

# Simetrías físicas y determinismo. Un análisis del principio de Curie

Claudia Vanney\*

En su intento por comprender y crear el orden, la belleza, la perfección y la unidad, el hombre reflexionó sobre las simetrías desde muy antiguo. Desde el período clásico hasta el fin del Renacimiento el concepto de simetría se identificó con la armonía de proporciones y con la regularidad. Pero sobre la noción clásica de simetría poco a poco fue surgiendo una nueva comprensión de las simetrías en la modernidad, fundada no tanto en la idea de proporción, sino más bien en la relación de igualdad (Weyl, 1952).

Este nuevo concepto de simetría comenzó a utilizarse primeramente en cristalografía. La simetría de una figura geométrica fue definida en este ámbito como correspondencia entre partes, es decir, como la invariancia que resulta cuando se intercambian –mediante operaciones específicas– partes componentes iguales. La noción de invariancia es una noción matemática: algo es invariante cuando permanece inalterado bajo una dada transformación matemática. En el siglo XIX esta definición fue generalizada por la teoría de grupos, que entiende por simetría a la invariancia respecto a un grupo específico de transformaciones<sup>1</sup>.

En 1967 Wigner propuso distinguir dos tipos de simetrías físicas con sus respectivos principios de invariancia asociados: las simetrías geométricas y las dinámicas. Las primeras se refieren a la invariancia de todas las leyes de la naturaleza bajo transformaciones geométricas, fundadas en regularidades que subyacen en la estructura del espacio-tiempo. Las segundas, en cambio, se refieren a la forma invariante (covariante) de las leyes que gobiernan una interacción particular bajo un grupo de transformaciones que no refieren a la estructura espacio-temporal. Los principios geométricos se refieren de un modo directo a los eventos físicos, mientras que los principios de invariancia dinámicos no caracterizan ninguna regularidad física de los efectos *per se*, sino que se refieren a las leyes fundamentales de las teorías científicas (Wigner, 1967). En la actualidad, las propiedades de simetría de la teoría de grupos dominan la comprensión más fundamental de la física contemporánea.

## 1 PRINCIPIOS DE SIMETRÍA Y ARGUMENTOS DE SIMETRÍA

Las consideraciones de simetría han sido utilizadas con frecuencia para describir la naturaleza, estudiando las propiedades de simetría tanto de las leyes de movimiento (o de las ecuaciones de campo) que regulan el comportamiento de un sistema físico, como de los estados que lo caracterizan. Pero en la ciencia contemporánea las consideraciones de simetría no sólo se utilizan para describir la realidad

---

\* Universidad Austral, Argentina. E-mail: [cvanney@austral.edu.ar](mailto:cvanney@austral.edu.ar)

<sup>1</sup> Un grupo es un conjunto  $G$  en el que se ha definido un producto interno, de manera que si  $g_1$  y  $g_2$  pertenecen a  $G$ ,  $g_1.g_2$  también pertenece a  $G$ . Las operaciones de grupo son asociativas, contienen un elemento identidad y para cada elemento existe un elemento inverso (Armstrong, 1988).

física, sino también para resolver problemas específicos, siendo conveniente distinguir entre *principios de simetría* y *argumentos de simetría*.

Los *principios de simetría* atribuyen propiedades específicas de simetría a las leyes dinámicas o a las ecuaciones de campo que gobiernan el sistema físico. El primer estudio explícito de las propiedades de invariancia de las leyes físicas se encuentra en la mecánica analítica de Hamilton y Jacobi, quienes propusieron soluciones a las ecuaciones de movimiento de problemas dinámicos de la mecánica clásica a partir de la consideración de propiedades que permanecían invariantes frente a ciertas transformaciones geométricas. Entre los años 1871 y 1893 Sophus Lie desarrolló la teoría de grupos, sugiriendo que podría conducir a una comprensión más profunda de los principios de la física y de las condiciones necesarias para la ocurrencia de los fenómenos. Si bien el interés de Lie se centró en el estudio de las estructuras matemáticas de las ecuaciones fundamentales sin aplicarlas de un modo explícito a la física, intuyó que el origen de los principios de conservación puede encontrarse en las propiedades de invariancia de estas ecuaciones (Lie, 1893). En el siglo XX, desde la formulación de la relatividad especial de Einstein, las mismas leyes de la naturaleza comenzaron a deducirse a partir de consideraciones de invariancia.

Los *argumentos de simetría*, en cambio, aplican consideraciones de simetría a la resolución de problemas específicos. Históricamente, fue Pierre Curie quien formuló explícitamente este tipo de argumentos por primera vez. Sus estudios acerca de las propiedades térmicas, eléctricas y magnéticas de los cristales lo condujeron a reflexionar sobre la relación que existe entre las propiedades físicas de los medios y sus propiedades de simetría. Concretamente, el físico francés procuró determinar qué fenómenos físicos pueden ocurrir cuando un medio físico –por ejemplo, un medio cristalino– posee unas propiedades de simetría determinadas. Sus conclusiones dieron origen al principio que poco tiempo después conociera como *principio de Curie*: “cuando algunos efectos muestran ciertas asimetrías, estas asimetrías deben encontrarse en las causas que los producen” (Curie, 1894, p. 401). A diferencia de Lie, el interés de Curie no estaba centrado en las simetrías de las leyes físicas, sino en las propiedades de simetría de los estados físicos. Esta aproximación fenomenológica lo condujo a enfatizar más la importancia de las asimetrías que la de las simetrías.

## 2 EL PRINCIPIO DE CURIE

En el trabajo original de Curie se puede advertir su principal motivación. Curie propone utilizar las propiedades de simetría de los medios como una guía para definir qué fenómenos son físicamente posibles en él. Las conclusiones centrales de su trabajo pueden ser resumidas del siguiente modo:

i) Las simetrías características de un fenómeno son el máximo de simetría compatible con su existencia (Curie, 1894, p. 400).

ii) Un fenómeno puede existir en un medio que posea sus simetrías características o alguno de los subgrupos de sus simetrías características. Es decir, ciertos elementos de simetría pueden coexistir con ciertos fenómenos, pero esto no es necesario. En cambio, se requiere que algunos elementos de simetría estén ausentes para que ciertos fenómenos ocurran. Son las asimetrías las que crean los fenómenos (Curie, 1894, p. 400).

iii) Cuando ciertas causas producen ciertos efectos, los elementos de simetría de las causas deben encontrarse en sus efectos. Cuando ciertos efectos muestran una cierta asimetría, esta asimetría debe encontrarse en las causas que los han ocasionado (Curie, 1894, p. 401).

Como se puede ver, la primera proposición establece un máximo de simetría por encima del cual el fenómeno deja de distinguirse. En esta primera proposición Curie ya advierte que la diversidad exige que existan asimetrías.

En la segunda proposición se puede notar la importante función que Curie otorga a la ruptura de las simetrías. Para él cumplen el siguiente cometido: un fenómeno puede ocurrir en un medio si, por acción de una causa, el grupo de simetría original del medio “se rompe” o baja al grupo de simetría del fenómeno (o a un subgrupo del grupo de simetría del fenómeno). Éste es el sentido de su afirmación: “son las asimetrías las que causan los fenómenos”.

La tercera proposición es la que se suele conocer como el *principio de Curie*. De este principio es interesante notar que la formulación inversa no es válida, porque según este principio, los efectos pueden ser más simétricos que las causas. Esto se debe a que se exige a la causa ser una condición suficiente del correspondiente efecto, pero no se le pide ser una condición necesaria. Es decir, puede haber muchas causas posibles de un efecto particular, pero sólo un efecto adecuado a una causa específica.

### 3 INTERPRETACIONES DEL PRINCIPIO DE CURIE

Debido a la ambigüedad de su formulación original, el principio de Curie no siempre fue bien acogido en la comunidad científica, sino que recibió interpretaciones y valoraciones diversas. Si bien todos lo reconocen al menos un valor metodológico o heurístico para la formulación de nuevas teorías, no todos lo aceptan como un principio verdadero. Algunos pensadores lo consideran como una profunda verdad, para otros enuncia una simple trivialidad, mientras que un tercer grupo lo considera falso. En realidad, para aceptar que el principio de Curie establece una condición necesaria para la ocurrencia de los fenómenos, se requiere formularlo con mayor precisión, satisfaciendo varias condiciones: la *conexión causal* debe ser válida en el contexto teórico correspondiente, tanto la *causa* como el *efecto* deben estar bien definidos, y las *propiedades de simetría* del sistema considerado –tanto las geométricas, como las físicas– también deben definirse con claridad.

Chalmers defendió la verdad del principio de Curie, afirmando que puede ser formulado con la precisión requerida para ser utilizado en las ciencias físicas. Este autor analiza la relación entre las propiedades invariantes de las leyes físicas y la causalidad, concluyendo que si las leyes son deterministas, el principio de Curie se sigue de la invariancia de las leyes (Chalmers, 1970). Earman, por su parte, admite la validez del principio de Curie, pero muestra que en la teoría cuántica de campos el principio de Curie es un principio prácticamente vacío de contenido (Earman, 2004). Para van Fraassen, en cambio, el principio de Curie no tiene ningún significado ontológico, sino que cumple una función meramente metodológica: conducir a la postulación de variables ocultas para obtener soluciones con la mayor simetría posible (van Fraassen, 1989, p. 242-243; 1991, p. 21-24). Ismael, en cambio, retoma la propuesta original de Chalmers, aunque ampliando la interpretación del principio de Curie y proponiendo una formulación más precisa de la noción de simetrías (Ismael, 1997).

Ismael hace notar que las teorías físicas describen estructuras y que cada estructura determina su grupo de simetría. Apoyándose en la teoría de grupos –que estudia los diferentes grupos de simetría y las relaciones entre ellos– cada teoría científica especifica el tipo de objetos que utiliza y el modo en que éstos se relacionan. Así, todas las verdades particulares importantes de las estructuras algebraicas pueden derivarse de principios simples que relacionan sus simetrías, como sucede con el principio de Curie. Sin embargo, la significación física de las simetrías, según Ismael, no se alcanza cuando se las piensa como automorfismos del conjunto de soluciones, sino cuando se las entiende como el conjunto de

transformaciones que preservan los valores verdaderos de los parámetros relevantes del sistema. Es decir, de todas las soluciones admitidas por las simetrías de un conjunto de ecuaciones, sólo tienen significación física las permutaciones de los valores de parámetros irrelevantes o las permutaciones irrelevantes de los parámetros relevantes. Pero la clave para interpretar el principio de Curie se encuentra en la formulación inversa: las transformaciones que no son simétricas corresponden físicamente a permutaciones de los valores de parámetros relevantes. Por tanto, si se distingue entre transformaciones bajo las cuales todos los estados son invariantes (*simetrías características*) de aquellas bajo las cuales sólo algunos estados permanecen invariantes (*simetrías idiosincráticas*) es posible formular el principio de Curie de un modo más riguroso: “Todas las simetrías características de una causa son también simetrías características de sus efectos”. O de modo equivalente: “Si T es una asimetría idiosincrática de cualquier estado que es efecto, entonces es también una asimetría idiosincrática de algunos estados de la correspondiente causa” (Ismael, 1997, p. 169-170).

Brading y Castellani señalan que en la física contemporánea se ha corrido el interés desde el análisis de las simetrías de los estados, hacia la consideración de las simetrías de las leyes, de modo que también proponen una formulación renovada del principio de Curie desde esta perspectiva. Como las propiedades de simetría de una ecuación dinámica transforman una dada solución en otra solución, las simetrías de las ecuaciones dinámicas no se corresponden en general con las simetrías de una solución individual, sino con las simetrías de todo el conjunto de sus soluciones. Teniendo en cuenta esta correspondencia, el principio de Curie podría reformularse del siguiente modo: “las simetrías de las leyes (ecuaciones dinámicas) deben ser encontradas en el conjunto de sus soluciones” (Brading, Castellani, 2007, p. 1336). Esta nueva versión del principio de Curie continúa expresando la idea original de su autor: las simetrías no se pierden sin una razón. Más aún, la nueva formulación propuesta sigue permitiendo utilizar las simetrías (en este caso de las leyes) como guía para encontrar nuevas soluciones cuando no todas las soluciones son conocidas, estableciendo así un método para determinar qué fenómenos son físicamente posibles.

Algunos de los comentaristas de este principio ven en Curie un precursor de las ideas actuales de ruptura espontánea de simetrías<sup>2</sup>. Mientras que otros se apoyan justamente en el concepto de ruptura espontánea de las simetrías para invalidarlo. Cao, por ejemplo, destaca que Curie fue el primero en notar la necesidad de la pérdida de algunos elementos simétricos para que sucedan ciertos fenómenos (Cao, 1997, p. 281). Aunque Radicati también reconoce a Curie el mérito de haberse percatado de la importante función de las asimetrías en la apariencia de los fenómenos, él considera que el principio de Curie es una afirmación incorrecta desde un punto de vista lógico y que, además, contradice la evidencia empírica, pues los fenómenos de ruptura espontánea de simetrías pueden ser considerados como contraejemplos de este principio (Radicati, 1987). Van Fraassen adhiere a la postura de Radicati, afirmando que el principio de Curie es un principio muy general, probablemente falso y ciertamente insostenible (van Fraassen, 1989, p. 240).

Ismael, defensor de este principio, explica que los fenómenos de ruptura espontánea de simetrías no son un verdadero contraejemplo del principio de Curie, sino una manifestación de que en el estado inicial hay elementos que todavía desconocemos (Ismael, 1997, p. 179-180). Sostiene que estos fenómenos ocurren cuando uno de los parámetros relevantes del sistema alcanza en un determinado momento un valor crítico, a partir del cual las ecuaciones de movimiento del sistema poseen conjuntos de soluciones tanto asimétricas

---

<sup>2</sup> Actualmente la noción de *ruptura espontánea de las simetrías* se suele asociar al hecho de que los fenómenos físicos no exhiben habitualmente las propiedades de simetría de las leyes que los gobiernan.

como simétricas. El sistema se vuelve vulnerable ante pequeñas perturbaciones externas, de manera que todos los procesos son descritos por soluciones que no son estables. Esta vulnerabilidad es especialmente notoria en contextos no lineales. Así, en los sistemas complejos pueden aparecer efectos con asimetrías muy evidentes producidos por pequeñas causas aparentemente simétricas. Pero esto no implica necesariamente una violación del principio de Curie, porque esta situación también puede ser considerada como un indicio de la existencia de propiedades de asimetría en las causas, aunque demasiado pequeñas como para ser detectadas. Así, la importancia del principio de Curie radicaría principalmente en su potencialidad para descubrir asimetrías ocultas en las causas, a partir de la observación de asimetrías en los efectos.

#### 4 SIMETRÍAS Y DETERMINISMO

A comienzos de la Modernidad, la homogeneidad e isotropía del espacio físico y la uniformidad del tiempo fueron asumidas como presupuestos de la descripción física del mundo, constituyendo las bases del determinismo mecanicista. Pero la física contemporánea dejó de considerar una estructura homogénea e isótropa para el espacio-tiempo, avanzando en el estudio de las asimetrías temporales y en el análisis de las propiedades físicas de medios inhomogéneos<sup>3</sup>. El determinismo mecanicista prevaleció en la física sin cuestionamientos hasta fines del siglo XIX, cuando los trabajos de Poincaré manifestaron limitaciones intrínsecas en la predicción de la evolución temporal de algunos sistemas mecánicos. Así, durante el siglo XX la cosmovisión de la ciencia se alejó considerablemente de la imagen determinista del mundo-reloj, asumiendo nuevas modalidades<sup>4</sup>.

En la construcción de las teorías físico-matemáticas de la última centuria, los argumentos de simetrías han cumplido una relevante función heurística, otorgando a las simetrías un importante estatuto metodológico. Pero la riqueza y la variedad de las simetrías de la física moderna ofrecen muchas posibilidades de interpretación, y la determinación de su estatuto ontológico y epistemológico aún continúa abierta, constituyendo un interesante tópico de discusión<sup>5</sup>.

Pierre Curie fue el primero en advertir que las asimetrías son condición necesaria -aunque no suficiente- para la aparición de fenómenos, pero no alcanzó a desarrollar la actual noción de *ruptura espontánea de simetrías*. En cambio, el principio de Curie establece una fuerte vinculación entre las simetrías y el determinismo. Pues, si este principio tiene vigencia, las propiedades asimétricas del estado final de un sistema físico se deberían explicar por la existencia de asimetrías en el estado inicial que permanecen invariantes durante el proceso, o por la existencia de leyes dinámicas indeterministas que no respetan las simetrías. Cuando se descarta la segunda posibilidad asumiendo una posición determinista, el principio de Curie se convierte en guía para la búsqueda propiedades hasta el momento desconocidas, pues la

---

<sup>3</sup> Sobre asimetrías temporales ver (Castagnino et al., 2003; Castagnino, Lombardi, 2004); un ejemplo de diversos estudios de propiedades ópticas en medios no isótropos se encuentra en (Vanney, 2004; Vanney, Pérez, 2006).

<sup>4</sup> En Earman (2007) y Hofer (2010) se presentan diversas investigaciones recientes sobre el determinismo; una colección de artículos sobre aspectos diversos del determinismo se encuentra en (Atmanspacher, Bishop, 2002).

<sup>5</sup> Por ejemplo, Mainzer ve en los principios de simetría principios trascendentales en sentido kantiano (Mainzer, 1996); Brading y Castellani sostienen que hay ciertas simetrías que no se *derivan* de las ecuaciones de movimiento, sino que ellas mismas son físicamente significativas (Brading, Castellani, 2003); para Rosen las simetrías constituyen el fundamento de las ciencias (Rosen, 2008).

constatación de propiedades asimétricas en el estado final estaría indicando la existencia de asimetrías en el estado inicial. Tanto el principio de Curie, como en general todos los planteamientos deterministas, han mostrado una indiscutida potencialidad heurística para el desarrollo de la física teórica. Pues en general, cuando las predicciones deterministas no se cumplen, se suele suponer la existencia de nuevas leyes de la naturaleza, hasta el momento desconocidas, responsables de restaurar el determinismo.

Sin embargo, asumir el determinismo como una característica *a priori* de la naturaleza, no deja de ser un postulado que no siempre es aceptado. Por esta razón, por ejemplo, el principio de Curie suele ser rechazado en ambientes empiristas. Cuando se acepta la vigencia del principio de Curie, también se debe asumir la posibilidad de tener que admitir la existencia de asimetrías imperceptibles a todo tipo de detección macroscópica en el estado inicial. Así, admitir la validez del principio de Curie abre nuevamente el antiguo debate neopositivista en torno a la vinculación que existe entre la realidad empírica y las descripciones matemáticas de las leyes científicas.

Además, como el determinismo suele suponer la existencia de una función global del tiempo y exigir que las leyes de la naturaleza se distingan con nitidez de las condiciones iniciales, queda abierto el camino también a planteamientos cosmológicos. En la actualidad, el estudio de las características de las simetrías de las ecuaciones fundamentales de la física se explora con detenimiento, pero continuamos encontrando dificultades para explicar las asimetrías de nuestro mundo. Desde el marco que nos brinda el principio de Curie, se presentan nuevamente dos alternativas a esta cuestión: suponer que nuestro universo es determinista, conjeturando que las asimetrías estuvieron presentes en el inicio cósmico; o admitir que las asimetrías se desarrollaron espontáneamente a partir de una situación original de alta simetría. En el primer caso se mantendría una cosmovisión determinista, pero a costa de asumir la existencia de una asimetría relevante en el origen cósmico. En cambio, si se admite la segunda posición, las leyes de movimiento no respetarían las propiedades de simetría del inicio, fallando el determinismo.

Finalmente, también se podría reconocer al principio de Curie una significación epistemológica – señalada por Ismael (1997, p. 185)–, y asumirlo como clave de interpretación de vinculaciones interteóricas entre diversas teorías científicas. Desde esta óptica, este principio estaría expresando la única restricción *a priori* que las apariencias juegan en las estructuras del más alto nivel teórico de nuestros modelos: las asimetrías características de las apariencias, representadas por las subestructuras empíricas de los modelos teóricos, también deberían ser asimetrías características de las estructuras físicas subyacentes, postuladas por las teorías fundamentales y representadas por sus estructuras de nivel superior.

## CONCLUSIONES

En este trabajo hemos señalado que, como sucede también con otros temas de filosofía de la física, es posible reconocer al principio de Curie una validez metodológica, epistemológica u ontológica. Nos encontramos nuevamente frente a una cuestión que pone de manifiesto que el alcance del conocimiento de la ciencia acerca de lo real aún no está delimitado con nitidez. En la actualidad, las estructuras matemáticas con sus propiedades de simetría son elementos importantes de las teorías físicas. Pero debido a su naturaleza relacional, los objetos matemáticos son objetos peculiares que versan sobre lo real de un modo hipotético, brindando múltiples descripciones simultáneas de nuestro mundo. Así, avanzar en la determinación del alcance del conocimiento científico requeriría previamente investigar en la noción de

objeto en cuanto tal y discernir el objeto matemático de otros tipos de objetualidad, pero esto sería competencia de la teoría del conocimiento y no de la filosofía de la física<sup>6</sup>.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARMSTRONG, Mark Anthony. *Groups and symmetry*. New York: Springer-Verlag, 1988.
- ATMANSPACHER, Harald; BISHOP, Roberts (eds.). *Between chance and choice: interdisciplinary perspectives on determinism*. Thorveton: Imprint Academic, 2002.
- BRADING, Katherine; CASTELLANI, Elena. Introduction. Pp. 1-18, en: BRADING, Katherine & CASTELLANI, Elena (eds.). *Symmetries in physics. Philosophical reflections*. Cambridge: Cambridge University Press, 2003.
- \_\_\_\_\_; CASTELLANI, Elena. Symmetries and invariances in classical physics. Pp. 1331-1367, en: BUTTERFIELD, Jeremy & EARMAN, John (eds.). *Philosophy of physics*. Amsterdam: Elsevier, 2007.
- CASTAGNINO, Mario; LARA, Luis; LOMBARDI, Olimpia. The cosmological origin of time-asymmetry. *Classical and Quantum Gravity* **20**: 369-391, 2003.
- \_\_\_\_\_; LOMBARDI, Olimpia. Time-asymmetry as universe asymmetry. Pp. 11-15, en: DESCALZI, Orazio; MARTÍNEZ, Javier & RICA, Sergio (eds.). *Instabilities and nonequilibrium structures IX*. Dordrecht-Amsterdam: Kluwer Academic Publishers, 2004.
- CAO, Tian Yu. *Conceptual developments of 20<sup>th</sup> century field theories*. Cambridge: Cambridge University Press, 1997.
- CASTELLANI, Elena. On the meaning of symmetry breaking. Pp. 321-334, en: BRADING, Katherine & CASTELLANI, Elena (eds.). *Symmetries in physics. Philosophical reflections*. Cambridge: Cambridge University Press, 2003.
- CURIE, Piere. Sur la symétrie des phénomènes physiques: symétrie d'un champ électrique et d'un champ magnétique. *Journal de Physique* **3**: 393-415, 1894. (Una traducción al inglés de este artículo se encuentra en las pp. 17-25 de ROSEN, Joe (ed.). *Symmetry in physics: selected reprints*. New York: American Association of Physics Teacher, 1982.
- CHALMERS, A. F. Curie's principle. *British Journal for the Philosophy of Science* **21**: 133-148, 1970.
- EARMAN, John. Curie's principle and spontaneous symmetry breaking. *International Studies in the Philosophy of Science* **18**: 173-199, 2004.
- \_\_\_\_\_. Aspects of determinism in modern physics. Pp. 1331-1367, en: BUTTERFIELD, Jeremy & EARMAN, John (eds.). *Philosophy of physics*. Amsterdam: Elsevier, 2007.
- HOEFER, Carl. Causal determinism. En: *Stanford Encyclopedia of Philosophy*. 2010. Disponible en: <<http://plato.stanford.edu/entries/determinism-causal/>>
- ISMAEL, Jennan. Curie's principle. *Synthese* **110**: 167-190, 1997.
- LIE, Sophus; ENGEL, Friedrich. *Theorie der Transformationsgruppen III*. Leipzig: B. G. Teubner, 1893.
- MAINZER, Klaus. *Symmetries on nature*. Berlin: Walter de Gruyter, 1996.
- POLO, Leonardo. *Curso de teoría del conocimiento*. v. 1-4. Pamplona: Eunsa, 1984-1996.
- RADICATI, Luigi A. Remarks on the early developments of the notion of symmetry breaking. Pp. 195-207, en: DONCEL, Manuel; HERMANN, Armin; MICHEL, Louis & PAIS, Abraham (eds.). *Symmetries in physics (1600-1980)*. Barcelona: Bellaterra, 1987.

---

<sup>6</sup> Una propuesta de discernimiento de una diversidad de actos intelectuales que permitiría establecer congruentemente el estatuto cognoscitivo de las diversas disciplinas científicas se encuentra en la teoría del conocimiento de Leonardo Polo (Polo, 1984-1996). Para más detalles de este aspecto del pensamiento poliano ver (Vanney, 2008).

- ROSEN, Joe. *Symmetry rules. How science and nature are founded on symmetry*. Verlag Berlin Heidelberg: Springer, 2008.
- VAN FRAASSEN, B. C. *Laws and symmetry*. Oxford: Oxford University Press, 1989.
- \_\_\_\_\_. *Quantum mechanics. An empiricist view*. Oxford: Oxford University Press, 1991.
- VANNEY, Claudia E. Propagating and evanescent waves associated to inhibited reflection in uniaxial crystals: extraordinary incidence. *Journal of Modern Optics* **51**: 139-152, 2004.
- \_\_\_\_\_; PEREZ, Liliana I. Inhibited reflection: longitudinal and transverse displacement of the reflected ray. *Journal of Optics A: Pure and Applied Optics* **8**: 38-43, 2006.
- \_\_\_\_\_. *Principios reales y conocimiento matemático*. Pamplona: Eunsa, 2008.
- WEYL, Hermann. *Symmetry*. Princeton, NJ: Princeton University Press, 1952.
- WIGNER, Eugene. *Symmetries and reflections*. Bloomington, IN: Indiana University Press, 1967.