

EPISTEMOLOGÍA E HISTORIA DE LA CIENCIA

SELECCIÓN DE TRABAJOS DE LAS XVII JORNADAS
VOLUMEN 13 (2007)

Pío García
Luis Salvatico
Editores



ÁREA LOGICO-EPISTEMOLÓGICA DE LA ESCUELA DE FILOSOFÍA
CENTRO DE INVESTIGACIONES DE LA FACULTAD DE FILOSOFÍA Y HUMANIDADES
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons atribución NoComercial-SinDerivadas 2.5 Argentina



Leyes universales en ciencias

*Oswaldo M. Moreschi**

1. Introducción

Un concepto fundamental en la estructura del conocimiento científico, es el de la *explicación* de los fenómenos u observaciones de la realidad. Las explicaciones se dan normalmente en término de leyes. Las leyes que nos interesan son aquellas de aplicación universal; o sea, que no tienen excepciones de ninguna clase.

Esto obviamente está relacionado con la pregunta: ¿cómo se caracterizan las leyes universales?

Una postura escéptica podría plantear que como no tenemos ahora una teoría completa que englobe todos los aspectos de la realidad, y por lo tanto cada marco teórico tiene una aplicación limitada; se debe concluir que no conocemos nada con certeza.

Nosotros adoptaremos la actitud pragmática del científico que descubre y usa leyes de la naturaleza.

Cuando se dice que las leyes explican las observaciones, se debe aclarar que tienen un poder descriptivo de la dinámica del sistema bajo estudio, tan completa como el marco teórico permita. Intentamos de esta manera separar la noción de *explicación* de la de *entendimiento*. Queremos significar la posibilidad de una situación en que uno posea leyes que expliquen un determinado conjunto de sistema; aunque no se entienda bien la formulación de la teoría correspondiente, ni todas sus implicaciones. Un ejemplo de lo que tenemos en mente son las leyes de la mecánica cuántica.

Proponemos una selección de las leyes generales que se han aprendido en ciencias; pero nos concentraremos en las leyes del ámbito de la física. Uno de los objetivos de esta presentación, es plantear el tema y someter a la comunidad la discusión de aquellas leyes que deben o no estar en una lista con estas pretensiones.

Probablemente sea conveniente explicitar algunas de las motivaciones que llevaron a este trabajo, para entender parte de la naturaleza del mismo. El autor tiene la convicción que científicos interesados en aspectos fundamentales de la ciencia y filósofos interesados en aspectos científicos, tienen una natural región de interacción interdisciplinaria en temas relacionados a epistemología y filosofía de la ciencias. Con este convencimiento, es que el autor se acerca a las *Jornadas de Epistemología e Historia de la Ciencia*. Además de encontrar interacciones fructíferas y enriquecedoras, el autor en un evento pasado, detectó una perspectiva muy distinta de lo que él entendía por conocimiento científico en término de leyes de la naturaleza. Al buscar un poco en la literatura filosófica sobre el tema, encontró innumerables acepciones de un vocabulario muy extenso. Ante el objetivo de hacer una contribución, en un espacio muy limitado, sobre el tema de leyes universales, y ante la dificultad antes planteada, el autor decidió realizar la presentación en base a los términos usados por un científico. Lo que

* FaMAF, UNC/CONICET. moreschi@fis.uncor.edu

sigue es pues una creación del autor, formado en física, con el lenguaje de un científico y con la intención de llegar, en una extensión muy limitada de texto, a formular un conjunto de leyes, que a juicio del autor deberían ser incluidas dentro del conocimiento científico alcanzado al presente. Esperamos despertar el interés de la comunidad filosófica, en este tema, tal vez generando críticas y análisis, en término del lenguaje filosófico, de nuestra presentación. Otros lectores que deseen una primera aproximación filosófica a estos temas pueden referirse al trabajo [Kli99].

El autor no conoce de otro trabajo donde se enuncien explícitamente las leyes universales; por lo que se ve imposibilitado de comparación con trabajos previos similares. En particular no conoce caracterizaciones con el objetivo específico de un enunciado explícito del conjunto de leyes universales.

2. Características de las leyes universales

Es conveniente tener una descripción de lo que caracteriza a las leyes universales. Requeriremos las siguientes propiedades para una ley universal:

- Debe explicar o al menos restringir el comportamiento de procesos u observaciones de la realidad.
- Se debe poder contrastar con la realidad.
- No puede haber observaciones repetibles que contradigan la ley.
- Debe tener alcance generalizado. Esto es, no se admite que sólo tenga validez en una región limitada del espacio o en una época temporal limitada.

3. Conceptos fundamentales

Es conveniente distinguir entre dos rangos de dimensiones que llamaremos *microscópico* y *macroscópico*; para designar tamaños muy pequeños y el resto de los tamaños, respectivamente. Especificaremos más estos conceptos en lo que sigue.

Las observaciones de sistemas caracterizados por tamaños macroscópicos son descriptos eficientemente en término de su evolución temporal en un espacio de tres dimensiones.

Así aparecen como conceptos fundamentales de cualquier descripción la noción de *tiempo* unidimensional y *espacio* tridimensional.

Gran parte de las leyes universales se refieren a sistemas que son bien descriptos en término de conceptos macroscópicos. Al intentar describir el movimiento de objetos se conduce a la noción de velocidad. Esto requiere naturalmente que el espacio tridimensional tenga una *estructura diferencial* y *métrica*. El espacio tridimensional más sencillo con esta estructura es el espacio euclídeo de tres dimensiones. Este espacio se usó en la construcción de los primeros marcos teóricos de la física; esto es, la física galileana y la física newtoniana.

4. Ley de causalidad

En otras ocasiones [Mor00a, Mor01] nos hemos concentrado en la importancia y generalidad de la *ley de causalidad*; en esta ocasión abordaremos el tema desde otro punto de vista.

Cuando uno emprende la tarea de intentar explicar la realidad por medio de una estructura económica de pensamientos codificada en término de leyes; se comienza tácitamente con una especie de meta-estructura en la que se asume que es posible, por medio del empleo de lenguajes formales, describir la realidad. Como se mencionó anteriormente, la tarea de describir la realidad

usualmente pretende alcanzar una descripción adecuada de la evolución temporal de los sistemas bajo estudio.

En cada marco teórico hay una específica noción de tiempo. Imaginemos una situación real que es exitosamente descrita por un marco teórico con una específica noción de tiempo.

P 4.1 (Meta-postulado) *La tarea de describir la evolución temporal implica que dada información a un tiempo inicial t_i , se pretende describir los estados correspondientes del sistema en otro tiempo posterior t_f con $t_i < t_f$.*

La ley de causalidad se la puede formular genéricamente de la siguiente manera:

L 1 (Ley de causalidad) *Los estados al tiempo t_f sólo pueden depender de la información de los sistemas involucrados a tiempos anteriores $t < t_f$.*

Así presentada, la ley de causalidad es un requerimiento indispensable en un Universo que pueda ser descrito en término de leyes generales.

Se podría decir que, o bien el Universo es caótico desprovisto de la estructura de leyes generales; o bien es regido por leyes y por lo tanto debe ser causal.

Este argumento se puede complicar aun más, pues uno podría concebir la posibilidad de que el Universo fuese localmente causal pero no globalmente. Pero un análisis de violaciones globales a la ley de causalidad, nos muestra que sería imposible satisfacer en estos Universos el Meta-postulado 4.1.

Esto indica que no pueden ser admitidas ninguna clase de violaciones a la ley de causalidad. En otras palabras, la ley de causalidad es la ley Universal fundamental.

Alternativamente, alguien podría argumentar que la ley de causalidad no es necesaria, pues como asumimos que el Universo no es caótico, sólo es necesario encontrar las leyes específicas de la dinámica que se necesite. Interpreto que esto estaba implícito en la ideas de Eduardo Flichmann. Sin embargo, si olvidamos la validez de la ley de causalidad, esto nos puede ocasionar severas confusiones y pérdidas de tiempo, en la tarea de intentar describir la realidad.

Un aspecto que vale la pena enfatizar es que la ley de causalidad tiene validez independientemente del detalle del marco teórico que se emplee. En este sentido se podría decir que la ley de causalidad es la más universal de las leyes universales.

5. Leyes generales y los marcos teóricos

En ocasiones se suele distinguir entre leyes de la naturaleza y leyes científicas; para tomar en cuenta que en general las leyes científicas están formuladas dentro de un marco teórico, el cual puede tener una aplicabilidad limitada. Luego, si los marcos teóricos tienen validez limitada, se deduce que las leyes dentro de dicho marco serían aproximaciones a una realidad que no se describe completamente. En contraposición, las leyes de la naturaleza se referirían a leyes exactas. Nosotros no entraremos en esta distinción, pues las leyes que nos interesan asumimos describen aspectos de la realidad, que pueden tomar distinta representación, dependiendo del marco teórico que se emplee; lo que no contradice su realidad.

Nuestra intención es aportar en el entendimiento presente del conocimiento científico; y por lo tanto intentamos tomar una actitud científica.

En la formulación de los marcos teóricos se suele asumir la existencia de constantes universales. En ocasiones, estas constantes son consideradas variables en teorías más generales; pero esto no invalida su uso. En particular, existen tres constantes en el ámbito de la física que se

pueden considerar al presente constantes universales. Ellas son, la velocidad máxima de las interacciones [c], la constante de Planck [h] y la constante de la gravitación [G]. Estas tres constantes nos permite clasificar los marcos teóricos de la física; quedando la física estadística como un paradigma adicional a cada uno de ellos.

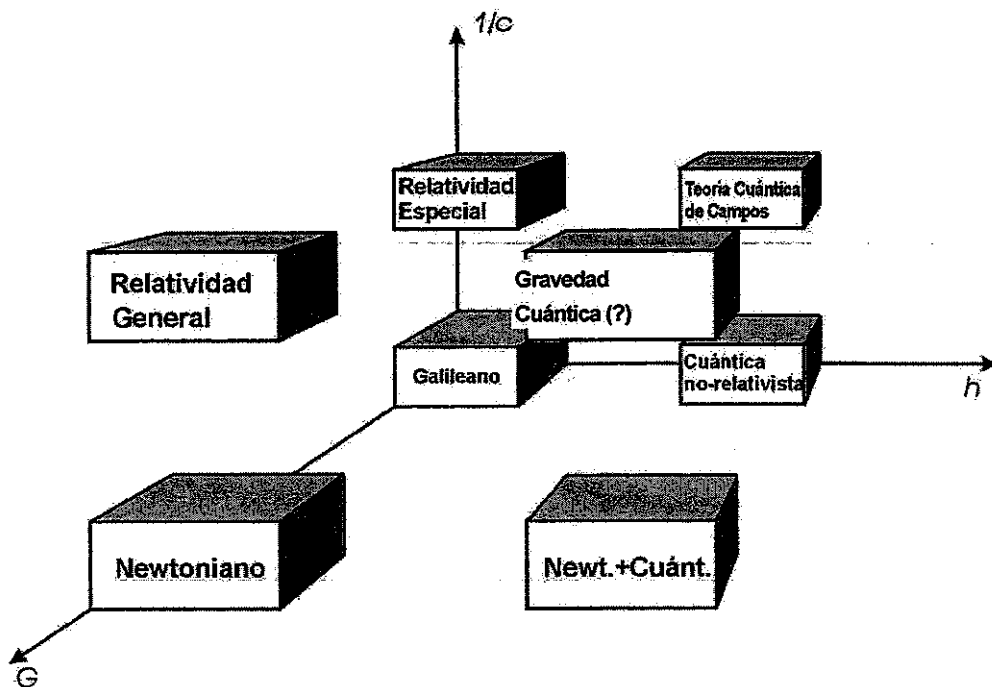


Figura 1: Marcos teóricos de la física y su relación con las constantes universales.

En otra oportunidad hemos [Mor00b] señalado una manera gráfica de representar los marcos teóricos de la física en término de las constantes universales como se muestra en el gráfico 1.

Dejaremos como leyes tácitas en lo que sigue; afirmaciones como: el espaciotiempo tiene cuatro dimensiones, el espacio tiene tres dimensiones, etc. Algunas de estas leyes tácitas han sido caracterizadas como axiomas en otros trabajos [Bun67].

6. Leyes en el marco teórico de la física galileana y de la física newtoniana

Se presenta como conveniente fijar parte de la estructura básica en término de principios. Así es que usualmente se introduce el *Principio de existencia de los sistemas inerciales* y el *Principio de la relatividad entre sistemas inerciales* [Mor00b]. Esto permite tener un marco de referencia preferencial para enunciar las leyes de la dinámica.

Dentro del marco teórico de la física newtoniana se pueden remarcar dos leyes universales. Una caracteriza la forma de la ecuación de movimiento de partículas.

L 2 (Principio de determinación de la mecánica de partículas) *El estado mecánico de un sistema queda determinado por el valor de las posiciones y velocidades de sus partículas en un determinado tiempo. O sea, con esta información es posible predecir su ulterior movimiento.*

Otra determina las interacciones gravitatorias. Dado un conjunto de n partículas con masas m_i , $i = 1, \dots, n$:

L 3 (Ley de la gravitación de Newton). *La ecuación de movimiento para la partícula i es*

$$(I) \quad m_i \frac{d^2 \vec{X}_i}{dt^2} = G \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \frac{m_j m_i (\vec{X}_j - \vec{X}_i)}{|\vec{X}_j - \vec{X}_i|^3}, \quad \text{V-U}$$

donde G es la constante de Newton.

Al elaborar sobre estos marcos teóricos, se puede probar diversos teoremas. Por ejemplo, en un sistema aislado se puede probar que: la energía se conserva, el momento total se conserva, el momento angular total se conserva y que el centro de masa se mueve a velocidad constante sobre una línea recta.

7. Leyes en el marco teórico de la física relativista

El marco teórico de la física relativista emplea los principios galileanos para su estructura; pero se le agrega una ley universal.

L 4 (Ley de velocidad máxima) *Existe una velocidad finita máxima para la velocidad de propagación de las interacciones.*

Es natural en principio asumir que la velocidad finita máxima puede ser distinta en los distintos sistemas inerciales; pero es posible probar [Mor00b] que la velocidad máxima debe ser la misma en todos los sistemas inerciales.

Esta no es la manera en que inicialmente la relatividad especial fue formulada [Ein52]; sin embargo esta formulación es más clara en término de la distinción con el marco teórico de la física newtoniana.

El correspondiente principio de determinación se podría enunciar de la siguiente manera.

L 5 (Principio de determinación de la física relativista) *El estado de un sistema queda determinado por el valor de las posiciones y velocidades de sus partículas en un determinado tiempo y de los valores de los campos a un dado tiempo. O sea, con esta información es posible predecir su ulterior desarrollo.*

Esta formulación es aplicable al caso de los sistemas electromagnéticos; sin embargo se debe señalar que es posible elegir variables de campos de tal forma que se necesite la información de las derivadas temporales de los campos al tiempo inicial. Esto es lo que sucede cuando se trabaja en término de potenciales de campo; en vez de usar los campos físicos.

Cuando se hace referencia al término 'tiempo' en la ley anterior, se debe entender en general 'hipersuperficie temporal'. Intentamos hacer un balance de no entrar en las formulaciones de las leyes en cuestiones técnicas que nos apartarían de los objetivos que tenemos en este trabajo.

Para el caso de los sistemas electromagnéticos podemos formular la siguiente ley dinámica.

L 6 (Dinámica de los sistemas electromagnéticos) *Los campos electromagnéticos se rigen por las ecuaciones de Maxwell. La materia cargada, se rige por la fuerza de Lorentz.*

8. Leyes en el marco teórico de la relatividad general

El marco teórico de la relatividad general se basa en el principio de existencia local de los sistemas inerciales [Mor00b]. Esto conduce a que el espaciotiempo tiene una estructura lorentziana con posible curvatura.

La nueva ley que aparece en este marco teórico es el llamado principio de equivalencia.

L 7 (Principio de equivalencia) *No se puede distinguir por medio de observaciones locales entre un sistema de referencia en presencia de un campo gravitatorio y un sistema de referencia que está apropiadamente acelerado con respecto a un sistema inercial local.*

Las definiciones de los términos están en la referencia [Mor00b].

9. Leyes en el marco teórico de la cuántica no relativista

La llamada mecánica cuántica es el marco teórico no relativista empleado para describir la dinámica de sistemas microscópicos como por ejemplo átomos.

Al adentrarnos en el ámbito de la física microscópica aparecen diversos aspectos que rara vez se los presenta en forma de leyes; pero nosotros no deberíamos obviarlos en nuestra tarea. Es así que enunciamos:

L 8 (Ley de cuantización de la materia) *La materia, en el nivel microscópico, está compuesta por partículas con características, como masa, carga eléctrica, espín, etc.*

Algunas de estas partículas se presentan como elementales (como el electrón), mientras que otras muestran estructura (como el protón y el neutrón).

El estado de las partículas ya no se representa en término de posición y velocidades. En vez, se tiene:

L 9 (Representación de los estados de partículas) *El estado de las partículas se representa por un apropiado campo.*

Este campo se lo llama *función de onda* en la mecánica cuántica no relativista.

La dinámica de las distintas partículas se la describe en término de la noción de interacciones; como por ejemplo la interacción electromagnética.

Tanto en la formulación lagrangiana como en la hamiltoniana de la dinámica aparece la noción de variables conjugadas; las cuales satisfacen la siguiente ley.

L 10 (Conmutación de variables conjugadas) *Las variables conjugadas de un sistema no conmutan, sino que se los puede poner igual a $i\hbar$; donde $i^2 = -1$ y \hbar es la constante de Planck racionalizada.*

Hemos decidido incluir esta ley en la lista de leyes, pues en particular la misma contiene como teorema el llamado principio de indeterminación de Heisenberg. La dinámica cuántica satisface:

L 11 (Principio de determinación de la mecánica cuántica) *El estado de un sistema queda determinado por el valor de los campos a un dado tiempo. O sea, con esta información es posible predecir su ulterior desarrollo.*

Mientras que la ley que determina la dinámica se la puede expresar por:

L 12 (Ley de la dinámica cuántica) *La evolución temporal de la función de onda del sistema cuántico está descrita por la llamada ecuación de Schrödinger.*

10. Leyes en el marco teórico de la cuántica relativista

La llamada cuántica relativista es el marco teórico relativista empleado para describir la dinámica de sistemas microscópicos como por ejemplo el choque de partículas.

La dinámica de las distintas partículas se la describe en término de la noción de interacciones; como por ejemplo la interacción electromagnética, la débil y la fuerte.

A la validez de las leyes 4, 8, 9 y 11 se le suma:

L 13 (Ley de la dinámica cuántica relativista) *La dinámica se puede basar en una apropiada formulación lagrangiana específica.*

Existe un lagrangiano apropiado para cada caso que se desee estudiar, por lo que no escribiremos ninguno para no entrar en cuestiones técnicas específicas que involucrarían estudios profundos de campos cuánticos relativistas.

La ley 10 es reemplazada por otra versión relativista, que no mencionaremos en esta oportunidad.

11. Leyes en el marco teórico de la física estadística

Al estudiar sistemas con muchas partículas que manifiestan aspectos termodinámicos, aparece la llamada segunda ley de la termodinámica que se puede formular [Cal85] por:

L 14 (Segunda ley de la termodinámica) *Existe una función (llamada entropía S) de los parámetros extensivos de cualquier sistema compuesto, definida para todos los estados de equilibrio que tiene la siguiente propiedad: Los valores tomados por los parámetros extensivos en ausencia de vínculos internos son aquellos que maximizan la entropía sobre la variedad de estados de equilibrio permitidos.*

Si hay una segunda ley es por que existe una primera ley. La llamada primera ley de la termodinámica es la afirmación de la ley de conservación de la energía. Sin embargo no hemos decidido incorporarla en nuestro listado de leyes universales, pues consideramos a las leyes de conservación como teoremas dentro de los marcos teóricos respectivos y no necesariamente como leyes universales. La segunda ley de la termodinámica por otro lado no se la puede formular como teorema bajo determinadas hipótesis sino que contiene información no trivial de sistemas termodinámicos, que además tiene una gran incidencia en el conocimiento de la física.

12. ¿Leyes universales fuera del ámbito de la física?

En otra oportunidad hemos argumentado sobre la necesidad formal de que haya una ley que explique el fenómeno de la vida. Estamos convencidos de que esta ley debe tener un carácter universal.

Con la intención de aportar a la delimitación del contenido de la ley faltante, presentamos anteriormente una versión preliminar de la misma:

L 15 *Hay entornos fuera del equilibrio termodinámico para los cuales existe un conjunto de tipos de átomos, que si dejados por un tiempo suficiente, forman subsistemas que muestran el proceso de la materia viva. En particular estos subsistemas se autoorganizan y adquieren las propiedades de crecimiento, duplicación y evolución; mostrándose en la evolución conjunta una tendencia a la aparición de subsistemas con un aumento en la cantidad de información necesaria para caracterizar el estado microscópico de los mismos.*

Sin embargo desde un punto de vista estricto; esta ley no califica, de acuerdo a los criterios

expuestos más arriba; pues se podría argumentar que sólo conocemos sobre la generalidad del fenómeno de la vida en nuestro planeta. Por lo que se podría argumentar que hasta que no tengamos información fehaciente de vida extraterrestre, no podremos argumentar sobre la universalidad de la misma.

Por otro lado en [Mor05] presentamos argumentos en favor de la universalidad de una ley de estas características.

13. Comentarios finales

Hemos propuesto una particular forma de elegir leyes universales intentando no incluir leyes demasiado detallistas pero sin descuidar las estructuras básicas de los distintos marcos teóricos.

Además nos ha guiado la idea de que bajo discusión se podrían incluir más leyes en la lista, pero que las propuestas formarían un conjunto de mínimo con los objetivos planteados.

Algunos de los marcos teóricos mencionados en esta presentación se pueden entender como el límite de otros marcos teóricos. Por ejemplo el marco teórico de la física galileana se puede entender como el límite de bajas velocidades del marco teórico de la física relativista. Sin embargo hemos incluido como leyes universales algunas de las que aparecen en el marco teórico de la física galileana o newtoniana; esto lo hemos hecho con la visión que tiene el físico de la realidad. Si un marco teórico, digamos el newtoniano, es exitoso para describir un determinado sistema, se considera que está describiendo aspectos de la realidad de dicho sistema. Luego las leyes del marco teórico nos explican aspectos de la realidad del sistema en cuestión y por lo tanto son leyes legítimas de la naturaleza. Somos conscientes que esta postura puede ser origen de polémicas; pero presentar la visión científica de este tema es parte de los motivos de este trabajo.

Finalmente remarcamos, que cada marco teórico tiene un rango de aplicabilidad, que viene determinado tanto de consideraciones teóricas como observacionales. Entonces es legítimo dudar de la validez de las leyes universales, fuera de estos rangos donde han sido corroboradas como exitosas. Sin embargo se considera como una desatención al método científico el desafiar la validez de las leyes universales dentro de su rango de aplicabilidad.

Agradecimientos

Agradecemos a los Editores y a un Evaluador anónimo por correcciones, críticas y sugerencias que aportaron a un mejoramiento de este trabajo.

Referencias

- [Bun67] Mario Bunge. *Foundation of Physics*. Springer-Verlag, 1967.
- [Cal85] H.B. Callen. *Thermodynamics and an introduction to thermostatistics*. John Wiley & Sons, second edition, 1985.
- [Ein52] A. Einstein. On the electrodynamics of moving bodies. In *The Principle of Relativity*. Dover pub. Inc., New York, 1952. Translated from: Zür Elektrodynamik bewegter Körper, *Annalen der Physik*, 17, 1905.
- [Kli99] Gregorio Klimovsky. *Las desventuras del conocimiento científico*. A Z Editora, Buenos Aires, cuarta edición, 1999.
- [Mor00a] O.M. Moreschi. El principio de causalidad: la única ley permanente. *Epistemología e Historia de la Ciencia*, 6(305-312), 2000.
- [Mor00b] O.M. Moreschi. *Fundamentos de la Mecánica de Sistemas de Partículas*. Editorial Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, 2000.
- [Mor01] O.M. Moreschi. El principio de causalidad: la única ley permanente. *Epistemología e Historia de la Ciencia*, 7(373-379), 2001.
- [Mor05] Osvaldo M. Moreschi. Física-biología: delimitando el eslabón faltante. *Epistemología e Historia de la Ciencia*, 11(557-567), 2005.