teórica), aun cuando sean sensibles al contexto y con un dominio de aplicación local, y que, en su sentido mínimo, en lugar de atribuir *necesidad natural*, se atribuya *necesidad de los modelos*, y, en ese sentido, deben considerarse como *necesarias en su ámbito de aplicación*, aun cuando por fuera de dicho ámbito no deba ser así (LORENZANO, 2006, 2007, 2014-2015, por aparecer, y DÍEZ & LORENZANO, 2013).

Las leyes fundamentales/principios-guía son “programáticas” o “heurísticas” en el siguiente sentido: nos dicen el *tipo de cosas* que debiéramos buscar si queremos explicar un fenómeno específico. Pero tomadas de manera independiente y aislada, sin sus especializaciones, dicen muy poco empíricamente. Pueden ser consideradas, de manera aislada, como “empíricamente irrestrictas”. A fin de ser contrastadas/aplicadas, las leyes fundamentales/principios-guía tienen que ser especializados (“concretizados” o “especificados”). Estas formas específicas adoptadas por las leyes fundamentales son las llamadas “leyes especiales”.

Es digno de enfatizar que la relación arriba-abajo *no* es una de implicación o derivación, sino de *especialización* en el sentido estructuralista (BALZER; MOULINES & SNEED, 1987, Cap. IV): las leyes de abajo son versiones específicas de las de arriba, e.e. especifican algunas dependencias funcionales que son dejadas parcialmente abiertas en las leyes de arriba de la rama. Esta es la razón por la que las últimas son denominadas “leyes especiales” en lugar de “leyes derivadas”, como en la concepción clásica de las leyes, en donde se supone que las leyes con alcance más restringido o limitado se derivan o deducen lógicamente de las leyes fundamentales. Formalmente hablando, la relación de especialización es reflexiva, antisimétrica y transitiva.

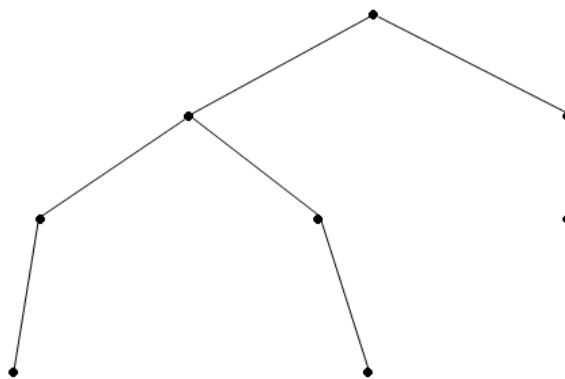
Cada ley especial determina un nuevo elemento teórico. Lo que mantiene junta a la serie total de leyes en la jerarquía es, primero, el marco conceptual común (modelo-

teóricamente representado por la clase de modelos potenciales), segundo, la distinción común **T**-teórico/**T**-no-teórico, y, tercero, el hecho de que todas ellas son especializaciones de la misma ley fundamental.

El elemento teórico que contiene la(s) ley(es) fundamental(es)/principio(s)-guía es llamado el “elemento teórico *básico*” de la teoría, e.e. de la red teórica. Los otros elementos teóricos de la red teórica son especializaciones o “elementos teóricos *especializados*”.

Cuando se alcanza el mayor grado de concreción o especificación, e.e. cuando todas las dependencias funcionales (conceptos) son concretizadas o especificadas completamente, se obtienen las llamadas “leyes especiales *terminales*”, que determinan la clase más específica de modelos (teóricos). Las aserciones empíricas asociadas a los correspondientes “elementos teóricos especializados *terminales*” pueden ser vistos como hipótesis particulares, contrastables y, eventualmente, refutables, que posibilitan la aplicación de la teoría a sistemas empíricos particulares. En la manera modelo-teórica más simple de representar estas aserciones empíricas particulares, ellas establecen lo siguiente: el “*modelo de datos*” *d* de **T** puede efectivamente ser subsumido (o incrustado) (de manera exacta o aproximada) bajo el “*modelo teórico*” *m* de **T**.

La estructura resultante de una teoría puede ser representada como una red, en donde los nodos están dados por los diferentes elementos teóricos, y las cuerdas representan las diferentes relaciones de especialización (ver Fig. 1).



**Figura 1.**

Una red teórica **N** es la concepción estructuralista estándar de una teoría desde un punto de vista estático o *sincrónico*. En este sentido, una teoría es una entidad *compleja, fuertemente jerárquica y multinivel*.

Pero una teoría también puede ser concebida como un tipo de entidad que se desarrolla a lo largo del tiempo. Una teoría en el sentido *diacrónico* no es solo una red teórica que existe en la misma forma a través del tiempo, sino una red teórica *cambiante*, que crece y/o decrece a lo largo del tiempo. Tal entidad es llamada *evolución teórica E*. Básicamente, ella es una secuencia de redes teóricas  $\mathbf{N}_1, \mathbf{N}_2, \dots, \mathbf{N}_n$  que satisfacen dos condiciones: en el nivel de los núcleos, se requiere que cada nueva red teórica ( $\mathbf{N}_{i+1}$ ) de la secuencia sea tal que todos sus elementos teóricos sean especializaciones de algún elemento teórico de la red previa (a:  $\mathbf{N}_{i+1}$  sigue inmediatamente a  $\mathbf{N}_i$ ; b: para cualquier  $\mathbf{T}_{i+1} \in |\mathbf{N}_{i+1}|$  existe una  $\mathbf{T}_i \in |\mathbf{N}_i|$  tal que  $\mathbf{T}_{i+1} \sigma \mathbf{T}_i$ ); en el nivel de las aplicaciones intencionales, se exige que los dominios de la nueva red teórica tengan al menos un solapamiento parcial con los dominios de la red teórica previa en donde existe un dominio de aplicaciones intencionales permanentes (hay un conjunto  $\mathbf{I}_p$  tal que  $\emptyset \neq \mathbf{I}_p \subseteq \mathbf{I}_0^1 \cap \dots \cap \mathbf{I}_0^n$ ).

Finalmente, se puede decir que la concepción estructuralista ha sido propuesta para representar no sólo los cambios *intrateóricos* que tienen lugar en la ciencia (por medio del concepto de evolución teórica), sino también distintos tipos de *cambios interteóricos*, tales como la *cristalización*, la *incrustación* y el *reemplazo con inconmensurabilidad (parcial)*. Es digno de mencionarse que el proceso de cristalización de una teoría permitiría el tratamiento del papel de los modelos (en el sentido de leyes o de elementos teóricos) en la génesis de nuevas teorías empíricas (en el sentido de redes teóricas y, posteriormente, de evoluciones teóricas) dentro del marco estructuralista.

## 2 Aplicaciones intencionales, modelos y aplicaciones exitosas de la Genética Clásica (GC)

La *genética clásica* (de transmisión) (GC) fue inicialmente desarrollada por Morgan y discípulos entre los años 1910-1915 (MORGAN *et al.*, 1915). Ésta es una teoría acerca de la transmisión hereditaria en la que se sigue la transmisión de ciertos rasgos o características (fenotipo) de generación en generación de individuos. Habla de *individuos* (conjuntos de plantas o animales, relacionados entre sí por conexiones especificadas de descendencia, que constituyen poblaciones vinculadas por relaciones de consanguineidad, denominadas “familias”) (*J*), y de ciertos *rasgos* o *características* (*P*) *poseídos por ellos* (*APP*), individuos que se *crucan* y tienen *descendencia* (*MAT*), que también posee ciertos *rasgos* o *características* (*P*), y en donde se discernen razones numéricas, proporciones o frecuencias relativas en la *distribución* de esas características en la descendencia (*DIST*).

Si los componentes de los sistemas empíricos que la genética clásica pretende explicar y predecir, a los que se intenta aplicar, los conjuntáramos en una estructura, ésta sería del siguiente tipo, digamos  $y$ :  $\langle J, P, APP, MAT, DIST \rangle$ . Estructuras así, en donde figuran los *conceptos* que son *no-teóricos para dicha teoría*, e.e. **GC**-no-teóricos, constituyen el conjunto  $M_{pp}(\mathbf{GC})$  de *modelos parciales* de esta teoría y, como decíamos, posibilitan la representación de los sistemas a los cuales, al menos en principio, pretende aplicarse (sus *aplicaciones intencionales*  $I(\mathbf{GC})$ ). Miembros de  $I(\mathbf{GC})$  son sistemas empíricos que contienen individuos (individuos propiamente dichos o poblaciones de plantas o animales) con una cierta apariencia (es decir, con ciertas características o rasgos de ellos) que se cruzan, produciendo una descendencia, en la que los distintos rasgos de las distintas características ocurren en ciertas razones numéricas, proporciones o frecuencias relativas.

Las conexiones entre sus distintos componentes pueden ser gráficamente representadas de la siguiente manera (en donde los rectángulos representan los conjuntos base u “ontología” de **GC** y las flechas las funciones definidas sobre ellos) (ver Fig. 2):

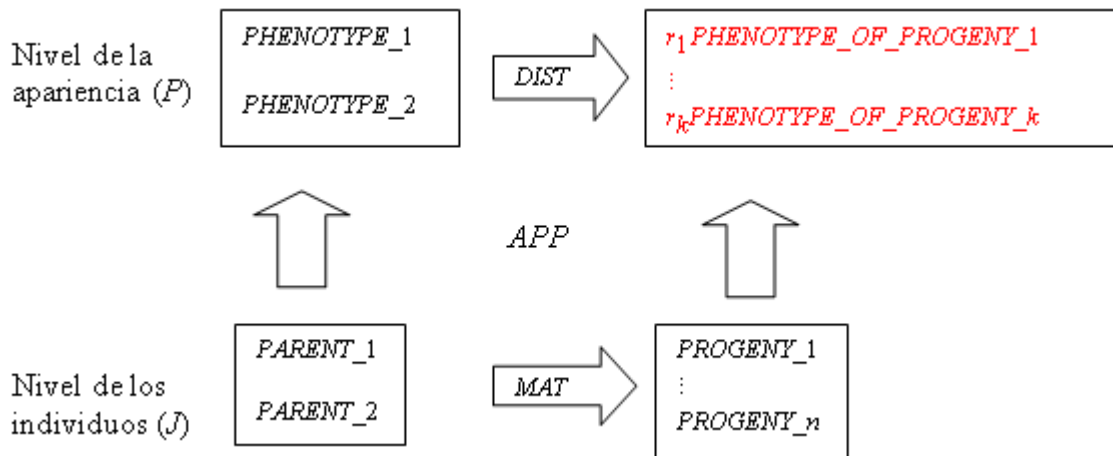


Figura 2.

Ejemplos de estos tipos de sistemas son:

- 1) El color de (1 albumen de) las semillas de las arvejas (con plantas de arvejas pertenecientes a la primera generación filial  $F_1$ , con el color amarillo de (1 albumen de) las semillas, que son autofecundadas y producen descendencia que tiene una proporción 3:1 de (albumen de) las semillas con color amarillo ( $\frac{3}{4}$ ) y

- (albumen de) las semillas con color verde ( $\frac{1}{4}$ ) en la segunda generación filial  $F_2$  (SINNOTT & DUNN, 1925, pp. 40-41, 45-50)).
- 2) El color de las flores del Dondiego de la noche (*Mirabilis jalapa* o Maravilla del Perú) (con plantas del Dondiego de la noche pertenecientes a la primera generación filial  $F_1$ , con flores rosas, que son autofecundadas y producen descendencia que tiene una proporción 1:2:1 de flores color rojo, rosa y blanco en la segunda generación filial  $F_2$  (MORGAN, 1926, pp. 5-6)).
  - 3) El color y la forma de las semillas de las arvejas (con plantas de arvejas pertenecientes a la primera generación filial  $F_1$ , con color amarillo y forma redonda de las semillas, que son autofecundadas y producen descendencia que tiene una proporción 9:3:3:1 en la segunda generación filial  $F_2$ , teniendo  $\frac{9}{16}$  de la descendencia color amarillo y forma redonda de las semillas,  $\frac{3}{16}$  color amarillo y forma angular de las semillas,  $\frac{3}{16}$  color verde y forma redonda de las semillas y  $\frac{1}{16}$  color amarillo y forma angular de las semillas (MORGAN, 1926, pp. 7-8)).
  - 4) El color y la forma de las semillas y el color de las flores de las arvejas (con plantas de arvejas pertenecientes a la primera generación filial  $F_1$ , con color amarillo y forma redonda de las semillas, y flores coloreadas, que son autofecundadas y producen descendencia que tiene una proporción 27:9:9:9:3:3:3:1 en la segunda generación filial  $F_2$ , teniendo  $\frac{27}{64}$  de la descendencia semillas amarillas y redondas y flores coloreadas,  $\frac{9}{64}$  semillas amarillas y redondas y flores blancas,  $\frac{9}{64}$  semillas verdes y redondas y flores coloreadas,  $\frac{9}{64}$  semillas amarillas y angulares y flores coloreadas,  $\frac{3}{64}$  semillas verdes y redondas y flores blancas,  $\frac{3}{64}$  semillas amarillas y angulares y flores blancas,  $\frac{3}{64}$  semillas verdes y angulares y flores coloreadas y  $\frac{1}{64}$  semillas verdes y angulares y flores blancas (SINNOTT & DUNN, 1925, pp. 72-73)).
  - 5) El largo de la mazorca del maíz (con plantas pertenecientes a la primera generación filial  $F_1$ , con mazorcas que no son ni cortas ni largas, que son autofecundadas y producen descendencia que tiene mazorcas cuyos tamaños varían desde mazorcas muy cortas a muy largas de un modo transicional continuo en la segunda generación filial  $F_2$  (SINNOTT & DUNN, 1939, pp. 125, 127-128)).

- 6) La forma de la cresta de las aves de corral (con aves pertenecientes a la primera generación filial  $F_1$ , con cresta con forma de nuez, que son cruzadas entre sí y producen descendencia con una proporción 9:3:3:1 en la segunda generación filial  $F_2$ , teniendo  $\frac{9}{16}$  de la descendencia forma de cresta en nuez,  $\frac{3}{16}$  forma de cresta en roseta,  $\frac{3}{16}$  forma de cresta en guisante y  $\frac{1}{16}$  forma de cresta simple (SINNOTT & DUNN, 1925, pp. 91-92)).
- 7) El color de las flores y la longitud del grano de polen de las arvejas (con plantas pertenecientes a la primera generación filial  $F_1$ , con color de flores púrpura y longitud del grano del polen largo, que son autofecundadas y producen descendencia con una proporción 7:1:1:7 en la segunda generación filial  $F_2$ , teniendo  $\frac{7}{16}$  de la descendencia flores color púrpura y granos de polen largos,  $\frac{1}{16}$  flores color púrpura y granos de polen redondos,  $\frac{1}{16}$  flores color rojo y granos de polen redondos y  $\frac{7}{16}$  flores color rojo y granos de polen largos (SINNOTT & DUNN, 1925, p. 151 y 1939, pp. 192-193)).

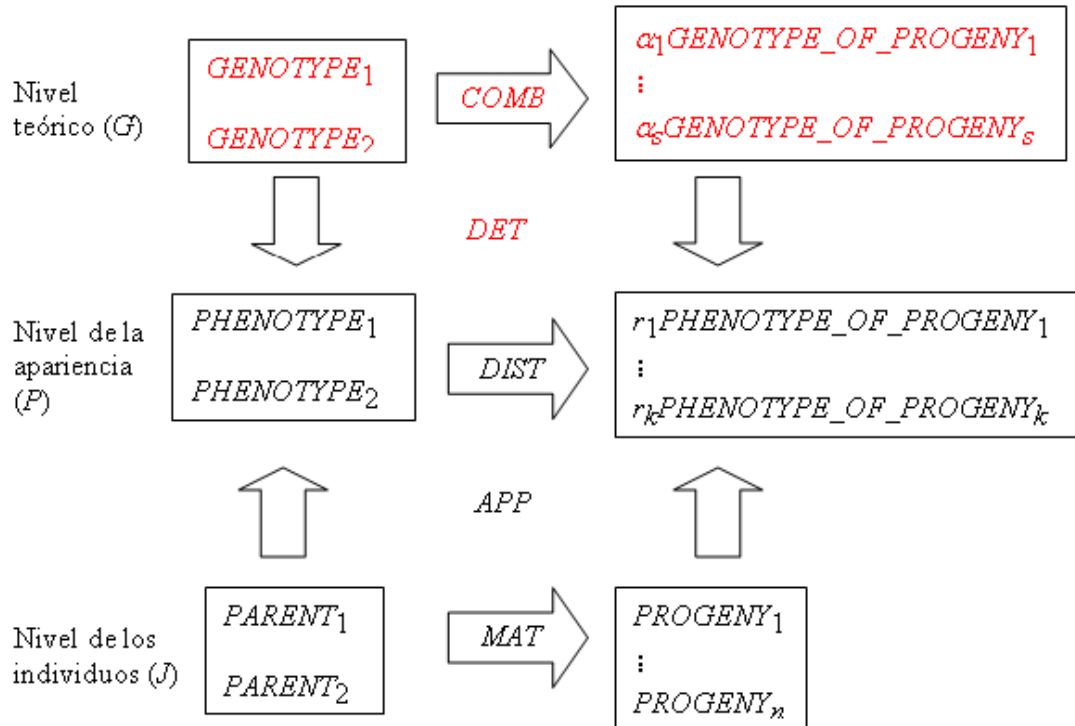
Llamemos a una estructura específica de tipo  $y$  de **GC**, en donde son dadas razones numéricas, proporciones o frecuencias relativas particulares de distribución de los rasgos o características parentales en la descendencia, un “*modelo de datos de GC*”.

Para dar cuenta de las distribuciones de las características en la descendencia (o sea, de las razones numéricas, proporciones o frecuencias relativas), se postulan teóricamente:

- (i) tipos y números apropiados de (pares de) factores o genes (ya sea uno o más) –el genotipo ( $G$ )–,
- (ii) el modo en que se distribuyen en la descendencia (como probabilidades esperadas o teóricas, con combinaciones de factores o genes con igual probabilidad o no) (*COMB*), y
- (iii) la relación específica en la que se encuentran con las características de los individuos (con dominancia completa o incompleta, codominancia o epistasis) (*DET*).

Si ahora extendemos las estructuras de tipo  $y$  con los conceptos correspondientes a los tipos y números de (pares de) factores o genes que actúan conjuntamente, a las distribuciones de probabilidad de los factores o genes en la descendencia y de las

relaciones entre los factores o genes y las características, obtenemos estructuras de otro tipo, digamos  $x$ , que contienen todo el “marco conceptual” de la teoría:  $x = \langle J, P, G, APP, MAT, DIST, DET, COMB \rangle$  (ver Fig. 3). Gráficamente:



**Figura 3.**

Llamemos a una extensión específica de tipo  $x$  de una estructura específica de tipo  $y$  un “modelo teórico de **GC**”. Y si resulta que la extensión específica de tipo  $x$  de **GC** (el “modelo teórico de **GC**”) de una estructura específica de tipo  $y$  de **GC** (el “modelo de datos de **GC**”) es la apropiada, e.e. los valores para los conceptos de tipos y números de (pares de) factores o genes ( $G$ ), de distribuciones de probabilidad de los factores o genes en la descendencia ( $COMB$ ) y de las relaciones entre los factores o genes ( $DET$ ) son los apropiados, obtenemos una aplicación exitosa de **GC**. Y esto sucede si el valor de la distribución de probabilidad ( $COMB$ ) en la descendencia de los tipos y números de (pares de) factores o genes escogidos ( $G$ ) concuerda (idealmente de manera exacta o aproximadamente)<sup>10</sup> con los valores de la distribución de las características ( $DIST$ ), dada la conexión postulada entre factores o genes y características ( $DET$ ).

<sup>10</sup> Usamos la expresión “idealmente” a fin de indicar que debemos tener en cuenta características de aproximación que la genética posee como prácticamente todas las teorías empíricas.



Todos los ejemplos de modelos de datos de **GC** presentados antes pueden ser extendidos a modelos teóricos de **GC** que resulten en *aplicaciones exitosas de PD* cuando se introducen las siguientes hipótesis teóricas apropiadas, para los casos:

- 1) Que (i) las plantas de arvejas en la primera generación filial  $F_1$  sean heterocigóticas con respecto a los factores para el color de (l albumen de) las semillas, (ii) las combinaciones de sus factores en la descendencia sean equiprobables, y (iii) los factores para el color amarillo de (l albumen de) las semillas sean dominantes sobre los factores para el color verde de (l albumen de) las semillas.
- 2) Que (i) las plantas en la primera generación filial  $F_1$  sean heterocigóticas con respecto a los factores para el color de las flores, (ii) las combinaciones de sus factores en la descendencia sean equiprobables, y (iii) los factores para el color rojo de las flores posean dominancia incompleta sobre los factores para el color blanco de las flores.
- 3) Que (i) las plantas en la primera generación filial  $F_1$  sean heterocigóticas con respecto a los factores para el color de (l albumen) y para la forma de las semillas, (ii) las combinaciones de sus factores en la descendencia sean equiprobables, y (iii) los factores para el color amarillo de (l albumen de) las semillas sean dominantes sobre los factores para el color verde de (l albumen de) las semillas y que los factores para la forma redonda de las semillas sean dominantes sobre los factores para la forma angular de las semillas.
- 4) Que (i) las plantas en la primera generación filial  $F_1$  sean heterocigóticas con respecto a los factores para el color de (l albumen), para el color de las flores y para la forma de las semillas, (ii) las combinaciones de sus factores en la descendencia sean equiprobables, y (iii) los factores para el color amarillo de (l albumen de) las semillas sean dominantes sobre los factores para el color verde de (l albumen de) las semillas, que los factores para las flores con color sean dominantes sobre los factores para las flores blancas y que los factores para la forma redonda de las semillas sean dominantes sobre los factores para la forma angular de las semillas.
- 5) Que (i) las plantas en la primera generación filial  $F_1$  sean heterocigóticas con respecto a los factores para el largo de la mazorca del maíz, (ii) las

combinaciones de sus factores en la descendencia sean equiprobables, y (iii) los tres pares de factores son para el largo de la mazorca del maíz y tienen efectos acumulativos.

- 6) Que (i) las aves en la primera generación filial  $F_1$  sean heterocigóticas con respecto a ambos pares de factores para la forma de la cresta, (ii) las combinaciones de sus factores en la descendencia sean equiprobables, y (iii) la cresta en nuez depende de la presencia de dos factores dominantes, uno de cuyos genes solo produce la cresta en roseta, el otro solo produce la cresta en guisante, la combinación de los alelos recesivos de estos factores produce la cresta sencilla.
- 7) Que (i) las plantas en la primera generación filial  $F_1$  sean heterocigóticas con respecto a los factores para el color de las flores y para la longitud del grano del polen, (ii) las combinaciones de sus factores en la descendencia no son equiprobables (flores color púrpura y granos de polen largo que ingresan juntos se transmiten juntos más frecuentemente que lo esperado por la distribución independiente de púrpura-rojo y redondo-largo), y (iii) los factores para el color de flores púrpura son dominantes sobre los factores para el color rojo y los factores para los granos de polen largos son dominantes sobre los factores para los granos de polen redondos.

Ahora podemos preguntar qué es lo que todos estos casos, estas aplicaciones exitosas, estos “modelos” de **GC** tienen en común.

### **3 La ley fundamental/principio-guía, las leyes especiales y la red teórica de la Genética Clásica (GC)**

Es digno de mencionarse que la pregunta metateórica central aquí no es “¿de qué principios de **GC** se deducen todas las aplicaciones de la teoría?”, sino “¿qué es lo que todas las aplicaciones/modelos de **GC** tienen en común?”.

Responder esta pregunta, es una tarea no sólo realizable, sino que además permite arrojar luz sobre la relación entre las leyes, los modelos y las teorías y sobre el poder unificador de estas últimas.

Uno podría responder a esta pregunta negando que haya un rasgo particular (o conjunto de rasgos) compartido por todas las aplicaciones de **GC** y argumentar que el caso

de los modelos biológicos es análogo al de los juegos de Wittgenstein (1953, § 66 y ss.): lo que mantiene unidos a los diferentes casos, aplicaciones exitosas o modelos y que los hace pertenecer a **GC** es algún tipo de parecido de familia entre ellos más que la existencia de un conjunto fijo de rasgos compartidos, que proporciona condiciones necesarias y suficientes para pertenecer a ellos.

Sin embargo, esta respuesta presupone la pregunta en cuestión, ya que todavía queremos saber en qué sentido las diferentes aplicaciones exitosas/modelos de **GC** son similares entre sí.

Parece improbable que las semejanzas deseadas puedan ser leídas a partir de las meras apariencias de estos sistemas, y esto es todo a lo que puede apelar el Wittgensteineano. Más aún, lo que importa no es que estos sistemas sean semejantes entre sí en apariencia, sino más bien que compartan ciertos rasgos estructurales: las aplicaciones exitosas, los modelos de **GC** poseen la misma estructura (del mismo tipo lógico), lo que significa que todas son especificaciones/especializaciones de una y la misma ley fundamental/principio-guía de **GC**, respectivamente. Y, de este modo, ellas forman una red teórica, la red teórica a la cual todas ellas pertenecen.

En las aplicaciones específicas de **GC** sólo aparecen leyes específicas, y esto es todo lo que tenemos en los libros de texto estándar. Sin embargo, quisiera sugerir que ellas son versiones específicas de una ley fundamental general o principio-guía para las aplicaciones en cuestión. No obstante lo cual, en contraste con otras teorías empíricas como aquellas que pertenecen a la física tales como la mecánica clásica de partículas o la termodinámica,<sup>11</sup> la ley fundamental/principio-guía de **GC** no se “observa” en la literatura estándar, sino que sólo está allí de manera “implícita”. De este modo, la Genética Clásica (**GC**) es guiada por un principio-guía general, implícitamente presupuesto en explicaciones específicas de **GC**. Aproximadamente, esta Ley Fundamental/Principio-Guía de la Genética Clásica (**PGGC**) afirma lo siguiente:

**PGGC:** Las características estadísticamente en común de progenitores y descendientes (dadas por las distribuciones de características en la descendencia) se deben a (i) la presencia en los progenitores de factores/genes, (ii) la distribución de factores/genes de los progenitores en la descendencia, y (iii) una relación de

---

<sup>11</sup> Para un análisis de estas teorías desde un punto de vista estructuralista, ver entre otros Balzer, Moulines y Sneed (1987).

“determinación” entre factores/genes específicos y características específicas, de modo tal que las distribuciones de los factores/genes “concuerdan” (“match”/“fit”) (de una manera específica a ser determinada) con las distribuciones de las características.

Como ya dijimos, las leyes fundamentales/principios-guía son “programáticos” o heurísticos en el sentido de que nos dicen *el tipo de cosas* que debiéramos buscar si queremos aplicar la teoría a un fenómeno específico. En el caso de la ley fundamental/principio-guía de **GC**, su carácter heurístico puede ser leído como sigue:

**PGGC:** Cuando enfrentes una distribución estadística específica de características específicas (fenotipo) en la descendencia, busca factores (genes) (genotipo) responsables de las características en los progenitores que combinados de manera específica en la descendencia “concuerdan” con la distribución de las características en la descendencia.

En cada caso específico tenemos que buscar factores/genes (genotipos) específicos, sus efectos fenotípicos específicos y descubrir la manera específica en que la distribución de genotipos da cuenta de la distribución de fenotipos en la descendencia.

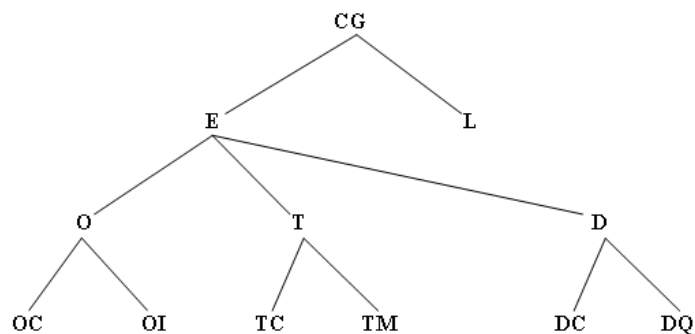
De acuerdo con **PGGC**, a fin de dar cuenta de situaciones específicas (distribuciones específicas de características parentales en la descendencia), deben especificarse los siguientes parámetros:

- (i) el número de pares de factores o genes involucrados (ya sea uno o más),
- (ii) el modo en que los factores o genes paternos son distribuidos en la descendencia (con combinaciones de genes equiprobables o no), y
- (iii) el modo en que los factores o genes (genotipos) se relacionan con las características (fenotipos) (dominancia completa o incompleta, codominancia o epistasis).

Cuando se llevan a cabo estos tres tipos de especificaciones, se obtienen *leyes especiales terminales*. Ellas son las que figuran en aplicaciones específicas de **GC**. Como en otras teorías robustas unificadas, aplicaciones particulares de **GC** a sistemas empíricos

particulares incluyen versiones/aplicaciones específicas de esta “ley”/“principio-guía”. Así, tenemos una versión/aplicación específica de esta “ley”, e.e. una ley especial, para cada tipo de ejemplo paradigmático presentado antes. Es digno de mencionarse que la ley fundamental/principio-guía de **CG** ha sido implícitamente *aceptado como válido en toda aplicación de la teoría* por la comunidad científica que la usa como un supuesto de trasfondo general que provee un punto de partida para el análisis de distribuciones diferentes de características y sirve como *una guía para tratar* con la plétora de situaciones empíricas/aplicaciones a las que se enfrentan los genetistas. Lo cual es otro modo de decir que la “ley”/“principio-guía” de **GC** guía el proceso de especialización, determinando los modos en que debe ser especificada para obtener leyes especiales. De acuerdo con esto, y como cualquier otra teoría robusta unificada tal como la como la mecánica clásica de partículas o la termodinámica, **GC** también puede ser analizada como una red teórica.

La Red Teórica de **GC** se ve como sigue (en la que sólo se representa la parte correspondiente a los ejemplos dados en la Sección 2; ver Fig. 4):



**Figura 4.**

En un primer nivel de especialización de la red teórica de **GC** tenemos o bien que todas las combinaciones de factores tienen iguales probabilidades (**E**) o bien que no todas las combinaciones de factores son igualmente probables, e.e. tiene lugar “enlace” (**L**). Por otro lado, podemos especializar **E** aún más. Así, en un segundo nivel de especialización de la red teórica de **GC**, se puede considerar o bien que sólo un par de factores está involucrado en la determinación de las características, y que hay cuatro posibles distintas combinaciones de factores (**O**), o que dos pares de factores están involucrados en la determinación de las características, y que hay dieciséis posibles distintas combinaciones de factores (**D**), o que tres pares de factores están involucrados en la determinación de las características, y que hay sesenta y cuatro posibles distintas combinaciones de factores (**T**).

En un tercer nivel de especialización de la red teórica de **GC** alcanzamos el nivel de especializaciones terminales. Si especializamos **U** aún más, obtenemos o bien un caso de dominancia completa (**UC**) (caso 1 del color del albumen de las semillas de las arvejas), o un caso de dominancia completa (**UI**) (caso 2 del color de las flores del Dondiego de la noche). Si especializamos **D** aún más, obtenemos o bien un caso de dominancia completa (**DC**) (caso 3 del color del albumen junto con la forma de las semillas de las arvejas), o el caso de herencia multifactorial (**DM**) (caso 6 de la forma de la cresta de las aves de corral). Si especializamos **T** aún más, obtenemos o bien un caso de dominancia completa (**TC**) (caso 4 del color del albumen junto con la forma de las semillas y el color de las flores de las arvejas), o un caso de características cuantitativas (**TQ**) (caso 5 del largo de la mazorca del maíz). Finalmente, también podemos especializar **L** aún más. Así, en un segundo nivel de especialización de la red teórica de **GC**, se puede considerar que sólo un par de factores está involucrado en la determinación de las características, y que hay cuatro posibles distintas combinaciones de factores (**W**). Como antes, en un tercer nivel de especialización de la red teórica de **GC** alcanzamos el nivel de especializaciones terminales. Si especializamos **W** aún más, obtenemos un caso de dominancia completa (**WC**) (caso 7 del color de las flores junto con el largo del grano del polen de las arvejas).

#### **4 Haciéndolas explícitas: las leyes y la conexión de los modelos con las teorías.**

##### **Discusión sobre la base del análisis previo**

Ahora quisiéramos discutir los asuntos de: a) la existencia de leyes en las ciencias biológicas, b) el lugar de los modelos en las teorías de la biología, y c) el poder unificador de las teorías biológicas, a la luz de los análisis llevados a cabo.

##### **4.1 Sobre la afirmación a) que hay “leyes” en las ciencias biológicas**

Es digno de mencionarse que en la literatura ha sido señalado que existen ciertos ámbitos en donde aparecen las leyes fundamentales/principios-guía –aunque quizás con otra denominación, tales como “principios básicos” o “ecuaciones fundamentales”– explícitamente formuladas en términos lingüísticos, y aun a veces de forma axiomática o cuasi-axiomática. La Segunda Ley de Newton es un ejemplo de ello, e.e. de una ley fundamental/principio-guía explícitamente formulada en términos lingüísticos, incluso de un modo axiomático desde su primera aparición pública, en la primera edición de los *Principia Mathematica Philosophia Naturalis* (NEWTON, 1687) –aun cuando se la haya

ubicado equivocadamente en el mismo nivel que los otros dos “Axiomas, o Leyes del Movimiento”: la Ley de Inercia y la Ley de Acción y Reacción.

Por otro lado, en la literatura de la filosofía de la ciencia también se ha señalado que hay otros ámbitos de la ciencia en donde no aparecen leyes fundamentales/principios-guía explícita y claramente formuladas en términos lingüísticos. Ejemplo de uno de esos ámbitos lo constituye la Biología Evolutiva y el llamado “Principio de Selección Natural”. En libros de texto de Biología –comenzando con *El origen de las especies* de Darwin– no encontramos u “observamos” ese principio formulado en toda su generalidad, abstracción y esquematización –aunque haya acuerdo acerca de que “allí hay” una ley fundamental/principio-guía y mucha discusión acerca de su correcta identificación y más conveniente formulación.<sup>12</sup>

Sin embargo, algunos filósofos de la ciencia también han señalado algunos otros ámbitos de la ciencia en donde no encontramos u “observamos” en lo absoluto nada que posea las condiciones o síntomas de las leyes fundamentales/principios-guía mencionadas en la Sección 1 y que así pueda ser plausiblemente considerado como tal. Y precisamente el campo de la Genética Clásica constituye un ejemplo de ello. Si consideramos lo que habitualmente es llamado una ley en el área de la Genética Clásica, a saber, las llamadas “Leyes de Mendel”, es fácil reconocer que ni la Ley de la Segregación (Primera Ley de Mendel) ni la Ley de la Transmisión Independiente (Segunda Ley de Mendel) son suficientemente esquemáticas y generales, no sólo para conectar todos o casi todos los términos de la teoría, sino tampoco para ser aceptadas por la comunidad de genetistas como válidas en todas las aplicaciones, con fuerza modal y como proveyendo un marco conceptual adecuado para formular todas las leyes especiales de la Genética Clásica. Estas leyes, por lo tanto, no pueden ser consideradas las leyes fundamentales de la Genética Clásica. Esto es decir que ninguna ley tal puede ser “observada” en la literatura de la Genética (KITCHER, 1984 y DARDEN, 1996).<sup>13</sup>

Concedemos que, en ocasiones, no podemos “observar” (formulaciones lingüísticas explícitas de) leyes generales (o principios-guía) en las presentaciones estándar de las

<sup>12</sup> Para una discusión y propuesta sobre este tema desde un punto de vista estructuralista, ver Ginnobili (2016) y Díez y Lorenzano (2015).

<sup>13</sup> Algo similar ha sido argumentado para otros ámbitos de la Biología, tales como la Ecología (LOCKWOOD, 2008 y IBARRA & LARRAÑAGA, 2011) y la Genética de Poblaciones (THOMPSON, 1983 y LLOYD, 1984). Para un análisis de tales ámbitos respectivos desde un punto de vista estructuralista, en la misma línea del aquí presentado de la Genética Clásica, ver Díez y Lorenzano (2017) y Lorenzano (2014).

respectivas teorías, e.e. en los distintos textos (ya sean artículos de revista, manuales o libros de texto) escritos por los científicos o profesores de ciencia.

No obstante lo cual, en este artículo hemos argumentado en favor de la existencia de una ley fundamental/principio-guía de la Genética Clásica que, aun cuando no sea explícitamente establecido en la literatura biológica, subyace implícitamente las formulaciones usuales de la teoría, sistematizándola, dándole sentido a la práctica de los genetistas y unificando los diferentes y heterogéneos modelos bajo una y la misma teoría.

En la Sección 3 hemos *explicitado* la ley fundamental/principio-guía en esta área –en contra de lo que puede ser llamado “inductivismo estrecho” o “empirismo restringido” en metaciencia.<sup>14</sup> Y es fácil de constatar que en la formulada ley fundamental/principio-guía de **GC** podemos identificar todos los criterios de las leyes fundamentales/principios-guía indicados en la Sección 1. Primero, la ley fundamental/principio-guía de **GC** puede ser vista como una ley *sinóptica* debido a que establece una conexión sustantiva entre los términos más importantes de **GC** en una “gran” fórmula. Contiene todos los términos importantes de **GC**, los **GC**-teóricos (el conjunto de factores o genes, las distribuciones de probabilidad de los factores o genes en la descendencia y las relaciones postuladas entre genes y características) y los **GC**-no-teóricos, que son más accesibles empíricamente (los individuos, el conjunto de características, la asignación de características a individuos y de descendencia a individuos paternos, y las frecuencias relativas de características observadas en la descendencia). Segundo, la ley fundamental/principio-guía de **GC** ha sido *implícitamente aceptada como válida en toda aplicación intencional de la teoría* por la respectiva comunidad de científicos, e.e. por la comunidad de genetistas que aceptan o

<sup>14</sup> Hoy en día, puede considerarse un truismo en filosofía de la ciencia que la ciencia empírica va más allá de las meras “apariencias”, de los “fenómenos”, o de los “hechos”, a fin de entenderlos mejor. La ciencia empírica postula, además, un ámbito de entidades que no son accesibles empíricamente de manera directa, sino que son aceptados *en la medida* en que también sean aceptados los marcos lingüísticos o teorías en las que ellas ocurren esencialmente (CARNAP, 1950). Así, por ejemplo, los campos eléctricos y las funciones de onda son aceptados, al menos en la medida en que las teorías electromagnética y cuántica, respectivamente, son aceptadas. Y los/las científicos/as tienen buenas razones para hacerlo así. Llamemos a esa concepción sobre la ciencia “inductivismo no estrecho” –inspirado en Hempel (1966)– o “empirismo no restringido” –inspirado en Carnap (1956)–. Los análisis (elucidaciones) de conceptos (metacientíficos), tales como *ley*, *modelo* o *teoría*, pueden ser así considerados como conformando *esquemas* (o *modelos*) *interpretativos* (o *explicativos*) –en el sentido de Hintikka (1968) dentro de la lógica epistémica, y de Stegmüller (1979) y Moulines (1991, 2002) dentro de la filosofía de la ciencia–, de carácter filosófico, que nos propone, o exhorta, a “ver el mundo” de la ciencia de cierta manera. Y un/a filósofo/a de la ciencia que usa uno de estos modelos explicativos supera el inductivismo estrecho y el empirismo restringido en el nivel metacientífico de un modo similar a como ha sido dicho, y se recomienda, para el caso del/de la científico/a. Él/ella interpreta de una manera no estrechamente inductiva ni restringidamente empirista lo que hacen los/las científicos/as: no porque no se “vean” sus “leyes fundamenta-les/principios-guía”, no “están (en algún sentido) allí”. Como dice Goodman: “Vemos lo que no habíamos visto antes y lo vemos de una manera nueva. Hemos *aprendido*” (1978, p. 173).



usan **GC**. De hecho, aceptar **GC** implica aceptar la ley fundamental/principio-guía de **GC**, en tanto que rechazar la ley fundamental/principio-guía de **GC** implica rechazar **GC**. Y, por su puesto, genetistas podrían no tener éxito en su intento de aplicar **GC** a sistemas empíricos particulares, y podrían decidir usar otra teoría, con otras leyes fundamental(es)/principio(s)-guía. Pero en la medida en que ellos trabajan con **GC**, aceptan como válida, aunque sólo sea implícitamente, la ley fundamental/principio-guía de **GC**. Tercero, la ley fundamental/principio-guía de **GC** es *altamente esquemática y general* y posee *muy poco contenido empírico* que es, considerada de manera aislada, irrefutable o “empíricamente irrestricta” (Moulines 1984) (e.e. tiene carácter “*cuasi-vacuo*”). Debido a que, si la frecuencia relativa de las características se determina empíricamente y la distribución de genes se postula teóricamente, contrastar lo que afirma la ley –a saber, que los coeficientes en la distribución de las características y de los factores/genes en la descendencia son (aproximadamente) iguales–, sin introducir restricciones adicionales de ningún tipo, consiste en una tarea “de lápiz y papel” que no involucra ningún tipo de trabajo empírico. No obstante lo cual, cuarto, como esperaríamos en el caso de cualquier ley fundamental/principio-guía, a pesar de ser irrefutable, *proporciona un marco conceptual* dentro del cual pueden ser formuladas todas las leyes especiales. Esto es, las leyes especiales, con un alto grado creciente de especificidad y con un cada vez más limitado dominio de aplicación, hasta alcanzar especializaciones “terminales” cuyas aserciones empíricas asociadas pueden ser vistas como hipótesis particulares, contrastables y, eventualmente, refutables, que posibilitan la aplicación de **GC** a sistemas empíricos particulares (su papel *sistematizador* o *unificador*). Y, quinto, la ley fundamental/principio-guía de **GC** expresa una regularidad no-accidental que es capaz de dar apoyo a enunciados contrafácticos (si se toman “junto-con-sus-especializaciones” dentro de una red teórica), aun cuando sea sensible al contexto y con un dominio de aplicación local, y que, en su sentido mínimo, en lugar de atribuir *necesidad natural*, se atribuya *necesidad de los modelos*, y, en ese sentido, debe considerarse como *necesaria en su ámbito de aplicación* (e.e. posee *fuerza modal*). Esto significa que, cuando la red teórica de **CG** contiene una aplicación con *s* como la especialización relevante de la ley fundamental/principio-guía de **GC** e *i* como el sistema empírico/aplicación, entonces, dadas las constricciones que la especialización *s* determina en el nivel **GC**-no-teórico, cierto modelo de datos *debería* ser obtenido para el sistema empírico *i* al cual se intenta aplicar la red teórica de **GC**, e.e. el sistema empírico *i* al cual se intenta aplicar la red teórica de **GC** *debería* comportarse de

cierta manera –representado por el modelo de datos correspondiente. Recordando que toda especialización presupone todo lo que está “arriba” suyo en la rama correspondiente de la red teórica de **GC**, en particular la ley fundamental/ principio-guía, el contrafáctico “si *s* fuera el caso, entonces *i* (e.e. su correspondiente modelo de datos) sería el caso” es verdadero de acuerdo con la red teórica de **GC**. Por otro lado, es fácil de constatar que las llamadas “Leyes de Mendel” debieran ser consideradas *leyes especiales* de **GC**.

#### **4.2 Sobre la afirmación b) que muchos de los diferentes y heterogéneos “modelos” de la biología pueden ser acomodados bajo alguna “teoría”**

Supongamos que no se visualiza palmariamente una teoría (en el sentido estructuralista de red teórica) y, no obstante lo cual, se identifican claramente ciertas “leyes” o “ecuaciones”, pero que no pudieran ser tomadas por leyes fundamentales/principios-guía o “modelos” *de una teoría*; antes bien, ellos se consideran “autónomos” respecto de las “teorías” y no llegan a abarcar todo el supuesto campo de aplicación del ámbito correspondiente.

Esta situación pudiera presentarse frente a las dos siguientes circunstancias distintas:

La primera ocurre cuando esas leyes, ecuaciones o modelos son, *en efecto, leyes, o ecuaciones, aisladas, o modelos aislados*. Esta circunstancia puede presentarse tanto *sincrónica* como *diacrónicamente*. Ambas situaciones son “enteramente compatibles” con el Estructuralismo Metateórico.

De hecho, en la literatura estructuralista (BALZER, 1996) se menciona a la ley de los gases ideales y a la ley de Ohm como casos de leyes aisladas. Aun cuando ellas no sean parte de redes teóricas, son perfectamente conceptualizables en términos estructuralistas, a saber, como teorías que pueden ser efectivamente reconstruidas como *un solo elemento teórico* (ver Fig. 5).

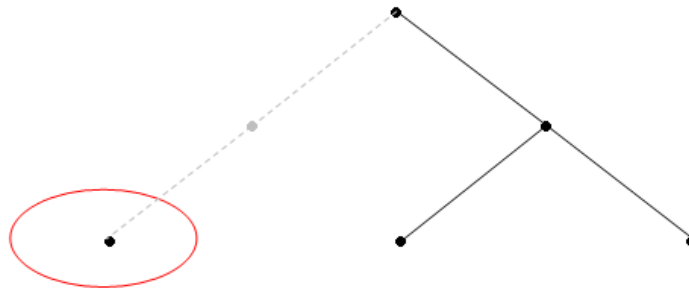


**Figura 5.**

Por otro lado, este “aislamiento” de los elementos teóricos, en la terminología estructuralista (o “autonomía” de los “modelos”, en la terminología de las concepciones

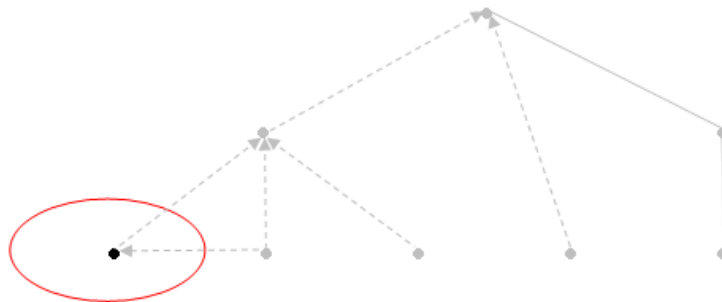
modelísticas), puede no sólo constatarse sistemática y sincrónicamente, sino que también puede permanecer invariable diacrónicamente o no.

Si se diera lo último, podría tratarse de casos en donde “una ley está en busca de una ley fundamental/principio-guía, de la cual devenga ley especial” o, en otros términos, en donde “un modelo está en busca de su teoría (e.e. su red teórica) a la que incorporarse” (ver Fig. 6).



**Figura 6.**

O podría ser un caso de “una ley, o un modelo, a partir de la/del cual –junto con muchas otras cosas– se desarrolla (y, finalmente, termina consolidando o cristalizando) una teoría (e.e. una red teórica)” (ver Fig. 7).



**Figura 7.**

Y si bien esto sólo puede llegar a determinarse retrospectivamente, todas estas circunstancias, ya sea una ley aislada (o modelo aislado), y que así permanezca, o una ley aislada (o modelo aislado) o incipiente, y que luego se incorpore en una teoría o a partir de la/del cual se desarrolle y termine cristalizando una teoría (red teórica), serían susceptibles de ser representados por la metateoría estructuralista, mediante su conceptualización como *un* elemento teórico aislado (la noción más simple y pequeña de teoría) o como su

*incorporación* (o reducción, exacta o aproximada) a una red teórica (en tanto especialización) o como formando parte de un proceso de *cristalización*, respectivamente.<sup>15</sup>

Otra circunstancia ocurre cuando las *leyes* o *modelos*, a pesar de su apariencia de “autonomía” respecto de “teorías” y de cualesquiera ley fundamental/principio-guía, en realidad *no son autónomos*, en un sentido precisable del siguiente modo: estaríamos frente a los casos antes mencionados de ser leyes o modelos que serían casos especiales de leyes fundamentales/principios-guía que no se “observan” en su mayor generalidad y esquematismo, pero que, aceptándose o no su existencia de modo usual, “están allí”, siendo susceptibles de ser explicitadas. Como ya fue argumentado antes, los modelos (leyes) realmente diferentes y heterogéneos de la Genética Clásica pueden ser acomodados bajo una teoría, e.e. bajo una red teórica. A pesar de las diferencias y heterogeneidad de los modelos presentados en la Sección 2, todos ellos pueden ser ubicados en la red teórica de la Genética Clásica.

### **4.3 Sobre la afirmación c) acerca del poder unificador de las teorías biológicas**

Como ya fue dicho antes, lo que todos los modelos de la Genética Clásica comparten es la apelación a la *misma* teoría, e.e. a la *misma* red teórica. Tales modelos pueden diferir sustancialmente en cuanto a su forma. De hecho, las leyes que se obtienen por especialización a partir de la ley fundamental/principio-guía no conservan la forma lógica o matemática.

La red teórica de la Genética Clásica surge de la especificación recibida de los conceptos de factores/genes, de distribución de los factores/genes parentales en la descendencia y de la relación en que se encuentran los factores/genes con las características. En cada caso específico, a fin de dar cuenta de las distribuciones específicas de las características parentales en la descendencia, debieran ser investigados tipos y números específicos de factores/genes, modos específicos de distribución de los factores/genes parentales en la descendencia y modos específicos en que se relacionan los factores/genes con las características. Las diferentes maneras en que puede aplicarse la Genética Clásica son establecidas por las diferentes leyes especiales de la teoría.

---

<sup>15</sup> Para un tratamiento sistemático de este concepto metacientífico menos conocido, ver Moulines (2011 y 2014).

Las interrelaciones entre los diferentes elementos teóricos posibilitan verlos como partes de “algo unitario”. En otras palabras: la relación de especialización y de red teórica parece un garante de cohesión más adecuado, y permite entender mejor en qué consiste la valiosa unificación de las teorías *bona fide* científicas.

El poder unificador de una teoría depende no sólo del *número* de aplicaciones exitosas/modelos, sino también (y más prominentemente) por la heterogeneidad del *tipo* de tales aplicaciones exitosas/modelos. Por lo tanto, la evaluación de la capacidad unificadora de una teoría debe tomar en cuenta la heterogeneidad de casos a los que se aplica, mediante la heterogeneidad de las distintas especializaciones, de las distintas especificaciones que reciben los conceptos de la teoría. La Genética Clásica se aplica a una heterogeneidad de casos –del nivel “empírico”/no-teórico de **GC**– gracias al modo heterogéneo en que se especifican los conceptos –del nivel teórico de **GC**– de factores/genes, de distribución de los factores/genes parentales en la descendencia y de relación de los factores/genes con las características. La razón por la cual es unificadora la Genética Clásica es porque constituye una colección de elementos teóricos que tratan con diferentes tipos de casos subsumiéndolos o incrustándolos en alguna línea de especialización de su red teórica, la cual es el “desarrollo multidireccional” de una ley fundamental/principio-guía común.

### **A modo de conclusión**

En este artículo, primero se presentó un análisis unificado de los conceptos de ley, modelo y teoría y luego se lo aplicó a la Genética Clásica. En esta área fueron identificadas y explicitadas una ley fundamental/principio-guía y leyes especiales, así como también su red teórica. Finalmente, fueron extraídas las consecuencias del análisis en favor de las ideas de que hay “leyes” en Biología (especiales y leyes fundamentales/principios-guía en donde ha sido identificada una red teórica), que muchos de los heterogéneos y diferentes modelos de la biología pueden ser acomodados bajo alguna “teoría” (en caso de que haya sido identificada una red teórica) y que las redes teóricas en la Biología poseen poder unificador.

Lo que un acercamiento al tema del poder unificador de la ciencia debe lograr no es sólo mostrar cómo se incorporan más casos de los ya conocidos, sino más bien la asociación en un mismo marco de parcelas del mundo diferentes. Allí es, insistimos, donde reside el verdadero poder unificador de las teorías. Y el Estructuralismo Metateórico, con su noción de red teórica, es la perspectiva que más claramente representa tanto las

diferentes aplicaciones exitosas/modelos de la teoría como lo que todas ellas tienen en común.

Así como la capacidad unificadora cuenta como virtud epistémica a la hora de escoger entre teorías en conflicto, la competencia para elucidar precisamente ese mérito bien puede contar a su vez como criterio virtuoso de selección de enfoques metacientíficos de tales teorías. Algo similar puede ser dicho acerca del poder unificador de la concepción metateórica. Y el Estructuralismo Metateórico ha mostrado su poder unificador con el análisis (elucidación) unificado de los conceptos (metacientíficos) de ley, modelo y teoría aquí presentado.

En cualquier caso, tal análisis nos propone o exhorta a “ver el mundo” de la ciencia de cierta manera. Con el presente trabajo, esperamos haber contribuido a la plausibilidad de tal manera de ver el mundo de la ciencia y a animar a otros filósofos de la ciencia a hacer lo mismo.

## REFERENCIAS

- ACHINSTEIN, P. **Concepts of Science**. Baltimore: Johns Hopkins Press, 1968.
- ARIZA, Y.; LORENZANO, P. & A. ADÚRIZ-BRAVO. Meta-Theoretical Contributions to the Constitution of a Model-Based Didactics of Science. **Science & Education**, v. 25, n. 7, p. 747-773, 2016.
- BALZER, W. Theoretical Terms: Recent Developments. In BALZER, W. & C. U. MOULINES (Eds.). **Structuralist Theory of Science**. Focal Issues, New Results. Berlin: de Gruyter, 1996, pp. 139-166.
- BALZER, W. & P. LORENZANO. The Logical Structure of Classical Genetics. **Zeitschrift für allgemeine Wissenschaftstheorie**, v. 31, v. 2, p. 243-266, 2000.
- BALZER, W.; MOULINES, C. U. & J. D. SNEED. **An architectonic for science. The structuralist program**. Dordrecht: Reidel, 1987.
- BLACK, M. **Models and Metaphors**. Ithaca, NY: Cornell University Press, 1962.
- BRAITHWAITE, R. B. **Scientific Explanation**. New York: Cambridge University Press, 1953.
- CARNAP, R. **Foundations of Logic and Mathematics**. Chicago: University of Chicago Press, 1939.
- \_\_\_\_\_. Empiricism, Semantics and Ontology. **Revue Internationale de Philosophie**, v. 4, n. 11, p. 20-40, 1950.

\_\_\_\_\_. The Methodological Character of Theoretical Concepts. In FEIGL, H. & M. SCRIVEN (Eds.). **Minnesota Studies in the Philosophy of Science**, vol. 1. Minneapolis: University of Minnesota Press, 1956, pp. 37-76.

CARTWRIGHT, N. **How the Laws of Physics Lie**. Oxford: Oxford University Press, 1983.

\_\_\_\_\_. No God; No Laws. In SINDONI, E. & S. MORIGGI (Eds.). **Dio, la Natura e la Legge, God and the Laws of Nature**. Milan: Angelicum-Mondo X, 2005, pp. 183-190.

\_\_\_\_\_. Reply to Ulrich Gähde. In BOVENS, L.; HOEFER, C. & S. HARTMANN (Eds.). **Nancy Cartwright's Philosophy of Science**. New York: Routledge, 2008, pp. 65-66.

CARTWRIGHT, N.; SHOMAR, T. & M. SUÁREZ (1995). The Tool Box of Science: Tools for Building of Models with a Superconductivity Example. In HERFEL, W. E. *et al.* (Eds.). **Theories and Models in Scientific Processes**. Amsterdam: Rodopi, 1995, pp. 27-36.

DARDEN, L. Generalizations in Biology. Essay Review of Kenneth F. Schaffner, *Discovery and Explanations in Biology and Medicine*. **Studies in History and Philosophy of Science**, v. 27, n. 3, p. 409-419, 1996.

DÍAZ, M. & P. LORENZANO. La red teórica de la dinámica de poblaciones. **Scientiae Studia**, v. 15, n. 2, p. 307-342, 2017.

DÍEZ, J. A. & P. LORENZANO. Who Got What Wrong? Sober and F&PP on Darwin: Guiding Principles and Explanatory Models in Natural Selection. **Erkenntnis**, v. 78, n. 5, p. 1143-1175, 2013.

\_\_\_\_\_. Are Natural Selection Explanatory Models A Priori? **Biology & Philosophy**, v. 30, n. 6, p. 787-809, 2015.

GIERE, R. N. The Skeptical Perspective: Science without Laws of Nature. In WEINERT, F. (Ed.). **Laws of Nature**. Essays on the Philosophical, Scientific and Historical Dimensions. Berlin: de Gruyter, 1995, pp. 120-138.

GINNOBILI, S. Missing Concepts in Natural Selection Theory Reconstructions. **History and Philosophy of the Life Sciences**, v. 38, n. 3, 2016. <https://doi.org/10.1007/s40656-016-0109-y>.

GOODMAN, N. **Of Mind and Other Matters**. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1984.

HANSON, N. R. **Patterns of Discovery**. Cambridge: Cambridge University Press, 1958.

HARRÉ, R. **The Principles of Scientific Thinking**. London: Macmillan, 1979.

HEMPEL, C. G. **Philosophy of Natural Science**. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1966.

HESSE, M. **Models and Analogies in Science**. Notre Dame: University of Notre Dame Press, 1966.

HINTIKKA, J. Epistemic Logic and the Methods of Philosophical Analysis. **Australasian Journal of Philosophy**, v. 46, n. 1, p. 37-51, 1968.

IBARRA, A. & J. LARRAÑAGA, J. De las redes teóricas a las constelaciones de elementos teóricos: las prácticas científicas en la Ecología de Poblaciones. **Metatheoria**, v. 1, n. 2, p. 167-193, 2011.

KITCHER, P. 1953 and All That: A Tale of Two Sciences. **The Philosophical Review**, v. 93, n. 3, p. 335-373, 1984.

KUHN, T. S. (1962). **The Structure of Scientific Revolutions**. Chicago: University of Chicago Press, 1962.

\_\_\_\_\_. Postscript–1969. In KUHN, T. S. **The Structure of Scientific Revolutions**, 2 ed. Chicago: University of Chicago Press, 1970a, pp. 174-210.

\_\_\_\_\_. Reflections on my Critics. In LAKATOS, I. & A. MUSGRAVE (Eds.). **Criticism and the Growth of Knowledge**. Cambridge: Cambridge University Press, 1970b, pp. 231-278.

\_\_\_\_\_. Second Thoughts on Paradigms, y Discussion [on Second Thoughts on Paradigms, and other papers of the conference]. In SUPPE, F. (Ed.). **The Structure of Scientific Theories**. Urbana, Ill.: University of Illinois Press, 1974, pp. 459-482, 500-517.

\_\_\_\_\_. **The Essential Tension**. Selected Studies in Scientific Tradition and Change. Chicago: University of Chicago Press, 1977.

LAKATOS, I. (1970). Falsification and the Methodology of Scientific Research Programmes. In LAKATOS, I. & A. MUSGRAVE (Eds.). **Criticism and the Growth of Knowledge**. Proceedings of the International Colloquium in the Philosophy of Science, London, 1965. Cambridge: Cambridge University Press, 1970, pp. 91-195.

\_\_\_\_\_. History of Science and Its Rational Reconstructions. In BUCK, R. C. & R. S. COHEN (Eds.). **PSA 1970, Boston Studies in the Philosophy of Science**, vol. 8. Dordrecht: Reidel, 1971, pp. 174-182.

LAUDAN, L. **Progress and Its Problems**. Berkeley: University of California Press, 1977.

LLOYD, E. A Semantic Approach to the Structure of Population Genetics. **Philosophy of Science**, v. 51, n. 2, p. 242-264, 1984.

LOCKWOOD, D. R. When Logic Fails Ecology. **The Quarterly Review of Biology**, v. 83, n. 1, p. 57-64, 2008.

LORENZANO, P. **Geschichte und Struktur der klassischen Genetik**. Frankfurt am Main: Peter Lang, 1995.



\_\_\_\_\_. Classical Genetics and the Theory-Net of Genetics. In BALZER, W.; MOULINES, C. U. & J. D. SNEED (Eds.). **Structuralist Knowledge Representation**. Paradigmatic Examples. Amsterdam: Rodopi, 2000, pp. 251-284.

\_\_\_\_\_. La teoría del gen y la red teórica de la genética. In DÍEZ, J. A. & P. LORENZANO (Eds.). **Desarrollos actuales de la metateoría estructuralista**. problemas y discusiones. Bernal: Universidad Nacional de Quilmes/Universidad Autónoma de Zacatecas/Universidad Rovira i Virgili, 2002, pp. 285-330.

\_\_\_\_\_. The Semantic Conception and the Structuralist View of Theories: A Critique of Suppe's Criticisms. **Studies in History and Philosophy of Science**, v. 44, n. 4, p. 600-607, 2013.

\_\_\_\_\_. What is the Status of the Hardy-Weinberg Law within Population Genetics? In GALAVOTTI, M. C.; NEMETH, E. & F. STADLER (eds.). **European Philosophy of Science – Philosophy of Science in Europe and the Viennese Heritage**, Vienna Circle Institute Yearbook 17. Dordrecht: Springer, 2014, pp. 159-172.

\_\_\_\_\_. Principios-guía y leyes fundamentales en la metateoría estructuralista. **Cuadernos del Sur**, v. 43-44, p. 35-74, 2014-2015.

MORGAN, T. H. **The Theory of Gene**. New Haven: Yale University Press, 1926.

MORGAN, T. H. *at al.* **The Mechanism of Mendelian Heredity**. New York: Henry Holt and Company, 1915.

MORRISON, M. Modelling Nature: Between Physics and the Physical World. **Philosophia Naturalis**, v. 35, n. 1, p. 65-85, 1998.

\_\_\_\_\_. Models and Autonomous Agents. In MORGAN, M. & M. MORRISON (Eds.). **Models as Mediators**. Cambridge: Cambridge University Press, 1999, pp. 38-65.

MOULINES, C. U. Existential Quantifiers and Guiding Principles in Physical Theories. In GRACIA, J. J. E. *et al.* (Eds.). **Philosophical Analysis in Latin America**. Dordrecht: Reidel, 1984, pp. 173-198.

\_\_\_\_\_. **Pluralidad y recursión**. Madrid: Alianza, 1991.

\_\_\_\_\_. Introduction: Structuralism as a Program for Modelling Theoretical Science. **Synthese**, v. 130, n. 1 p. 1-11, 2002.

\_\_\_\_\_. **Die Entwicklung der modernen Wissenschaftstheorie (1890-2000)**. Eine historische Einführung. Hamburg: LIT-Verlag, 2008.

\_\_\_\_\_. Intertheoretical Relations and the Dynamics of Science. **Erkenntnis**, v. 79, n. 8 Supplement, p. 1505-1519, 2014.

NAGEL, E. **The Structure of Science**. New York: Harcourt, Brace & World, 1961.

NEWTON, I. **Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica**. London: S. Pepys, 1687.

SALMON, W. C. Four Decades of Scientific Explanation. In KITCHER, P. & W. SALMON (Eds.). **Scientific Explanation, Minnesota Studies in the Philosophy of Science**, vol. 13. Minneapolis: University of Minnesota Press, 1989, pp. 3-219.

SCRIVEN, M. The Key Property of Physical Laws – Inaccuracy. In Feigl, H. & G. Maxwell (Eds.). **Current Issues in the Philosophy of Science**. New York: Holt Rinehart and Winston, 1959, pp. 91-104.

SINNOTT, E. W. & L. C. Dunn. **Principles of Genetics: An Elementary Text, with Problems**. New York: McGraw-Hill, 1925.

\_\_\_\_\_. **Principles of Genetics: An Elementary Text, with Problems**. 3 ed. New York: McGraw-Hill, 1939.

STEGMÜLLER, W. A Combined Approach to the Dynamics of Theories. In RADNITZKY, G. & G. ANDERSSON (Eds.). **The Structure and Development of Science**. Dordrecht: Reidel, 1979, pp. 151-186.

\_\_\_\_\_. **Erklärung–Begründung–Kausalität**. 2<sup>nd</sup> extended and modified ed. Berlin/Heidelberg/New York: Springer, 1983.

\_\_\_\_\_. **Die Entwicklung des neuen Strukturalismus seit 1973**. Berlin-Heidelberg: Springer, 1986.

SUÁREZ, M. & N. CARTWRIGHT. Theories: Tools versus Models. **Studies in History and Philosophy of Modern Physics**, v. 39, n. 1, p. 62-81, 2008.

THOMPSON, P. The Structure of Evolutionary Theory: A Semantic Approach. **Studies in History and Philosophy of Science**, v. 14, n. 3, p. 215-229, 1983.

TOULMIN, S. **Foresight and Understanding**. London: Hutchinson & Co., 1961.

VAN FRAASSEN, B. **Laws and Symmetry**. Oxford: Clarendon Press/Oxford University Press, 1989.

VERHULST, P. Recherches mathématiques sur la loi d'accroissement de la population. **Nouveaux Mémoires de l'Académie Royale des Sciences, des Lettres et des Beaux-Arts de Belgique**, v. 18, p. 1-42, 1845.

VOLTERRA, V. Variazioni e fluttuazioni del numero d'individui in specie animali conviventi. **Memorie della Reale Accademia Nazionale dei Lincei**, v. 2, p. 31-113, 1926.

WEINERT, F. Laws of Nature – Laws of Science. In WEINERT, F. (Ed.). **Laws of Nature**. Essays on the Philosophical, Scientific and Historical Dimensions. Berlin: de Gruyter, 1995, pp. 3-64.

WITTGENSTEIN, L. **Philosophische Untersuchungen/Philosophical Investigations**. Oxford: Basil Blackwell, 1953.