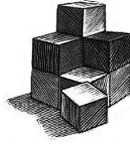


Martín Labarca | Olimpia Lombardi

Irreversibilidad y pluralismo ontológico

Una reflexión acerca de los fundamentos
de la mecánica estadística





COLECCIÓN TEORÍA CRÍTICA Y CULTURA

Martín Labarca y Olimpia Lombardi

Irreversibilidad y pluralismo ontológico. Una reflexión acerca de los fundamentos de la mecánica estadística. 1a ed. Buenos Aires: Imago Mundi, 2013.

192 p. 22x15 cm

ISBN 978-950-793-139-0

1. Física. 2. Filosofía. 3. Energía. I. Lombardi, Olimpia II. Martín Labarca
CDD 530

Fecha de catalogación: 31/07/2012

©2013, Martín Labarca y Olimpia Lombardi

©2013, Ediciones Imago Mundi

Distribución: Av. Entre Ríos 1055, local 36, CABA

<http://edicionesimagomundi.com>

Diseño y armado de interior: Alberto Moyano, hecho con $\text{\LaTeX} 2_{\epsilon}$

Hecho el depósito que marca la ley 11.723

Impreso en Argentina. Tirada de esta edición: 500 ejemplares

Este libro se terminó de imprimir en el mes de noviembre de 2013 en Gráfica San Martín, Güiraldes 2727, San Martín, provincia de Buenos Aires, República Argentina. Ninguna parte de esta publicación, incluido el diseño de cubierta, puede ser reproducida, almacenada o transmitida de manera alguna ni por ningún medio, ya sea eléctrico, químico, mecánico, óptico, de grabación o de fotocopia, sin permiso previo por escrito del editor.

Índice general

Prólogo	IX
Introducción	XI
1 El origen del problema de la irreversibilidad	1
1.1 Carnot y la potencia motriz del fuego	1
1.2 Clausius: el concepto de entropía y el segundo principio de la termodinámica	6
1.3 La irrupción de los métodos estadísticos: Maxwell	9
1.4 El programa de Boltzmann	12
1.5 La formulación de Gibbs	18
2 T-invariancia, irreversibilidad y flecha del tiempo	23
2.1 La necesidad de elucidar conceptos	23
2.2 El concepto de t-invariancia	24
2.3 El concepto de reversibilidad	26
2.4 Relación entre t-invariancia y reversibilidad	29
2.5 El problema de la irreversibilidad	31
2.6 El problema de la flecha del tiempo	34
3 Boltzmann versus Gibbs	39
3.1 Enfoques alternativos	39
3.2 Descripción mecánica	39
3.3 Descripción termodinámica	42
3.4 Relación entre ambas descripciones	43
3.5 El enfoque de Boltzmann	45
3.6 El enfoque de Gibbs	51
3.7 Comparación entre ambos enfoques	57
4 El papel de la ergodicidad en el problema de la irreversibilidad	63
4.1 Elementos de teoría ergódica	63
4.2 El problema de la ergodicidad	68
4.3 ¿Sistemas no-ergódicos?	72
4.4 Volviendo al núcleo del problema	77
4.5 El papel de los modelos	79

5	Otros desacuerdos entre los enfoques de Boltzmann y Gibbs . . .	83
5.1	Número de grados de libertad	83
5.2	Condiciones iniciales: regiones de medida no-nula	86
5.3	Condiciones iniciales: regiones de medida nula	88
5.4	Restricción en las condiciones iniciales: ¿irreversibilidad de facto? .	91
6	La compatibilidad entre los enfoques de Boltzmann y Gibbs . . .	95
6.1	Revisando la comparación entre ambos enfoques	95
6.2	El modelo Kac	97
6.3	La transformación del panadero	99
6.4	Las nociones de equilibrio e irreversibilidad	102
6.5	Compatibilizando ambos enfoques	105
7	Prigogine y la fundamentación de la irreversibilidad intrínseca .	109
7.1	El programa de Prigogine	109
7.2	Cambio de representación dinámica	111
7.3	La relectura de la transformación del panadero	114
7.4	Irreversibilidad ¿intrínseca?	116
7.5	Fibras contractantes y dilatantes	119
7.6	El papel del segundo principio	120
7.7	¿Boltzmann o Gibbs?	122
8	El carácter objetivo de la irreversibilidad	127
8.1	El problema de la interpretación de la probabilidad	127
8.2	El problema de la interpretación de la irreversibilidad	130
8.3	Las raíces kantianas del internalismo	133
8.4	El realismo internalista de Putnam	135
8.5	Pluralismo ontológico sincrónico	139
8.6	Relaciones objetivas entre diferentes ontologías	143
8.7	El enfoque internalista de la irreversibilidad	146
8.8	Perspectivas	150
	Conclusiones.	161
	Bibliografía	165
	Índice de autores	176

Prólogo

La filosofía de la física constituye la subdisciplina de mayor madurez dentro de la filosofía de las ciencias especiales. En efecto, en el mundo anglosajón encontramos departamentos de historia y filosofía de la física dentro de los departamentos de filosofía, dedicados a tratar específicamente problemas históricos y de fundamentos de esta ciencia natural. Con ese propósito, los estudiantes adquieren una doble formación en filosofía y en física durante su formación de grado.

Pese, entonces, a que esta subdisciplina filosófica se encuentra en una etapa de plena madurez, con múltiples e interesantísimos problemas que habitan los límites entre la filosofía y la física, su desarrollo en el ámbito latinoamericano es comparativamente muy escaso. Un importante obstáculo para la integración de áreas en nuestro país reside en el hecho de que los programas de grado constituyen compartimientos estancos: un estudiante debe seguir el duro camino de formación de grado en física (o en biología, o en química), para luego formarse en cuestiones filosóficas con una dedicación no menos dura, o viceversa. Sin duda, este largo recorrido le demandará un enorme esfuerzo con resultados inciertos. Otra dificultad consiste en la nula formación que tienen (tuvimos) los estudiantes de ciencias físico-químicas en cuestiones de fundamentos sobre sus propias disciplinas científicas. Y, finalmente, aunque no menos importante, la antigua y vigente tradición en Argentina según la cual a un científico se le permite dedicarse a cuestiones filosóficas sólo en las postrimerías de su carrera profesional.

Entendemos que todos estos factores no sólo conspiran contra una integración, sino que, peor aún, profundizan el divorcio entre ciencia y filosofía. Por un lado, los científicos consideran que los filósofos de la ciencia (con formación académica en filosofía) carecen de la formación científica necesaria para abordar competentemente cuestiones científicas. Pero, por otro lado, los filósofos de la ciencia, en líneas generales, acusan a los científicos con inquietudes epistemológicas de poseer una escasa formación filosófica. Es claro que algo de razón (y verdad) hay en ambos tipos de afirmaciones. Pero también estamos convencidos de que es posible hacer buena ciencia y reflexionar filosóficamente sobre ella. Para esto es necesario evitar recelos, temores corporativos y desconfianzas mutuas.

Este trabajo pretende ser un modesto aporte al desarrollo de la filosofía de la física en el ámbito latinoamericano. La ciencia y la filosofía constituyen las dos formas más acabadas en las que puede expresarse el pensamiento humano. Qué mejor, entonces, que la reflexión filosófica sobre cuestiones de fundamentos de las ciencias físicas. En esa dirección, hemos abordado aquí el problema filosófico de la irreversibilidad en termodinámica y mecánica estadística. Creemos haber alcanzado respuestas satisfactorias que, si bien provisionarias, dejan una puerta abierta a ulteriores investigaciones.

Introducción

El problema de la irreversibilidad se origina a fines del siglo XIX con los trabajos de Boltzmann, cuyo objetivo científico fue brindar una explicación puramente mecánica del aumento de entropía postulado por el segundo principio de la termodinámica; en vistas a esta meta formuló su teorema H que, supuestamente, suministraba la reducción buscada. Sin embargo, ante las convincentes críticas de sus contemporáneos, Boltzmann realizó un viraje teórico hacia una presentación combinatoria del problema, que dio origen a uno de los grandes enfoques teóricos que perduran hasta nuestros días. A su vez, en 1900, Gibbs formuló una presentación clara y sistemática de la mecánica estadística que enfocaba el problema de la irreversibilidad desde un ángulo diferente del adoptado por Boltzmann, pero que contaba con sus propias dificultades específicas.

El problema de la irreversibilidad, que era considerado como el problema central de la física por los científicos de fines del siglo XIX, si bien no resuelto, fue olvidado durante muchas décadas frente al avance de las nuevas teorías físicas formuladas a principios del siglo XX. Es sólo ya entrada la segunda mitad del siglo XX que el problema reaparece, tal vez debido a los nuevos resultados teóricos en el ámbito de los sistemas alejados del equilibrio termodinámico. Sin embargo, tampoco en esta época más reciente se logró alcanzar una solución que generara el consenso de la comunidad científica: el problema de la irreversibilidad continúa presentándose en nuestros días como uno de los grandes temas de debate en la física teórica. Si se examinan los textos actuales de mecánica estadística aplicada a la termodinámica, se comprueba que, aún hoy, los distintos abordajes del fenómeno de la irreversibilidad difieren ampliamente: cada autor brinda su propia explicación, a menudo yuxtaponiendo elementos que provienen de enfoques incompatibles entre sí. No obstante esta gran divergencia, la mayor parte de las múltiples interpretaciones puede asociarse a alguna de las dos líneas teóricas inauguradas por Boltzmann y por Gibbs. Cada uno de estos enfoques tiene sus propios defensores contemporáneos, que se empeñan en argumentar en favor de su propia perspectiva señalando las falencias de la otra posición.

Frente a esta situación, no resulta sorprendente que el problema de la irreversibilidad haya ingresado al ámbito de reflexión de la filosofía de la física, generalmente en relación a la discusión sobre los fundamentos de la mecánica estadística. En este sentido, el presente trabajo se propone examinar el problema de la irreversibilidad en termodinámica y mecánica estadística a partir del análisis de las teorías físicas vigentes y con las herramientas teórico-conceptuales que brinda la filosofía de la ciencia contemporánea. El objetivo general consiste en brindar una respuesta científica y filosóficamente adecuada a la pregunta: “¿Cómo es posible explicar las evoluciones macroscópicas irreversibles – ‘regidas por el segundo principio de la termodinámica’ – en términos de las evoluciones microscópicas subyacentes?”. Si bien aparentemente sencilla, la gran divergencia entre las respuestas que suelen formularse a esta pregunta pone de manifiesto la necesidad de un análisis filosófico pormenorizado de los fundamentos de la mecánica estadística.

Con este fin, el libro se estructura del siguiente modo. En el primer capítulo presentaremos un panorama histórico del origen del problema de la irreversibilidad, que surge en el marco de los intentos de reducción de la termodinámica a la mecánica; aún hoy este ámbito sigue considerándose el *locus* clásico donde se analiza el problema. Esta tarea nos permitirá arribar paulatinamente al planteo de los dos enfoques tradicionales en la solución del problema en la mecánica estadística clásica: los programas de Boltzmann y de Gibbs. En el segundo capítulo elucidaremos los conceptos de t-invariancia, irreversibilidad y flecha del tiempo, poniendo de manifiesto que no sólo refieren a propiedades distintas, sino que se aplican a tipos de entidades categorialmente diferentes. Esta clarificación conceptual permitirá señalar que, bajo el rótulo “el problema de la asimetría del tiempo”, suelen subsumirse dos problemas distintos, cada uno de los cuales exige una formulación precisa si se pretende hallar respuestas formal y filosóficamente satisfactorias. En el tercer capítulo se analizarán los enfoques teóricos inaugurados por Boltzmann y por Gibbs desde una perspectiva teórico-formal, a fin de identificar los puntos de divergencia entre ellos y la dificultad que tal divergencia plantea para brindar una respuesta satisfactoria al problema de la irreversibilidad. El cuarto capítulo se concentrará en el papel que desempeña la ergodicidad en el problema de la irreversibilidad. Para ello abordaremos la llamada “teoría ergódica”: una teoría matemática que estudia las propiedades estadísticas de los sistemas dinámicos considerados desde un punto de vista totalmente abstracto, esto es, con independencia de la teoría física que describe su evolución temporal. El quinto capítulo se concentrará en otros desacuerdos existentes entre los enfoques de Boltzmann y de Gibbs: el problema del número de grados de libertad y el problema de la restricción en las condiciones iniciales. La pregunta que da origen al capítulo

6 es la siguiente: ¿cómo comprender la profunda divergencia conceptual que se establece entre dos enfoques tan ampliamente aceptados en la comunidad científica? Para responder a esta pregunta avanzaremos en el análisis de los modelos preferidos por los defensores actuales de los enfoques de Boltzmann y de Gibbs para argumentar en favor de sus propias posiciones: el modelo Kac y la transformación del panadero. Luego, compararemos las nociones de equilibrio e irreversibilidad que utilizan ambos enfoques, intentando compatibilizarlos. En el capítulo 7 analizaremos el programa que elaborara Ilya Prigogine con el fin de completar el programa de Boltzmann, esto es, lograr la compatibilidad entre termodinámica irreversible y mecánica reversible. A continuación, señalaremos nuestras objeciones a dicha posición. Finalmente, en el capítulo 8 expondremos una solución filosófica al problema de la irreversibilidad en termodinámica y mecánica estadística, motivo de este trabajo, basada en un pluralismo ontológico de raigambre kantiana inspirado en el realismo internalista de Putnam. Más allá de las conclusiones particulares obtenidas en cada capítulo, en las conclusiones finales se formularán las reflexiones filosóficas generales que surgen de la investigación, subrayando, en particular, la relación entre las posibles respuestas acerca del carácter objetivo o subjetivo en la descripción de un proceso irreversible y la perspectiva filosófica desde la cual se aborda el problema.

Bibliografía

- Aiello, M., M. Castagnino y O. Lombardi (2008). "The Arrow Of Time: From Universe Time-Asymmetry to Local Irreversible Processes". *Foundations of Physics* **38**, págs. 257-292 (véase página 35).
- Albert, D. (2000). *Time and Chance*. Cambridge: Harvard University Press (véase página 29).
- Anderson, P. (1972). "More is Different. Broken Symmetry and the Nature of the Hierarchical Structure of Science". *Nature* **177**, págs. 393-396 (véase página 158).
- Arnold, V. y A. Avez (1968). *Ergodic Problems of Classical Mechanics*. Nueva York: Benjamin (véase página 66).
- Arntzenius, F. (2004). "Time Reversal Operations, Representations of the Lorentz Group, and the Direction of Time". *Studies in History and Philosophy of Modern Physics* **35**, págs. 31-44 (véase página 29).
- Atmanspacher, H. y F. Kronz (1998). "Many Realisms". *Acta Polytechnica Scandinavica* **91**, págs. 31-34 (véase página 142).
- Badino, M. (2002). "The Foundational Role of Ergodic Theory". *Foundations of Science* **11**, págs. 323-347 (véase página 63).
- Batterman, R. (1990). "Irreversibility and Statistical Mechanics: a New Approach?" *Philosophy of Science* **57**, págs. 395-419 (véase página 71).
- (1991). "Randomness and Probability in Dynamical Theories: on the Proposals of the Prigogine School". *Philosophy of Science* **58**, págs. 241-263 (véase páginas 112, 125).
- (2002). *The Devil in the Details. Asymptotic Reasoning in Explanation, Reduction, and Emergence*. Oxford: Oxford University Press (véase página 144).
- Benfey, T. (2000). "Reflections on the Philosophy of Chemistry and a Rallying Call for Our Discipline". *Foundations of Chemistry* **2**, págs. 195-205 (véase páginas 152, 154).
- Boltzmann, L. (1895a). "On Certain Questions of the Theory of Gases". *Nature* **51**, págs. 413-415 (véase página 17).
- (1895b). "On the Minimum Theorem in the Theory of Gases". *Nature* **52**, pág. 221 (véase página 17).

- Born, M. (1949). *Natural Philosophy of Cause and Chance*. Oxford: Clarendon Press (véase página 131).
- Bricmont, J. (1995). "Science of Chaos or Chaos in Science?" *Physica Magazine* **17**, págs. 159-208 (véase páginas 45, 50, 51, 57, 60, 61, 69, 72, 97, 99, 132).
- Brush, S. (1976). "Irreversibility and Indeterminism: Fourier to Heisenberg". **37**, págs. 603-630 (véase página 11).
- Budenhöfer, F. (2003). "Some Comments on the Problem of Reductionism in Contemporary Physical Sciences". *Zygon* **38**, págs. 61-69 (véase página 157).
- Bunge, M. (1977). *Treatise on Basic Philosophy. Ontology I*. Dordrecht-Boston: Reidel Publishing Company (véase página 24).
- (1982). "Is Chemistry a Branch of Physics?" *Zeitschrift für allgemeine Wissenschaftstheorie* **13**, págs. 209-223 (véase página 153).
- (2004). *Emergencia y convergencia. Novedad cualitativa y unidad del conocimiento*. Barcelona: Gedisa (véase página 153).
- Burbury, S. (1894). "The Kinetic Theory of Gases". *Nature* **51**, págs. 175-176 (véase página 17).
- Carnot, N. (1824). *Réflexions sur la Puissance Motrice du Feu et sur les Machines Propres à Développer cette Puissance*. París: Chez Bachelier. Versión española: *Reflexiones sobre la Potencia Motriz del Fuego*. Madrid: Alianza Editorial, 1987 (véase página 4).
- Castagnino, M., M. Gadella y O. Lombardi (2005). "Time's Arrow and Irreversibility in Time-Asymmetric Quantum Mechanics". *International Studies in the Philosophy of Science* **19**, págs. 223-243 (véase página 124).
- (2006). "Time-Reversal, Irreversibility and Arrow of Time in Quantum Mechanics". *Foundations of Physics* **36**, págs. 407-426 (véase página 124).
- Castagnino, M., L. Lara y O. Lombardi (2003a). "The Cosmological Origin of Time-Asymmetry". *Classical and Quantum Gravity* **20**, págs. 369-391 (véase páginas 29, 35).
- (2003b). "The Direction of Time: From the Global Arrow to the Local Arrow". *International Journal of Theoretical Physics* **42**, págs. 2487-2504 (véase página 35).
- Castagnino, M. y O. Lombardi (2004a). "Self-Induced Decoherence: A New Approach". *Studies in History and Philosophy of Modern Physics* **35**, págs. 73-107 (véase páginas 34, 147).
- (2004b). "The Generic Nature of the Global and Non-Entropic Arrow of Time and the Double Role of the Energy-Momentum Tensor". *Journal of Physics A (Mathematical and General)* **37**, págs. 4445-4463 (véase página 130).
- (2005). "Self-Induced Decoherence and The Classical Limit of Quantum Mechanics". *Philosophy of Science* **72**, págs. 764-776 (véase página 130).

- (2006). “The Classical Limit of Non-Integrable Quantum Systems, a Route to Quantum Chaos”. *Chaos, Solitons and Fractals* **28**, págs. 879-898 (véase página 68).
- (2007). “Non-Integrability and Mixing in Quantum Systems: On the Way to Quantum Chaos”. *Studies in History and Philosophy of Modern Physics* **38**, págs. 482-513 (véase página 68).
- (2009a). “The Global Non-Entropic Arrow of Time: From Global Geometrical Asymmetry to Local Energy Flow”. *Synthese* **169**, págs. 1-25 (véase página 35).
- (2009b). “Towards a Definition of the Quantum Ergodic Hierarchy: Ergodicity and Mixing”. *Physica A* **388**, págs. 247-267 (véase página 68).
- Castagnino, M., O. Lombardi y L. Lara (2003). “The Global Arrow of Time as a Geometrical Property of the Universe”. *Foundations of Physics* **33**, págs. 877-912 (véase página 35).
- Clark, P. (1987). “Determinism and Probability in Physics”. *Proceedings of the Aristotelian Society* **61**, págs. 185-210 (véase página 130).
- Clausius, R. (1868). “On the Second Fundamental Theorem of the Mechanical Theory of Heat”. *Philosophical Magazine* **4**, Londres, pág. 418 (véase página 9).
- Courbage, M. e I. Prigogine (1983). “Intrinsic randomness and intrinsic irreversibility in classical dynamical systems”. *Proceedings of the National Academy of the Sciences of the United States of America* **80**, págs. 2412-2416 (véase página 122).
- Culverwell, E. (1894). “Dr. Watson’s Proof of Boltzmann’s Theorem on Permanence of Distributions”. *Nature* **50**, pág. 617 (véase página 17).
- Dirac, P. (1929). “Quantum Mechanics of Many-Electron Systems”. *Proceedings of the Royal Society* **A338**, págs. 714-733 (véase páginas 151, 154).
- Driebe, D. (1994). “Letters (respuesta a Lebowitz, 1993)”. *Physics Today* **47**, págs. 14-15 (véase páginas 83, 102, 123).
- Earman, J. (1974). “An Attempt to Add a Little Direction to ‘The Problem of the Direction of Time’”. *Philosophy of Science* **41**, págs. 15-47 (véase páginas 35, 37).
- (2002). “What Time Reversal Invariance is and Why It Matters”. *International Studies in the Philosophy of Science* **16**, págs. 245-264 (véase página 25).
- Earman, J. y M. Rédei (1996). “Why Ergodic Theory Does Not Explain the Success of Equilibrium Statistical Mechanics”. *The British Journal for the Philosophy of Science* **47**, págs. 63-78 (véase páginas 59, 69, 70, 73, 74, 77).

- Ehrenfest, P. y T. Ehrenfest (1912). *The Conceptual Foundations of the Statistical Approach in Mechanics*. Ithaca: Cornell University Press (véase página 56).
- Emerson, K. (1999). "The Quantum Mechanical Explanation of the Periodic System". *Journal of Chemical Education* **76**, pág. 1189 (véase página 156).
- Emmeche, C., S. Køppe y F. Stjernfelt (1997). "Explaining Emergence: Towards an Ontology of Levels". *Journal for General Philosophy of Science* **28**, págs. 83-119 (véase página 157).
- Friedman, K. (1976). "A Partial Vindication of Ergodic Theory". *Philosophy of Science* **43**, págs. 151-162 (véase páginas 59, 91).
- Frigg, R. (2008). "A Field Guide to Recent work on the Foundations of Statistical Mechanics". *The Ashgate Companion to Contemporary Philosophy of Physics*. Ed. por D. Rickles. Londres: Ashgate, págs. 99-196 (véase página 63).
- García Colín Scherer, L. (1986). *De la máquina de vapor al cero absoluto (calor y entropía)*. México: Fondo de Cultura Económica (véase página 5).
- Gibbs, J. (1902). *Elementary Principles in Statistical Mechanics*. Nueva York: Dover (véase páginas 18, 55, 56, 71, 83).
- Gilli, G. (2000). "Struggling with Complexity". *Nature* **407**, pág. 296 (véase página 158).
- Grünbaum, A. (1973). *Philosophical Problems of Space and Time*. Vol. 12. Boston: Reidel Publishing Company (véase página 36).
- Guttman, Y. (1999). *The Concept of Probability in Statistical Physics*. Cambridge: Cambridge University Press (véase página 70).
- Hacking, I. (1975). *The Emergence of Probability*. Cambridge: Cambridge University Press (véase página 127).
- Heisenberg, W. (1958). *The Physicist's Conception of Nature*. Londres: Hutchinson (véase página 131).
- Hill, T. (1956). *Statistical Mechanics*. Nueva York: McGraw-Hill (véase página 59).
- Hoffman, R. (1988). "Under the Surface of the Chemical Article". *Angewandte Chemie. International Edition English* **27**, págs. 1593-1602 (véase página 153).
- Hollinger, H. y M. Zenzen (1982). "An Interpretation of Macroscopic Irreversibility within the Newtonian Framework". *Philosophy of Science* **49**, págs. 309-354 (véase página 83).
- Huang, K. (1963). *Statistical Mechanics*. Nueva York: John Wiley & Sons (véase página 16).
- Hurtado de Mendoza, D. y M. de Asúa (1999). "Teorías del Calor entre 1750 y 1820". *Educación en Ciencias* **3**, págs. 37-46 (véase páginas 2, 3).

- Jenkins, Z. (2003). "Do You Need to Believe in Orbitals to Use Them?: Realism and the Autonomy of Chemistry". *Philosophy of Science* **70**, págs. 1052-1062 (véase página 156).
- Kac, M. (1959). *Probability and Related Topics in the Physical Sciences*. Nueva York: Interscience Publishers (véase página 97).
- Kant, I. (1781). *Kritik der Reinen Vernunft*. Versión española: *Crítica de la Razón Pura*, prólogo y notas de P. Ribas. Madrid: Alfaguara, 1978 (véase página 134).
- Karakostas, V. (1996). "On the Brussels School's Arrow of Time in Quantum Theory". *Philosophy of Science* **63**, págs. 374-400 (véase páginas 122, 125).
- Kemeny, J. y P. Oppenheim (1956). "On Reduction". *Philosophical Studies* **7**, págs. 6-19 (véase página 141).
- Kim, J. (1978). "Supervenience and nomological incommensurables". *American Philosophical Quarterly* **15**, págs. 149-156 (véase página 158).
- Koopman, B. (1932). "Hamiltonian Systems and Transformations in Hilbert Space". *Proceedings of the National Academy of Sciences* **18**, págs. 315-318 (véase páginas 32, 111).
- Kosso, P. (1998). *Appearance and Reality*. Oxford: Oxford University Press (véase página 128).
- Krylov, N. (1950). *Works on the Foundations of Statistical Physics*. Princeton: Princeton University Press (véase página 71).
- Kuhn, T. (1978). *La Teoría del Cuerpo Negro y la Discontinuidad Cuántica, 1894-1912*. Madrid: Alianza Editorial (véase páginas 12, 15-18, 61).
- Labarca, M. (2010). "Filosofía de la química: a poco más de diez años de su nacimiento". *Selección de Trabajos del VI Encuentro de Filosofía e Historia de la Ciencia del Cono Sur*. Ed. por R. Andrade Martins y col. Campinas: Asociación de Filosofía e Historia de la Ciencia del Cono Sur (AFHIC), págs. 414-422 (véase página 150).
- Labarca, M. y O. Lombardi (2007). "Irreversibilidad y pluralismo ontológico". *Scientiae Studia. Revista Latino Americana de Filosofía e História da Ciência* **5**, págs. 139-167 (véase página 150).
- (2008). "The End of the Dream of Unity". *Current Science* **94**, págs. 438-439 (véase página 158).
- (2010a). "Acerca del status ontológico de las entidades químicas: el caso de los orbitales atómicos". *Principia. Revista Internacional de Epistemología* **14**, págs. 309-333 (véase página 157).
- (2010b). "Why Orbitals Do Not Exist?" *Foundations of Chemistry* **12**, págs. 149-157 (véase página 157).
- Lakatos, I. (1971). "La historia de la ciencia y sus reconstrucciones racionales". *La Crítica y el Desarrollo del Conocimiento*. Ed. por I. Lakatos y A. Musgrave. Barcelona: Grijalbo (véase página 133).

- Lavis, D. (1977). "The Role of Statistical Mechanics in Classical Physics". *British Journal for the Philosophy of Science* **28**, págs. 255-279 (véase página 59).
- Lebowitz, J. (1993). "Boltzmann's Entropy and Time's Arrow". *Physics Today* **46**, págs. 32-38 (véase páginas 45, 57, 72).
- (1994). "Lebowitz Replies". *Physics Today* **47**, págs. 113-116 (véase páginas 57, 84).
- Lebowitz, J. y O. Penrose (1973). "Modern Ergodic Theory". *Physics Today* **26**, págs. 23-29 (véase páginas 55, 63, 64).
- Leeds, S. (1989). "Malament and Zabell on Gibbs Phase Averaging". *Philosophy of Science* **56**, págs. 325-340 (véase páginas 59, 69).
- Lombardi, O. (1998a). "La teoría del caos y el problema del determinismo". *Diálogos XXXIII*, págs. 21-42 (véase página 130).
- (1998b). "Prigogine: ciencia y realidad". *Crítica. Revista Hispanoamericana de Filosofía* **30**, págs. 47-75 (véase página 109).
- (1999a). "El fin de la omnisciencia: la respuesta de Prigogine al problema de la irreversibilidad". *Theoria. Revista de Teoría, Historia y Fundamentos de la Ciencia* **14**, págs. 489-510 (véase página 122).
- (1999b). "El problema de la irreversibilidad: Prigogine y la transformación del panadero". *Revista Latinoamericana de Filosofía XXV*, págs. 69-86 (véase página 118).
- (1999c). "Prigogine y la reducción en ciencias". *Cadernos de História e Filosofia da Ciência* **9**, págs. 123-145 (véase página 109).
- (2000a). "La interpretación de la irreversibilidad: Prigogine versus Gibbs". *Diálogos XXXV*, págs. 37-56 (véase página 124).
- (2000b). "Los aportes de Prigogine a la biología y a las ciencias sociales". *Revista Patagónica de Filosofía* **1**, págs. 67-96 (véase página 109).
- (2001). "La teoría del caos y sus problemas epistemológicos". *Revista de Filosofía LVII*, págs. 91-109 (véase página 130).
- (2002a). "Caos, ergodicidad e internalismo". *Revista Latinoamericana de Filosofía XXVIII*, págs. 7-33 (véase páginas 130, 133).
- (2002b). "Determinism, Internalism and Objectivity". *Between Chance and Choice: Interdisciplinary Perspectives on Determinism*. Ed. por H. Atmanspacher y R. Bishop. Thorverton: Imprint-Academic (véase páginas 130, 133, 158).
- (2003). "El problema de la ergodicidad en mecánica estadística". *Crítica. Revista Hispanoamericana de Filosofía* **35**, págs. 3-41 (véase página 75).
- (2006). "T-invariancia, irreversibilidad, flecha del tiempo: similares pero diferentes". *Física: Estudios Filosóficos e Históricos, Associação de Filosofia e História da Ciência do Cone Sul*, Campinas. Ed. por R. de Andrade Martins, G. Boido y V. Rodríguez, págs. 85-117 (véase página 27).

- (2011). “The Problem of Irreversibility, from Fourier to Chaos Theory: The Trajectory of a Controversy Space”. *Controversy Spaces. A model of scientific and philosophical change*. Ed. por O. Nudler. Amsterdam: John Benjamins, págs. 77-102 (véase página 32).
- (2012a). *Aspectos Filosóficos de la Teoría del Caos*. Buenos Aires: Editorial Universitaria Rioplatense (véase página 130).
- (2012b). “Prigogine and the Many Voices of Nature”. *Foundations of Chemistry* **14**, págs. 215-219 (véase página 109).
- Lombardi, O. y M. Castagnino (2010). “Matters are not so clear on the physical side”. *Foundations of Chemistry* **12**, págs. 159-166 (véase página 144).
- Lombardi, O. y M. Labarca (2004). “En defensa de la autonomía ontológica del mundo químico”. *Diálogos* **XXXIX**, págs. 51-70 (véase página 158).
- (2005a). “Los enfoques de Boltzmann y Gibbs frente al problema de la irreversibilidad”. *Crítica. Revista Hispanoamericana de Filosofía* **37**, págs. 39-81 (véase página 107).
- (2005b). “The Ontological Autonomy of the Chemical World”. *Foundations of Chemistry* **7**, págs. 125-148 (véase página 158).
- (2006). “The Ontological Autonomy of the Chemical World: A Response to Needham”. *Foundations of Chemistry* **8**, págs. 81-92 (véase página 158).
- (2007). “The Philosophy of Chemistry as a New Resource for Chemistry Education”. *Journal of Chemical Education* **84**, págs. 187-192 (véase página 158).
- (2011). “On the Autonomous Existence of Chemical Entities”. *Current Physical Chemistry* **1**, págs. 69-75 (véase página 158).
- Lombardi, O. y A. Pérez Ransanz (2011). “Lenguaje, ontología y relaciones interteóricas: en favor de un genuino pluralismo ontológico”. *Arbor. Ciencia, pensamiento y cultura* **187**, págs. 43-52 (véase página 133).
- (2012). *Los Múltiples Mundos de la Ciencia. Un realismo pluralista y su aplicación a la filosofía de la física*. México: UNAM y Siglo XXI (véase página 133).
- Luisi, P. (2002). “Emergence in Chemistry: Chemistry as the Embodiment of Emergence”. *Foundations of Chemistry* **4**, págs. 183-200 (véase páginas 153, 154).
- Mackey, M. (1989). “The Dynamic Origin of Increasing Entropy”. *Review of Modern Physics* **61**, págs. 981-1015 (véase página 34).
- Malament, D. y S. Zabell (1980). “Why Gibbs Phase Averages Work. The Role of Ergodic Theory”. *Philosophy of Science* **47**, págs. 339-349 (véase páginas 59, 69).

- Matta, C. y R. Gillespie (2002). "Understanding and Interpreting Molecular Electron Density Distributions". *Journal of Chemical Education* **79**, págs. 1141-1152 (véase página 156).
- Misra, B., I. Prigogine y M. Courbage (1979). "From Deterministic Dynamics to Probabilistic Descriptions". *Physica A* **98A**, págs. 1-26 (véase páginas 112, 114, 116).
- Nagel, E. (1961). *The Structure of Science*. Nueva York: Harcourt y Brace & World (véase páginas 141, 144).
- Nicolis, G. e I. Prigogine (1989). *Exploring Complexity. An Introduction*. Nueva York: Freeman & Company (véase páginas 100, 102, 113, 116-118, 121, 124).
- Nurse, P. (1997). "The Ends of Understanding". *Nature* **387**, pág. 657 (véase página 158).
- Nye, M. (1993). *From Chemical Philosophy to Theoretical Chemistry - Dynamics of Matter and Dynamics of Disciplines 1800-1950*. Berkeley: University of California Press (véase página 151).
- Ordóñez Rodríguez, F., ed. (1986). *Ludwig Boltzmann: escritos de mecánica y termodinámica*. Madrid: Alianza Editorial (véase página 13).
- Penrose, R. (1979). "Singularities and Time Asymmetry". *General Relativity, an Einstein Centenary Survey*. Ed. por S. Hawking y W. Israel. Cambridge: Cambridge University Press (véase página 37).
- Pérez Ransanz, A. (1999). *Kuhn y el Cambio Científico*. México: Fondo de Cultura Económica (véase página 136).
- Popper, K. (1956). *Quantum Theory and the Schism in Physics*. Totowa, NJ: Rowman and Littlefield. Versión española: *Teoría Cuántica y el Cisma en Física*. Madrid: Tecnos, 1985 (véase página 132).
- Price, H. (1996). *Time's Arrow and Archimedes' Point: New Directions for the Physics of Time*. Oxford: Oxford University Press (véase página 37).
- Prigogine, I. (1980). *From Being to Becoming. Time and Complexity in the Physical Sciences*. Nueva York: Freeman & Company (véase página 111).
- (1994). *Les Lois du Chaos*. París: Flammarion (véase página 132).
- Prigogine, I. y C. George (1983). "The Second Law as a Selection Principle: the Microscopic Theory of Dissipative Processes in Quantum Systems". *Proceedings of the National Academy of the Sciences of the United States of America* **80**, págs. 4590-4594 (véase página 122).
- Prigogine, I. e I. Stengers (1979). *La Nouvelle Alliance. Métamorphoses de la Science*. París: Gallimard. Versión española: *La Nueva Alianza. Metamorfosis de la Ciencia*. Alianza Editorial, Madrid, 1983 (véase páginas 102, 115-117, 120, 124, 132).
- (1984). *Order Out of Chaos. Man's New Dialogue with Nature*. Nueva York: Bantam Books (véase páginas 110, 120).

- (1988). *Entre le Temps et l'Éternité*. París: Fayard. Versión española: *Entre el Tiempo y la Eternidad*. Buenos Aires: Alianza Editorial, 1991 (véase páginas 102, 114).
- Primas, H. (1983). *Chemistry, Quantum Mechanics and Reductionism*. Berlin: Springer (véase página 153).
- (1994). “Hierarchic Quantum Descriptions and Their Associated Ontologies”. *Symposium on the Foundations of Modern Physics*. Ed. por K. Laurikainen, C. Montonen y K. Sunnarborg. Gif-sur-Yvette: Editions Frontières (véase página 144).
- (1998). “Emergence in Exact Natural Sciences”. *Acta Polytechnica Scandinavica* **91**, págs. 83-98 (véase página 144).
- Putnam, H. (1981). *Reason, Truth, and History*. Cambridge: Cambridge University Press. Versión española: *Razón, Verdad e Historia*. Madrid: Tecnos, 1988 (véase páginas 135-137).
- (1987). *The Many Faces of Realism*. La Salle III: Open Court. Versión española: *Las Mil Caras del Realismo*. Barcelona: Paidós, 1994 (véase página 137).
- Quay, P. (1978). “A Philosophical Explanation of the Explanatory Functions of Ergodic Theory”. *Philosophy of Science* **45**, págs. 47-59 (véase páginas 59, 80).
- Ramsey, J. (1997). “Molecular Shape, Reduction, Explanation and Approximate Concepts”. *Synthese* **111**, págs. 233-251 (véase página 157).
- Reichenbach, H. (1956). *The Direction of Time*. Berkeley: University of California Press (véase página 111).
- Richman, R. (1999). “In Defense of Quantum Numbers”. *Journal of Chemical Education* **76**, pág. 608 (véase página 156).
- Rohrlich, F. (1988). “Pluralistic Ontology and Theory Reduction in the Physical Sciences”. *British Journal for the Philosophy of Science* **39**, págs. 295-312 (véase páginas 144, 148).
- (1990). “There is Good Physics in Theory Reduction”. *Foundations of Physics* **20**, págs. 1399-1412 (véase páginas 144, 148).
- Sachs, R. (1987). *The Physics of Time Reversal*. Chicago: University of Chicago Press (véase página 37).
- Savitt, S. (1995). “Introduction”. *Time's Arrows Today*. Ed. por S. Savitt. Cambridge: Cambridge University Press (véase página 26).
- Scerri, E. (1991). “Electronic Configurations, Quantum Mechanics and Reduction”. *British Journal for the Philosophy of Science* **42**, págs. 309-325 (véase página 156).
- (1994). “Has Chemistry Been at Least Approximately Reduced to Quantum Mechanics?” *Proceedings of the Philosophy of Science Association*. Ed. por D. Hull, M. Forbes y R. Buria. Vol. 1. East Lansing: Philosophy of Science Association (véase página 150).

- Scerri, E. (2000a). "Realism, Reduction and the 'Intermediate Position'". *Of Minds and Molecules. New Philosophical Perspectives on Chemistry*. Ed. por N. Bhushan y S. Rosenfeld. Nueva York: Oxford University Press (véase página 156).
- (2000b). "The Failure of Reduction and How to Resist Disunity of the Sciences in the Context of Chemical Education". *Science & Education* **9**, págs. 405-425 (véase páginas 156, 157).
- (2004). "Just How Ab Initio is Ab Initio Quantum Chemistry?" *Foundations of Chemistry* **6**, págs. 93-116 (véase página 153).
- (2006). "Normative and Descriptive Philosophy of Science and the Role of Chemistry". *Philosophy of Chemistry: Synthesis of a New Discipline*. Ed. por D. Baird, E. Scerri y L. McIntyre. Dordrecht: Springer, págs. 119-128 (véase página 156).
- Scerri, E. y L. McIntyre (1997). "The Case for the Philosophy of Chemistry". *Synthese* **111**, págs. 213-232 (véase páginas 144, 152, 153).
- Searle, J. (1984). *Minds, Brains and Science*. Cambridge: Harvard University Press (véase página 158).
- Sears, F. (1952). *Termodinámica*. Barcelona: Reverté (véase página 11).
- Sklar, L. (1973). "Statistical Explanation and Ergodic Theory". *Philosophy of Science* **40**, págs. 94-212 (véase páginas 69, 70, 91).
- (1974). *Space, Time and Spacetime*. Berkeley: University of California Press (véase páginas 35, 37, 59, 69).
- (1993). *Physics and Chance*. Cambridge: Cambridge University Press (véase páginas 36, 56, 59, 61, 87-89, 119, 122).
- Tabor, M. (1989). *Chaos and Integrability in Nonlinear Dynamics*. Nueva York: John Wiley & Sons (véase página 30).
- Thompson, C. (1972). *Mathematical Statistical Mechanics*. Princeton: Princeton University Press (véase página 59).
- Tolman, R. (1938). *The Principles of Statistical Mechanics*. Oxford: Clarendon Press (véase páginas 13, 20, 59, 68, 70, 71, 88).
- Uffink, J. (2007). "Compendium of the Foundations of Statistical Physics". *Handbook for the Philosophy of Physics*. Ed. por J. Butterfield y J. Earman. Amsterdam: Elsevier, págs. 924-1074 (véase página 63).
- Van Brakel, J. (1997). "Chemistry as the Science of the Transformation of Substances". *Synthese* **111**, págs. 253-282 (véase página 151).
- (2000a). *Philosophy of Chemistry. Between the Manifest and the Scientific Image*. Leuven: Leuven University Press (véase páginas 151, 155).
- (2000b). "The Nature of Chemical Substances". *Of Minds and Molecules. New Philosophical Perspectives on Chemistry*. Ed. por N. Bhushan y S. Rosenfeld. Nueva York: Oxford University Press (véase páginas 155, 156).

- Vancik, H. (1999). "Opus Magnum: An Outline for the Philosophy of Chemistry". *Foundations of Chemistry* **1**, págs. 242-256 (véase página 151).
- Vauclair, S. (1993). *Eléments de Physique Statistique*. París: Interéditions (véase página 131).
- Vemulapalli, G. y H. Byerly (1999). "Remnants of Reductionism". *Foundations of Chemistry* **1**, págs. 17-41 (véase páginas 152, 153).
- Vicsek, T. (2002). "The Bigger Picture". *Nature* **418**, pág. 131 (véase página 158).
- Wannier, G. (1966). *Statistical Physics*. Nueva York: John Wiley & Sons (véase página 13).
- Wasserman, E. y H. Schaefer (1986). "Methylene Geometry". *Science* **233**, pág. 829 (véase página 151).
- Wilson, M. (1989). "John Earman's: A Primer on Determinism". *Philosophy of Science* **56**, págs. 502-532 (véase página 145).
- Woolley, R. (1982). "Natural Optical Activity and the Molecular Hypothesis". *Structure and Bonding* **52**, págs. 1-35 (véase página 155).

Índice de autores

- Aiello, M., 35, 165
Albert, D., 29, 165
Anderson, P., 158, 165
Andrade Martins, R., 169
Arnold, V., 66, 165
Arntzenius, F., 29, 165
Atmanspacher, H., 142, 165, 170
Avez, A., 66, 165
- Badino, M., 63, 165
Baird, D., 174
Batterman, R., 71, 112, 125, 144,
165
Benfey, T., 152, 154, 165
Bhushan, N., 174
Bishop, R., 170
Boido, G., 170
Boltzmann, L., 17, 165
Born, M., 131, 166
Bricmont, J., 45, 50, 51, 57, 60,
61, 69, 72, 97, 99, 132,
166
Brush, S., 11, 166
Budenholzer, F., 157, 166
Bunge, M., 24, 153, 166
Burbury, S., 17, 166
Buria, R., 173
Butterfield, J., 174
Byerly, H., 152, 153, 175
- Carnot, N., 4, 166
- Castagnino, M., 29, 34, 35, 68,
124, 130, 144, 147,
165–167, 171
Clark, P., 130, 167
Clausius, R., 9, 167
Courbage, M., 112, 114, 116,
122, 167, 172
Culverwell, E., 17, 167
- De Andrade Martins, R., 170
De Asúa, M., 2, 3, 168
Dirac, P., 151, 154, 167
Driebe, D., 83, 102, 123, 167
- Earman, J., 25, 35, 37, 59, 69, 70,
73, 74, 77, 167, 174
Ehrenfest, P., 56, 168
Ehrenfest, T., 56, 168
Emerson, K., 156, 168
Emmeche, C., 157, 168
- Forbes, M., 173
Friedman, K., 59, 91, 168
Frigg, R., 63, 168
- Gadella, M., 124, 166
García Colín Scherer, L., 5, 168
George, C., 122, 172
Gibbs, J., 18, 55, 56, 71, 83, 168
Gillespie, R., 156, 172
Gilli, G., 158, 168
Grünbaum, A., 36, 168
Guttmann, Y., 70, 168

- Hacking, I., 127, 168
 Hawking, S., 172
 Heisenberg, W., 131, 168
 Hill, T., 59, 168
 Hoffman, R., 153, 168
 Hollinger, H., 83, 168
 Huang, K., 16, 168
 Hull, D., 173
 Hurtado de Mendoza, D., 2, 3,
 168
 Israel, W., 172
 Jenkins, Z., 156, 169
 Køppe, S., 157, 168
 Kac, M., 97, 169
 Kant, I., 134, 169
 Karakostas, V., 122, 125, 169
 Kemeny, J., 141, 169
 Kim, J., 158, 169
 Koopman, B., 32, 111, 169
 Kosso, P., 128, 169
 Kronz, F., 142, 165
 Krylov, N., 71, 169
 Kuhn, T., 12, 15–18, 61, 169
 Labarca, M., 107, 150, 157, 158,
 169, 171
 Lakatos, I., 133, 169
 Lara, L., 29, 35, 166, 167
 Laurikainen, K., 173
 Lavis, D., 59, 170
 Lebowitz, J., 45, 55, 57, 63, 64,
 72, 84, 170
 Leeds, S., 59, 69, 170
 Lombardi, O., 27, 29, 32, 34, 35,
 68, 75, 107, 109, 118,
 122, 124, 130, 133,
 144, 147, 150, 157,
 158, 165–167, 169–171
 Luisi, P., 153, 154, 171
 Mackey, M., 34, 171
 Malament, D., 59, 69, 171
 Matta, C., 156, 172
 McIntyre, L., 144, 152, 153, 174
 Misra, B., 112, 114, 116, 172
 Montonen, C., 173
 Musgrave, A., 169
 Nagel, E., 141, 144, 172
 Nicolis, G., 100, 102, 113,
 116–118, 121, 124, 172
 Nudler, O., 171
 Nurse, P., 158, 172
 Nye, M., 151, 172
 Oppenheim, P., 141, 169
 Ordóñez Rodríguez, F., 13, 172
 Pérez Ransanz, A., 133, 136, 171,
 172
 Penrose, O., 55, 63, 64, 170
 Penrose, R., 37, 172
 Popper, K., 132, 172
 Price, H., 37, 172
 Prigogine, I., 100, 102, 110–118,
 120–122, 124, 132,
 167, 172, 173
 Primas, H., 144, 153, 173
 Putnam, H., 135–137, 173
 Quay, P., 59, 80, 173
 Rédei, M., 59, 69, 70, 73, 74, 77,
 167
 Ramsey, J., 157, 173
 Reichenbach, H., 111, 173
 Richman, R., 156, 173
 Rickles, D., 168
 Rodríguez, V., 170
 Rohrlich, F., 144, 148, 173
 Rosenfeld, S., 174
 Sachs, R., 37, 173

ÍNDICE DE AUTORES

- Savitt, S., 26, 173
Scerri, E., 144, 150, 152, 153,
156, 157, 173, 174
Schaefer, H., 151, 175
Searle, J., 158, 174
Sears, F., 11, 174
Sklar, L., 35–37, 56, 59, 61, 69,
70, 87–89, 91, 119,
122, 174
Stengers, I., 102, 110, 114–117,
120, 124, 132, 172, 173
Stjernfelt, F., 157, 168
Sunnarborg, K., 173
- Tabor, M., 30, 174
Thompson, C., 59, 174
Tolman, R., 13, 20, 59, 68, 70,
71, 88, 174
- Uffink, J., 63, 174
- Van Brakel, J., 151, 155, 156, 174
Vancik, H., 151, 175
Vauclair, S., 131, 175
Vemulapalli, G., 152, 153, 175
Vicsek, T., 158, 175
- Wannier, G., 13, 175
Wasserman, E., 151, 175
Wilson, M., 145, 175
Woolley, R., 155, 175
- Zabell, S., 59, 69, 171
Zenzen, M., 83, 168