

Materia

Alberto Strumia

Modo de citar:

Strumia, Alberto. 2016. "Materia". En Diccionario Interdisciplinar Austral, editado por Claudia E. Vanney, Ignacio Silva y Juan F. Franck. URL=<http://dia.austral.edu.ar/Materia>

Versión española de [Matter](#), de la Interdisciplinar Encyclopedia of Religion and Science.

Traducción: María Ayelen Sanchez

En el lenguaje común, cotidiano, solemos llamar “materia” a todo aquello que cae dentro de la percepción directa de nuestros sentidos externos: llamamos “material” a lo que podemos ver, tocar, oler, saborear y oír. Ésta es una definición adecuada en el nivel macroscópico (humano). En el lenguaje cotidiano llamamos a los objetos materiales “cuerpos”, especialmente si ellos son sólidos, pero en un sentido más amplio este término puede también incluir líquidos, gases y cosas tales que son observables indirectamente por medio de instrumentos de medición. Con el término materia nos referimos indiscriminadamente a un tipo de material constitutivo de los cuerpos, sin referencia a cómo este material difiere en los diversos tipos de objetos corpóreos.

La necesidad de introducir semejante terminología surge, a primera vista, de la necesidad de distinguir lo que causa una experiencia sensorial de lo que reside en el origen de una experiencia de naturaleza no sensorial (tal como la experiencia interna del pensar, del sentir emociones, recordar y desear, experiencias que aparecen como fundamentalmente imponderables e inmateriales).

El tema se torna complicado cuando se considera un análisis más detallado, incluyendo a fenómenos tales como la luz, o a áreas de investigación que abarcan los mundos microscópicos, biológicos o psicológicos. Como veremos más adelante, sólo una examinación cuidadosa nos permitirá adquirir una mejor comprensión de las características de esos “mundos” y elaborar un significado más preciso del término “materia”, tanto de manera independiente como en relación a tales mundos.

Históricamente, dos aproximaciones al problema de la materia han sido adoptadas: podemos llamar a una aproximación “filosófica-metafísica”, mientras que a la otra hoy en día la llamaríamos “científica”. Cada una de estas formas de abordar el problema, si son conducidas de manera correcta, nos ofrecen intuiciones muy significativas en vistas a responder la pregunta “¿qué es la materia?”. Estos enfoques son mutuamente complementarios en la medida en que consideran el mismo objeto desde diferentes puntos de vista: el “cuantitativo-relacional” (científico) y el “entitativo” (filosófico). Intentaré examinar ambos en la medida de lo posible.

1 La materia como un concepto filosófico-teológico [↑](#)

En esta sección consideraré las diferencias cualitativas, o mejor aún, metafísicas, entre las diversas formas de aproximación al tema de la materia. También señalaré aquellos aspectos que conciernen más directamente a la teología, los cuales son tratados de manera más extensa en otros trabajos pertinentes mencionados en el texto.

1.1 La aproximación física [↑](#)

En la antigüedad clásica, alrededor del siglo VI a.C., la ciencia y la filosofía no eran aún disciplinas separadas. El pensamiento racional y demostrativo de la ciencia y la filosofía había comenzado a desarrollarse y a sobrepasar a la cultura mítica, la cual estaba dirigida en mayor medida a comunicar verdades fundamentales que a analizar la estructura del cosmos. En ese momento, los filósofos jonios como Tales, Anaxímenes, Anaximandro, etc. (más tarde conocidos como “los físicos”, dado que ellos estudiaban la naturaleza [*Gr. physis*]), plantearon el problema de los elementos constitutivos del mundo sensible (cf. Daumas 1957).

La tendencia de la mente humana entonces, tanto como ahora, fue la de reducir la descripción del mundo a unos pocos elementos constitutivos unificadores. Al igual que los físicos hoy en día verifican que los quarks del “modelo estándar” (cf. H. Firetzsch 1983; Cohen-Tannoudji y Spiro 1988) son los componentes fundamentales del universo, (aunque ellos están dispuestos a cambiar el modelo si se probara que este resulta inadecuado, o si alguien encontrara una teoría mejor), así también los antiguos indagadores del mundo físico explicaron, de una manera más simple, cada grado de peso y densidad, tanto como cada propiedad cualitativa, como una mezcla con mayor o menor concentración de uno de los cuatro elementos, a saber, la tierra, el agua, el aire y el fuego, (el pensamiento de Empédocles proponía la mezcla de cantidades precisas de los elementos arriba mencionados). A pesar de lo ingenua que esta descripción debe sonar hoy en día, (y, para el caso, por mucho que pueda parecer demasiado “cualitativa”), no difiere sustancialmente, desde un punto de vista filosófico y metodológico, de la manera de proceder actualmente. De hecho, al igual que hoy en día, los antiguos buscaban los elementos constitutivos homogéneos con respecto a las cosas que ellos estaban tratando de describir y explicar. Este método es llamado “reduccionista” y es, en esencia, el más simple que puede ser adoptado. Para explicar la naturaleza de los diferentes objetos corpóreos, concebimos una descripción de estos como compuestos por cuerpos aún más pequeños (microscópicos), los cuales se agrupan entre sí, y no son más que porciones mínimas de los elementos que pueden encontrarse en la naturaleza, aunque en cantidades macroscópicas. Para los antiguos investigadores de la naturaleza, una partícula de “tierra” estaba hecha de la misma “tierra” que el suelo que pisamos, tanto como para nosotros una partícula es “materia” de la misma manera en que lo es la mesa en la cual apoyamos un libro. Nadie diría que un protón o un quark no son materia. El problema, en cambio, se convierte en el de entender la naturaleza de la materia común a todos los objetos tanto microscópicos como macroscópicos, si ésta es un constituyente primario e irreductible o si, en cambio, es un efecto de algo distinto.

No es por casualidad que estos constituyentes elementales a veces son llamados los “bloques de construcción” de los cuales está hecho el universo y los bloques de construcción de una casa están hechos de la misma materia que la casa entera. Como una prueba de la continuidad sustancial de la manera en que el problema es planteado, hay una cierta familiaridad que los científicos de hoy en día sienten respecto a pensadores como Demócrito (460-360 a.C.), quien ideó la primera teoría atómica de la materia.

1.2 La aproximación matemática [↑](#)

La postura de Pitágoras (570-490 a.C.) y sus seguidores es particularmente interesante, incluso desde un punto de vista moderno, ya que ubica a la matemática en el fundamento de toda explicación de la naturaleza (cf. Daumas 1957). De acuerdo con esta perspectiva, existen “puntos” en lugar de materia, lo cual nos retrotrae a una descripción geométrica del espacio físico. Podríamos tender a pensar en los “puntos materiales” de la mecánica racional moderna, pero los pitagóricos estaban menos preocupados en describir los aspectos ponderables de la naturaleza que en comprender su orden, su armonía y musicalidad a través de relaciones numéricas. En este sentido, ellos se desplazaron desde una descripción del cosmos “materialista” a una descripción “abstracta”. Además, una vez que los pitagóricos descubrieron la correspondencia entre los puntos de una línea y los números, la descripción se volvió geométrica y aritmética a la vez o, como suele decirse habitualmente, “aritmético-geométrica”. La crisis de los números “irracionales”, no obstante, no fue completamente superada hasta varios siglos después, y su matematización, en la cual estuvo basada la vida entera y el pensamiento de Pitágoras, llegó a una crisis y cayó en un largo periodo de estancamiento.

1.3 La aproximación metafísica [↑](#)

En esta instancia, llega el momento de hacer el cambio desde una perspectiva física y/o matemática a una aproximación metafísica. El problema de entender la realidad ya no involucra la pregunta ¿cuáles son los elementos constitutivos?, sino más bien “¿cómo es posible el cambio?”. Es decir, el problema de entender la realidad implica la pregunta sobre el devenir. Nosotros experimentamos, al mismo tiempo, cambio e identidad en las cosas. La indagación filosófica cambia el foco desde los elementos constitutivos del universo, (los “bloques de construcción”), a los principios que explican su existencia y su cambio. Estos principios no son reductibles a componentes corpóreos y, consiguientemente, observables, porque tales principios son de una naturaleza completamente diferente a la de los objetos corpóreos. Sin embargo, deben ser postulados por razones lógicas para explicar el comportamiento de las cosas, especialmente el de los objetos corpóreos. Más aún, cada uno de estos principios es indispensable para entender la realidad dado que, si son ignorados, se cae en contradicciones o se encuentra que ya no es posible ir más allá de un cierto grado de conocimiento.

Todo objeto corpóreo, y esto es particularmente evidente en los cuerpos vivos, cambia en parte durante su existencia y en parte permanece igual y conserva su identidad. Si solo hubiese un principio detrás del ser, si solo hubiesen “bloques de construcción” (i.e. la materia), un objeto no continuaría siendo el mismo, estos “bloques de construcción” deberían ser reemplazados por otros. De esta manera, uno ya no podría ser capaz de decir que un humano, o un ser viviente, es siempre el mismo ser vivo durante el curso de su vida, una vez que las partículas que lo componen son reemplazadas. Por lo tanto, es necesario otro principio, en adición al principio de la materia, que garantice la identidad y la permanencia en medio de los cambios de la materia constituyente. Aristóteles (384-322 B.C.) llamo a este principio inmaterial “forma sustancial”, la cual permite que una entidad sea y permanezca siendo lo que es durante toda su existencia. Nuestra concepción de la información es probablemente lo más cercano al concepto Aristotélico de forma.

Nos encontramos frente a una descripción de los objetos corpóreos como una síntesis (Gr. *synolon*), esto es, como el resultado de dos principios constitutivos, (co-principios, en tanto que operan juntos), que no son ellos mismos cuerpos, sino que son de una naturaleza completamente diferente. Ellos no son observables ni homogéneos con respecto a los objetos corporales pero hacen posible la existencia y el cambio de tales objetos. Ellos son “materia”, la cual es el fundamento común de la corporeidad, y “forma”, la cual aporta la información necesaria en la materia y así ésta se torna este objeto particular con sus propiedades particulares. Esta es la base de la teoría “hilemórfica”. En este punto es necesario hacer algunas precisiones. Hasta ahora he usado la palabra “materia” para indicar algo que es de la misma naturaleza, que es “lo mismo” que los cuerpos, mientras que en Aristóteles la materia aparece como un “principio” de naturaleza diferente, una pura potencialidad para recibir el principio activo e informativo, el cual es la “forma”. Es necesario, por lo tanto, distinguir entre dos tipos de materia: hay “materia prima”, la cual es un “principio”, (la pura potencialidad para recibir formas), y “materia secundaria”, la materia que ya está activada por una forma, que es de la misma naturaleza que los cuerpos observables y es el material del cuales ellos están hechos. Esta “materia secundaria” no es otra cosa que lo que hoy en día llamamos simplemente “materia” tanto en el lenguaje diario como en el científico. Es homogénea con los objetos corporales y es una “cosa” (Lat. *ens quod*), mientras que la “materia prima”, (así como la “forma”), no es una “cosa”, sino un principio “a través del cual” (Lat. *ens quo*) las cosas son como son.

Este tipo de investigación metafísica sobre la naturaleza de los constituyentes del mundo corporal requiere una concepción de la entidad de acuerdo con diversos modos diferentes, tales como un *ens quod*, o un *ens quo*, más que de acuerdo con un modo simple y homogéneo (unívoco), tal como el ser de Parménides, (siempre idéntico a sí mismo y exento de cambios), o el puro ser de Heráclito (libre de identidad permanente). Por el contrario, semejante concepción requiere una gradación de modos de ser una entidad, gradación que incluye principios “potenciales” como la materia prima, principios “activos” como la forma y “cosas” ya actualizadas en diferentes grados.

1.4 Materia y espíritu: aspectos filosóficos-teológicos [↑](#)

La filosofía, a diferencia de la física y las ciencias naturales, a lo largo de su historia se ha involucrado no solo con el

estudio del mundo sensible sino también en el análisis de la experiencia interior del hombre, caracterizada fundamentalmente por su inteligencia y su voluntad. Este análisis ha conducido, en adición a los conceptos de materia primaria y secundaria, a un principio completamente inmaterial, usualmente conocido como espíritu o alma. Aristóteles usó el término “alma” para señalar la forma de vida sustancial de los seres vivos, distinguiendo en ella las facultades vegetativas, sensitivas y racionales, siendo las primeras dos compartidas con otros animales y las últimas únicas para las personas humanas.

El término “espíritu” más tarde fue utilizado mayormente en sentido genérico, mientras que el término “alma”, usado cada vez más frecuentemente para indicar el alma humana, denotó el principio espiritual del cual un individuo racional, tal como una persona humana, está dotado. El término “espíritu” es utilizado también en filosofía y teología para indicar la naturaleza de los seres superiores y completamente inmateriales, tales como los ángeles o Dios. Remitimos al lector a otras entradas relacionadas para un tratamiento más completo de estos temas y de su relación con el tópico de la materia.

En la historia de las culturas humanas, en relación con el pensamiento religioso la materia ha sido frecuentemente considerada un elemento relativo a la corrupción, a la degradación y al mal, porque ha sido vista en oposición al espíritu y a las realidades inmateriales en general. La filosofía de Platón no fue ajena a esta visión: el cuerpo, por ejemplo, es visto como una prisión del alma. Una de las contribuciones originales de la Cristiandad, siguiendo al Judaísmo, ha sido la de considerar la bondad intrínseca de la materia. En el cristianismo, la dialéctica del bien y el mal cambia su foco desde el paradigma del espíritu/materia, el cual es en cierto sentido extraño a la dimensión moral, al corazón humano, esto es, a la vida interior de una persona. En este sentido, las reflexiones de los Padres de la Iglesia, (Ireneo, Tertuliano y Agustín), quienes se opusieron al maniqueísmo y a las doctrinas dualistas en general, son bien conocidas. La materia y la corporeidad son buenas, así como lo son las realidades espirituales, porque ellas han sido creadas por el mismo Dios. La significancia teológica de la materia y su ser ordenado hacia Dios, es entonces reflejada precisamente en el trabajo de santificación de la Iglesia. De hecho, ella confía a la “materia” de los sacramentos la función de significar de manera eficaz el orden de la gracia, como por ejemplo el agua lo hace en el sacramento del bautismo, o incluso de actualizar este orden, como ocurre en la transustanciación del pan y del vino en la carne y la sangre de Jesucristo en el sacramento de la eucaristía.

Desde una perspectiva filosófico-teológica, la materia es a veces reducida a la idea de materialismo, del cual esta debe ser apropiadamente distinguida. La fusión de los atributos del espíritu a los de la materia o, conversamente, la espiritualización de la materia, puede arrojar varias formas de panteísmo. Las enseñanzas cristianas, con respecto a esto, lo exhortan a uno a no ver el mundo entero como si fuese solo materia y lo disponen a uno mismo a reconocer la actuación del espíritu. Esta actuación, incluso aunque es realizada a través de materia visible y sensible, trasciende a la materia en su origen.

2 La investigación científica sobre la naturaleza de la materia [↑](#)

La ciencia moderna, basada en el método de Galileo, abandonó la aproximación metafísica para retomar la aproximación física de los filósofos jonios y la aproximación matemática de los pitagóricos, restituyendo y, en cierto sentido, unificando ambas. La intención de esta sección no es tanto dar una descripción completa de las diferentes teorías científicas de la materia como poner de relieve los cambios en el concepto de materia que el pasaje de un paradigma a otro ha supuesto (para el clásico concepto de “paradigma”, cf. Kuhn 1966).

2.1 La teoría atómica de la materia [↑](#)

El éxito de la mecánica galileana y newtoniana parece sugerir naturalmente una descripción mecánica (mecanismo) de toda la realidad corpórea. Desde este punto de vista, el esquema unificado más simple capaz de dar cuenta de las diferentes densidades de las cosas corpóreas, desde los sólidos hasta los líquidos y los gases, fue el atomismo de Demócrito. Luego de que Dalton (1766-1844) ideó la primera prueba experimental de la teoría atómica, el atomismo

obtuvo suficiente mérito científico como para ser colocado a la par de la ya bien establecida mecánica newtoniana. Así, mientras la teoría atómica dio una descripción de la “estructura de la materia”, base sobre la cual toda la química fue desarrollada, la mecánica newtoniana fue la herramienta con la cual la “dinámica”, (esto es, la evolución de un sistema en el tiempo), fue descripta. Sobre la base de esto último, la teoría cinética de los gases y, más generalmente, la mecánica estadística fue desarrollada, la cual constituyó el primer modelo mecánico microscópico en explicar la teoría macroscópica de la termodinámica. El desarrollo de la física clásica puede, por lo tanto, ser examinado desde dos puntos de vista: desde el punto de vista de la estructura de la materia, el cual adopto en esta entrada, y desde el punto de vista de su “dinámica”.

2.2 Materia y radiación [↑](#)

Sucesivamente, (comenzando por el siglo XIX), la física clásica se ha enfrentado con otros fenómenos a describir, tales como la luz, la electricidad y el magnetismo. ¿Cuál es la naturaleza física de la luz? ¿Está hecha de corpúsculos de materia, en cuyo caso, corpúsculos que serían tan pequeños como para parecer prácticamente inmateriales al observador? Con su teoría corpuscular, Newton (1642-1727) propuso ese modelo material de la luz, pero éste no se correspondió completamente con la experiencia, (los experimentos que miden la velocidad de la luz, por ejemplo, dejaron en claro que la luz se propaga en un medio refractivo a una velocidad de c/n , donde c es la velocidad de la luz en el vacío, aproximadamente 3×10^8 m/sec. y n es el índice de refracción del medio, más que la velocidad $c \times n$ requerida por la teoría newtoniana). Con su teoría ondulatoria de la luz, Huygens (1629-1695) explicó el fenómeno de la luz como una vibración periódica mecánica que se propaga en un “éter” casi imponderable y predijo, (en adición a la velocidad correcta de la propagación en un medio refractivo), el fenómeno de la interferencia, posteriormente observado experimentalmente por Young en 1810. Las ecuaciones de Maxwell (1831-1879), que rigen en los fenómenos electromagnéticos, permitieron que la naturaleza de la luz fuese interpretada como un fenómeno de onda, pero uno de naturaleza electromagnética más que mecánica. Si, por lo tanto, la naturaleza de la luz es reducida a la de una onda electromagnética, el problema cambia desde la mecánica a la naturaleza de la electricidad y el magnetismo, dos fenómenos distintos que fueron unificados por Maxwell.

Con el electromagnetismo surgió el concepto de “campo” como un vehículo que transporta energía de manera no reducible conceptualmente a la energía cinética de la mecánica de partículas, a pesar de que ambos son convertibles. El concepto de radiación fue el primero en ser ubicado junto, y luego en oposición a, el de materia, y así incluso el concepto de energía asociado con la radiación comenzó a verse en oposición al concepto de materia. Se comenzó a hablar de la energía no más como una propiedad “de algo”, como un atributo del campo que lo transporta, sino como “algo”, como si fuese una entidad autónoma como la materia, y de una naturaleza en cierto sentido diferente a esta última. Esta concepción de la energía es también favorecida por el hecho de que está sujeta a una ley de conservación como la de la masa: si “nada es creado y nada es destruido”, como afirmó Lavoisier (1743-1794) para la masa-materia, esto también es verdadero para la energía, la cual es conservada incluso si se transforma de una forma a otra. ¿Cómo difieren la materia y la energía de acuerdo con la física clásica del siglo XIX? Ellas difieren a causa de dos características fácilmente identificables. La primera es el hecho de que la materia posee “masa”, mientras que la energía no. De hecho, esta es la propiedad que permite definir la materia misma, interpretando la masa como una “cantidad de materia”. Materia es lo que posee masa, mientras que la energía puede subsistir independientemente de la materia en la forma de un campo electromagnético que no tiene masa, además de que es capaz de ser transportada por la masa en la forma de energía cinética. En segundo lugar, la materia se presenta en forma discreta, como átomos y partículas (por ejemplo, iones, electrones), mientras que la energía aparece como un continuo, si es asociada con el movimiento de una partícula (energía cinética) o toma la forma de radiación.

2.3 Las teorías de la relatividad de Einstein [↑](#)

Con la teoría de la relatividad de Albert Einstein (1879-1955), es decir, su teoría de la “relatividad especial” (1905), fue establecida la famosa equivalencia de masa y energía, cuantificada por la fórmula $E= mc^2$ y, así, la primera de las dos propiedades antes mencionadas, la cual distinguía la masa de la energía, tal como fue entendida entonces,

comenzó a ser desacreditada. Por un lado, la “masa” de una partícula en reposo parece ella misma como una forma de energía “concentrada” (energía en reposo). Por otro lado, al irradiar energía demuestra su carácter material tan pronto como esta adquiere propiedades inerciales y gravitacionales de acuerdo con la masa E/c^2 asociada con ella. Al mismo tiempo, la descalificación por parte de Einstein al éter de Lorentz como inobservable, y su reemplazo por el “vacío”, dio a la energía un aún más acentuado carácter de auto-suficiencia. La energía de la radiación ya no necesita más un soporte, esto es, un vehículo que la transporte (la sustanciación de la energía).

La teoría de la “relatividad general” (1916) nos conduce a dar otro interesante paso en nuestra investigación de la naturaleza de la materia. Esta teoría asocia las propiedades “métricas” (curvatura) del espacio y el tiempo, (ya unificados por la representación geométrica del espacio-tiempo de la relatividad especial, desarrollada por Minkowski), con la distribución de masa-energía presente en el espacio-tiempo mismo, en la forma de materia y campos no-gravitacionales. El espacio y tiempo absolutos de Newton, entendidos como un contenedor vacío, pre-formado, en el cual la materia es luego ubicada, es reemplazado por un espacio-tiempo cuyas propiedades métricas son definidas por la presencia de la materia misma. Con la relatividad especial, el espacio y el tiempo ya no son descriptos como dos entidades independientes sino como una sola estructura geométrica de cuatro dimensiones (de las cuales tres son como el espacio y una es como el tiempo). Con la relatividad general, espacio-tiempo es curvado cerca de las masas, y ya no es descripto por medio de la geometría euclidiana sino más bien por medio de la geometría de Riemann (1826-1866), de tal manera que las trayectorias inerciales (geodésicas) de los cuerpos celestes, los cuales se mueven dentro de ellas, son los mismo en un espacio-tiempo plano en el cual, sin embargo, la gravedad está presente. De esta manera, la curvatura reemplaza y describe los efectos de la gravedad misma.

2.4 Mecánica cuántica [↑](#)

La mecánica cuántica da nuevos pasos hacia la unificación, (a pesar de que trae consigo muchos problemas que necesitan ser aclarados relacionados con las paradojas a las que da lugar [cfr. por ejemplo, Selleri 1987]). Por un lado, la formulación no relativista de la mecánica cuántica, con la ecuación propuesta en 1926 por Schrödinger (1887-1961), atribuye propiedades ondulatorias inclusive a la materia, siguiendo con el descubrimiento de De Broglie (1892-1987) en 1922. Por otro lado, la formulación relativista de la mecánica cuántica introduce, con el concepto de “fotón”, la discreción del espectro de energía del campo electromagnético (electrodinámica cuántica), ya conjeturada por Einstein en su famosa interpretación del efecto fotoeléctrico (1905), la cual le valió el Premio Nobel, y de los campos en general (teoría de los campos cuánticos).

En este escenario, la materia de las partícula-ondas y la energía de los protones-onda aparecen conceptualmente indistinguibles. No obstante, la mecánica cuántica introduce un criterio de distinción que fue nuevo y a su vez viejo: nuevo en cuanto a su formulación matemática, y viejo debido a su contenido filosófico. Desde el punto de vista matemático, el criterio es dado por las diferentes estadísticas a las que las ondas-partículas obedecen. Algunas de estas, (los “fermiones”, partículas de spin semi-entero), que obedecen las estadísticas de Fermi-Dirac, (a diferencia de las otras, “bosones”, partículas con spin íntegro que obedecen las estadísticas de Bose-Einstein), están sujetas al “principio de exclusión” de Pauli que no permite que dos partículas idénticas tengan números cuánticos idénticos en el mismo lugar y al mismo tiempo. Este hecho es interpretado como la imposibilidad de dos fermiones superpuestos. Esto es reconocido, filosóficamente hablando, como la propiedad característica de la materia, mientras que los bosones no están sujetos a esta restricción y se comportan como la radiación. Los fermiones, de hecho, son las partículas que conforman la materia, (protones, neutrones, electrones, etc.), mientras que los bosones son las partículas de campo que transportan la energía de la interacción, (fotones, gluones, partículas W y Z⁰ y también gravitones, cuya existencia no está confirmada experimentalmente aún).

Es importante notar que una de las consecuencias más importantes de la mecánica cuántica relativista fue la predicción de las “antipartículas”, que han sido denominadas “antimateria”, acerca de las cuales mucho se ha especulado. Esta predicción fue trabajo de Paul Dirac (1902-1984) quien descubrió, en adición a la solución de su famosa ecuación que correspondía al electrón bien conocida experimentalmente entonces, otra solución que resultó ser idéntica a la del electrón, con la diferencia de un cambio de signo en t (con las mismas propiedades: masa, carga eléctrica, spin, etc). Al principio esta solución fue interpretada como un electrón que viajó hacia atrás en el tiempo.

Esta interpretación, sin embargo, resultó ser no-física. De hecho, los científicos se dieron cuenta de que, alternativamente, uno podía interpretar la misma solución como una partícula idéntica al electrón, la cual viajaba hacia adelante en el tiempo pero que poseía la carga eléctrica opuesta. Este electrón positivo, o positrón, fue descubierto experimentalmente. Más tarde fueron descubiertas las antipartículas a todas las partículas conocidas, incluso para las partículas eléctricamente neutras, las cuales fueron, no obstante, descritas por otros números cuánticos de signo opuesto y capaces de “aniquilarse a sí mismas” con las partículas correspondientes y liberar energía en forma de radiación. El problema sigue siendo el de entender de por qué nuestro universo se compone casi exclusivamente de materia en vez de antimateria. Este problema de la “ruptura de la simetría” es probablemente uno de los problemas más investigados en la teoría de las partículas y en la cosmología en las últimas décadas. Un gran desafío de la física actual, el cual probó por sí mismo ser capaz de unificar la cosmología con la física de las partículas, fue representado por el experimento montado en el LHC, en el CERN, con el objetivo preciso de verificar si el bosón de Higgs (responsable de la masa en reposo de las partículas pesadas, de acuerdo con el modelo estándar), existe realmente. Los físicos consideraron a éste un experimento crucial para poner a prueba la validez del modelo estándar. Los resultados de este experimento, (o, mejor dicho, diversos experimentos realizados de acuerdo a diferentes tipos de pruebas y de máquinas), fueron presentados oficialmente en julio del 2013 con el anuncio de la detección de un bosón escalar parecido a la partícula de Higgs. Resultados posteriores han confirmado que la partícula detectada “se parece cada vez más a un bosón de Higgs” (según declara el CERN).

2.5 La organización de la materia: información y complejidad [↑](#)

El estudio de la materia en organismos vivos es el objeto de la biología. No obstante, la superposición con la química y la física ha sido siempre significativa por varias razones, principalmente porque el uso de un reduccionismo metodológico requiere que todas las ciencias naturales sean reducidas a la física, la ciencia galileana por excelencia. Por esta razón, se espera que el vínculo entre la biología y la física sea representado por la química orgánica. Otra razón para esta superposición fueron los grandes descubrimientos experimentales y teóricos de la biología molecular, tales como el código genético del ADN y el modelo de la doble hélice de Watson y Crick (1953), lo cuales fueron en este sentido una confirmación de gran importancia. El mapeo del genoma humano (1990-2003) representó un mayor progreso en la misma dirección, aunque este también abrió nuevos e inesperados interrogantes relativos a la complejidad y la consecuente crisis del reduccionismo.

Recientemente, con los físicos y matemáticos reanudando un estudio sistemático de sistemas no-lineales, (un campo de estudio inaugurado por Poincaré y luego abandonado por algunas décadas luego de su muerte), en paralelo con el nacimiento de la ciencia de la complejidad, la cual gradualmente involucró a todas las ciencias en su problemática, el proceso reduccionista se detuvo y la relación entre física y biología cambió radicalmente. En cierto sentido, puede decirse que hoy en día es el biólogo quien propone un modelo epistemológico al físico y no viceversa.

El hecho de que en una ecuación diferencial no-lineal la suma de dos o más soluciones no es generalmente una solución, constituye las bases matemáticas de la crisis del reduccionismo, dado que esto no permite la división de una solución describiendo una estructura compleja, o del “todo” en soluciones más sencillas, el cual describe sus partes vistas como aisladas unas de otras. La primera característica, elemental y no-reduccionista de un sistema físico no-lineal, encuentra su contraparte en prácticamente todas las ciencias (ver más abajo, VII). Otros aspectos de la complejidad conciernen en cambio a la dinámica de los sistemas que, a causa de su no-linealidad, se comportan de manera “impredecible” y, cuando ellos son disipativos, se puede mostrar que son capaces de “auto-organización” debido al hecho de que son sistemas abiertos que interactúan con el mundo externo con el cual intercambian materia, energía y entropía (cf. Nicolis and Prigogine 1989).

Un rol decisivo parece ser jugado por la información, la cual, entrando en juego en diferentes niveles de organización de la materia, determina en cada nivel diversas características que difieren cualitativamente y no solo cuantitativamente, y que por lo tanto son irreducibles entre sí.

2.6 Materia y mente [↑](#)

Otro problema científico que involucra la materia viva, y que ha sido desarrollado considerablemente en tiempos recientes, es el de la relación mente-cuerpo. Aquí nos enfrentamos con una investigación que concierne directamente a las ciencias tales como la biología, la fisiología y la psicología, junto con la filosofía y la teología, en un contexto interdisciplinario conocido ahora por el nombre común de “ciencias cognitivas”. En paralelo con la relación mente-cuerpo se encuentra el campo de la inteligencia artificial, la cual involucra, más que a las ciencias de la materia viva, las ciencias de la computación y la teoría de la información.

Las ciencias cognitivas se ocupan de cómo el conocimiento inteligente es formado en nuestra mente en su relación con el cerebro, (y más generalmente, con el cuerpo), en términos de cómo es este conocimiento al menos parcialmente reproducido en una computadora. Está claro que los problemas científicos relacionados con este tipo de investigación plantean, inevitablemente, preguntas filosóficas que poseen implicaciones teológicas de gran importancia. Nosotros señalaremos dos de estos interrogantes que parecen estar entre los más relevantes: a) ¿Es posible para un cerebro corpóreo, (o una computadora), formar conceptos universales y abstractos solo desde sus recursos materiales y por lo tanto pensar como un ser humano? ¿O es necesario requerir de la intervención de una función no-material, como la realizada por un alma espiritual? b) ¿Es posible para un cerebro corpóreo, (o una computadora), solo con sus recursos materiales, ser consciente de sus actividades y por lo tanto poseer auto-conciencia como la de un ser humano? ¿O es necesaria la intervención de una función no-material realizada por un alma espiritual?

Las dos preguntas precedentes son el tema de discusión científica y meta-científica entre físicos, matemáticos, ingenieros y científicos de la computación, sin mencionar a los filósofos y los teólogos. Desde el punto de vista de los filósofos estos interrogantes implican directamente los clásicos problemas de “abstracción” y “reflexión”, funciones que la mente humana realiza habitualmente, (ver más abajo, 7).

3 Ciencia y filosofía [↑](#)

Ahora profundizaré en algunas preguntas filosóficas relacionadas con teorías científicas, tales como aquellas que han surgido en la sección anterior. Haré más precisos, entre otras cosas, los significados de los términos e inspeccionaré los malentendidos que surgen del uso impropio de la terminología, los cuales ocurren muy fácilmente cuando uno va del dominio científico al filosófico y vice versa.

La primera observación concierne al método científico. El siglo veinte fue testigo de un paso particularmente significativo en la comprensión del método científico, el cual tuvo una notable repercusión en la manera en que la materia es concebida. Este paso implicó un cambio desde una actitud fundamentalmente positivista a una actitud que revisó los fundamentos de las teorías científicas. Este cambio de posición fue en parte el resultado de una decisión libre y fue en parte dictado en cierto sentido por la misma evolución de la investigación científica.

Un ejemplo del primer tipo, en el cual el cambio de la actitud metodológica fue el fruto de una reflexión cuidadosa y una decisión libre, es ofrecido por Albert Einstein. El Einstein de la relatividad especial, (un “operacionista”, en el sentido de la teoría operacionista de Bridgman), definió las cantidades a través de operaciones correspondientes con los procedimientos usados para medir tales cantidades. Las hipótesis iniciales con las cuales Einstein construyó la teoría especial de la relatividad no son otras que codificaciones, en términos de leyes, de lo que resulta de la experiencia. El experimento de Michelson-Morley (1887) no implicó ninguna modificación de las leyes del electromagnetismo debido al movimiento de translación de la tierra con respecto al ether, por lo tanto: a) el principio de la relatividad de Galileo es válido no solo para fenómenos mecánicos sino también para fenómenos electromagnéticos; b) la velocidad de la luz es invariante bajo traslaciones uniformes del marco de referencia del observador. La razón por la cual Lorentz (1853-1928), quien también dedujo las transformaciones correctas, no consiguió exitosamente arribar a una teoría completa de la relatividad, reside en el hecho de que él involuntariamente agregó a los dos principios precedentes elementos no derivados del experimento, tales como la explicación mecánica de la contracción de las varas durante su movimiento.

La relatividad general fue descubierta, en cambio, no desde los apremiantes problemas experimentales, es decir, no porque la teoría gravitacional de Newton no se correspondiera con la experiencia (no es por casualidad que la verificación experimental de la relatividad general requirió mediciones extremadamente precisas), sino por la necesidad de revisar los fundamentos de la mecánica newtoniana, una revisión que permaneció incompleta incluso con la relatividad especial. Lo que parecía poco satisfactorio era el hecho de que las leyes de la mecánica newtoniana fueran no completamente independientes de la elección del observador, como es el caso de las leyes del electromagnetismo, sino que estuviesen relacionadas con los marcos inerciales de referencia ¿Cómo se pueden hacer dos marcos de referencia equivalentes? Hacerlos equivalentes habría significado, en un sentido apropiadamente generalizado, hacerlos todos “inerciales”. La solución matemática fue encontrada en la idea de la curvatura del espacio-tiempo descrita por la geometría de Riemann que hizo posible el movimiento inercial a lo largo de las trayectorias geodésicas que no son rectas en un sentido euclideo.

Inclusive Werner Heisenberg (1901-1976), al comienzo de su “mecánica matriz”, adoptó el método operacionista. En su teoría se supone que aparecerían solo cantidades observables. Un criterio indudablemente cierto, pero que no obstante no puede ser absolutizado dado que algunas variables no pueden ser observadas, a veces es necesario para la consistencia lógica de una teoría. Estas variables, en la mecánica de Heisenberg, son los eigenvectores de las bases ortonormales del espacio funcional L^2 que corresponde con las condiciones iniciales de las eigenfunciones de Schrödinger. Al renunciar el criterio absoluto de la exclusividad de las cantidades no observables, Heisenberg fue conducido por la estructura misma de la teoría más que por una reflexión epistemológica.

Las consideraciones precedentes refieren en última instancia a la cuestión de los fundamentos metafísicos de las teorías científicas. Toda teoría científica, con su formalismo matemático, entabla relaciones, (ecuaciones, leyes de la naturaleza), que relacionan diferentes “cantidades” unas con otras. Relaciones y cantidades no son otra cosa que las “propiedades” de los objetos físicos que se desea describir. El hecho de que un objeto físico tenga ciertas propiedades en lugar de otras es fundamento suficiente para excluir una determinada manera de concebir el objeto como un todo. Y esto es así porque “cantidad” y “relaciones” no son solo objetos de las ciencias sino también de la metafísica que los considera en tanto que entidades, particularmente en tanto que “propiedades” (accidentes) de otras entidades (sustancias). Así, podemos decir que una teoría científica puede estar más o menos de acuerdo con cierta “metafísica”, mientras que excluye a otras. Los elementos de metafísica (la meta-ciencia) con los cuales una teoría científica se alinea más estrechamente son conjuntamente: a) el marco de los fundamentos filosóficos (lógicos u ontológicos) que ésta asume implícitamente y b) el trasfondo filosófico en función del cual es concebida la llamada “interpretación” de la teoría.

En las secciones siguientes, voy a examinar ciertos aspectos metafísicos supuestos que son útiles para la interpretación de las teorías científicas sobre la materia a las que he hecho referencia en la sección precedente.

4 Materia y masa, campo y energía [↑](#)

4.1 La tendencia hacia la sustancialización de la masa y la energía en la física clásica [↑](#)

En la interpretación mecanicista de la mecánica clásica existe frecuentemente una confusión (desde el punto de vista filosófico) entre la “sustancia” y el “accidente”, es decir, entre los objetos físicos y sus propiedades. Desde el punto de vista filosófico, por ejemplo, la materia es una “sustancia” en la medida en que es capaz de subsistir por sí misma. La masa y la energía, por otro lado, no son “cosas”, ellas no son en sí mismas sustancias sino más bien propiedades de la materia, es decir, son “accidentes”. Con la llegada del concepto de campo y su interpretación como algo real y no solo matemático, ha surgido la tendencia en la física clásica de identificar la energía conducida por el campo electromagnético con el campo mismo, esto es, de tratar el campo de energía como una sustancia más que como una mera propiedad del campo. Esto podría ser legítimo si se quiere llamar a la radiación “energía electromagnética”, pero es necesario ser cuidadoso a la hora de clarificar qué se quiere decir con el término “energía”, energía en tanto que “campo de propiedades” o en tanto que el campo mismo. Una terminología ambigua es siempre riesgosa, especialmente si uno está interesado en hacer ciencia. Por otro lado, inclusive antes de la sustancialización del concepto de energía, en física clásica ha existido la sustancialización del concepto de masa, el cual ha sido muy a

menudo considerado sinónimo de “cantidad de materia”. La cantidad es lo que es medible en una sustancia, es lo observable por excelencia y fácilmente identificable con el objeto mismo, con la sustancia misma. De esta manera tenemos masa-materia, por un lado y energía-radiación, por otro. La energía tiene un aspecto dual: es tratada como “accidente”, en tanto que es energía cinética de masas materiales, y como “sustancia”, cuando se encuentra en forma de radiación. En sentido inverso, la masa existe solo en forma de materia porque la radiación carece de masa.

Estos procesos de ontologización de la interpretación de la masa-materia, por un lado, y de la energía-radiación, por otro, llevados a su extremo han conducido a un doble reduccionismo: el reduccionismo del materialismo y del energetismo. Todos ellos tienen una motivación histórica.

Voy a comenzar con unas breves consideraciones sobre el materialismo. Como R. Masi observó correctamente años atrás en su clásico estudio sobre la estructura de la materia: “El concepto de forma en las bases de la teoría hilemórfica y de toda la física aristotélica fue incomprendido por los Escolásticos del periodo decadente: la forma, la cual en el pensamiento verdadero de Aristóteles y Tomás de Aquino es una realidad incompleta y parcial, un *“ens quo”*, fue, en cambio, descrita como una sustancia completa, un *“ens quod”*, dando lugar a una serie de contradicciones” (Masi 1957, 85). El pensamiento nominalista de la Escuela Medieval de Oxford (siglo XIII) se despojó completamente de la noción de analogía del significado, traduciendo unívocamente la búsqueda de los principios sobre los cuales basar la comprensión del universo. Debido a esto, el método de investigación fue retrotraído hacia donde había sido dejado por los filósofos jónicos, inclusive aunque los instrumentos de observación y las herramientas matemáticas estaban claramente en una instancia mucho más avanzada. Por esta razón, la noción una vez que se ha vuelto unívoca, y ha dejado de ser genuinamente aristotélica, fue rechazada. Los nuevos “filósofos naturales”, como eran llamados en ese entonces, no tuvieron otra alternativa que adoptar, como un principio interpretativo del universo físico, la “materia” entendida de una manera simplemente unívoca. Consecuentemente, los físicos newtonianos no pudieron ser otra cosa más que “materialistas” en lo referido a la descripción estructural del cosmos, “mecanicistas”, en lo que respecta a la explicación dinámica y causal de su devenir, y “reduccionistas” en su aproximación a la relación entre el todo y las partes. Un pensamiento aristotélico y tomista así incomprendido no pudo más que transformarse en el principal enemigo a ser combatido, desde el punto de vista de la ciencia cierta y rigurosa, la cual solo podía ser matemática y experimental. “Enfrentado con la oscuridad de las formas aristotélicas, los mecanismos representaron una claridad sin igual: todos los fenómenos naturales fueron concebidos como una combinación de partículas materiales, unidas entre sí y en movimiento relativo. El universo se volvió una gran máquina, la cual podía ser descompuesta en unas más pequeñas” (Masi 1957, 86). Con el desarrollo de la termodinámica, el concepto de energía adquirió una importancia notable paralela a la de la materia, pero la reducción de la termodinámica a la mecánica provocada por la teoría cinética reafirmó la primacía de la materia y el movimiento.

La verdadera alternativa al materialismo de la mecánica newtoniana se relaciona con el electromagnetismo de Maxwell: “El concepto de campo fue desarrollado sin usar el concepto de partícula; [...] El campo de Maxwell no está hecho de partículas, aun siendo real” (Masi 1957, 91). El hecho de sustancializar el campo de energía, lo cual conduce al “energetismo”, implica la incompreensión y los errores conceptuales de los que he hablado más arriba. Además, después de cierto punto surgió la tendencia, en el campo de la mecánica clásica, a invertir la dirección del reduccionismo. En vez de explicar todo en términos de materia y movimiento de partículas, un nuevo reduccionismo surgió que tendía a ver la energía, más que la materia, como el principio fundante al cual incluso la noción de materia podía ser reducida, concebida como una forma condensada de energía. Esto dio lugar al energetismo, cuyo primer defensor fue el químico W. Ostwald (1895). El carácter distintivo del energetismo fue el abandono del dualismo materia-energía que había dominado hasta entonces. La energía se convirtió en el concepto más general. La materia no solo tuvo que padecer la prevalencia de la energía, sino que también tuvo que ceder incondicionalmente su espacio para ella (cf. Masi 1957).

Esta incompreensión fue engendrada por un doble error conceptual. El primero consiste en concebir el campo electromagnético como algo que no es “sustancia material”. El segundo consiste en atribuir un carácter “sustancial” a la energía, en lugar de la sustancialidad eliminada por el campo.

4.2 Relatividad especial [↑](#)

Con su equivalencia de masa y energía, la relatividad especial restauró la simetría. No solo la materia, sino que también la radiación, (un campo electromagnético), está dotada con una masa, lo cual es revelado por sus propiedades inerciales y gravitacionales (la desviación de los rayos de luz en un campo gravitatorio). Frecuentemente la gente habla de convertir materia en energía y viceversa en procesos nucleares. Si por esto se entiende que una "sustancia", (una parte o toda la materia de algunas partículas), se ha convertido en un "accidente" (alguna cantidad de energía), entonces se trata de un uso incorrecto de los términos filosóficos. Una propiedad (accidente) como la energía puede existir solamente como una propiedad de algo y la materia (sustancia) puede convertirse ella misma solo en otra sustancia (mutación sustancial), no en un accidente, (es decir, no en algo sin un sujeto como soporte, debido a que la pregunta continua siendo con respecto a lo que la energía es). De lo contrario, es correcto decir que una mutación sustancial ha tenido lugar, durante la cual algunas partículas liberaron una parte o la totalidad de su "masa en reposo" que fue adquirida por los productos de la reacción, (partículas y/o radiación), como la energía cinética y electromagnética.

4.3 Mecánica cuántica [↑](#)

Si la relatividad especial ha unificado las dos propiedades (accidentes) de la masa y la energía, la mecánica cuántica, en su versión relativista llamada "teoría cuántica de campos", tiende hacia la unidad de la materia y la radiación en la que nos presenta un conjunto de onda-partículas en el cual la distinción entre lo que fue clásicamente denotado como "materia" y "energía" se torna drásticamente más sutil. La materia y la radiación, (en el sentido amplio de un campo de interacción: gravitacional, electromagnético, fuerte y débil, el cual se busca unificar), no constituyen más dos entidades opuestas, sino más bien dos maneras de actuar o dos "especies" de la misma realidad, dotada de masa-energía que es, en cierto sentido, su "género". Desde el punto de vista de la tradición filosófica, parecería natural llamar a este género único "materia", lo que significaría que éste se puede actualizar en sí mismo en las dos especies que obedecen las dos estadísticas cuánticas: fermiones, dotados con medio spin, los cuales representan la materia en el sentido clásico de la palabra, y bosones, dotados de un spin entero, los cuales constituyen el campo de interacción. Desde el punto de vista de la física contemporánea, es más común denotar este "género" como un "campo", el cual se activa en sí mismo en dos "especies" de campos fermiónicos y bosónicos.

5 Vacíos, materia y energía [↑](#)

En este punto de la discusión ya aparece un viejo problema, el del "vacío" (cf. A. Strumia, *Il problema della creazione e le cosmologie scientifiche*, 1992). ¿Qué es el vacío? ¿Puede éste existir? Un uso más preciso de la terminología puede salvarnos de ciertos malentendidos que más de una vez han conducido a ilustres personas por el mal camino. Desde el punto de vista metafísico, un vacío, en sentido absoluto, es "lo vacío de entidad", y como tal puede ser identificado con la "nada" ("no-entidad", "no-cosa"), un concepto acuñado para identificar las cosas que no existen. Metafísicamente, el vacío no existe por definición, porque aquello que existe, por el mismo hecho mismo de existir, es una entidad. Un vacío, entendido en sentido absoluto, es por lo tanto una absoluta y total negación del ser. Un vacío en sentido relativo, no como una negación absoluta sino solo como una negación relativa, es la "privación" de algo en un sujeto determinado más que la total negación del sujeto. En el lenguaje científico, se dice "vacío" en el sentido privativo de una "ausencia de materia": en este caso, sin embargo, el paso desde este significado relativo al significado absoluto no es legítimo en vistas a sacar conclusiones de carácter filosófico o teológico, las cuales no se siguen lógicamente.

De acuerdo con la física clásica, en el área de la mecánica pura un vacío es una región del espacio en la cual la materia está ausente (un vacío de materia): donde los átomos y las partículas no están presentes, ahí hay un vacío. El modelo planetario de los átomos de Rutherford confirma el hecho de que el espacio vacío prevalece en el mundo físico. Allí donde no hay materia, la física clásica admite que, sin embargo, puede haber espacio como una pura extensión vacía y por lo tanto no como una nada. El espacio asume su identidad, se convierte en un tipo de sustancia,

puede existir en ausencia de la materia y de hecho es un contenedor de la materia, el cual es en cierto sentido pre-existente. Este es el concepto newtoniano de espacio absoluto. El electromagnetismo llena este espacio vacío con el éter que soporta el campo y es responsable por las interacciones electromagnéticas entre partículas materiales cargadas y transporta la energía de la radiación electromagnética. El vacío, por lo tanto, es un “vacío de materia”, pero no un vacío absoluto ya que es llenado con el éter.

La relatividad especial elimina el éter y también el espacio absoluto de Newton y reestablece el vacío como “algo” que tiene la propiedad de transmitir radiación. De hecho, un vacío es en cierto sentido el mejor “medio” en el que, a través de él, todas las señales viajan a la velocidad máxima c , la cual es precisamente la velocidad de la luz en el vacío. El vacío de la relatividad especial, entonces, es un “vacío de materia” pero no de “radiación”. Este es un vacío que por lo menos tiene una propiedad, la de transmitir radiación, y como tal no es “nada”, porque aquello que tiene propiedades es un ser sustancial. No obstante, éste no es ni éter, ni espacio absoluto, dado que las mediciones del espacio y del tiempo no son absolutas como en la física no relativista. Un vacío relativista es, en cierto sentido, el campo mismo, el cual nunca se desvanece debido a la presencia de los cuerpos materiales, sobre los cuales el vacío se extiende, los cuales intercambian sus interacciones mutuas. Además, si no hubiese objetos corpóreos o radiación, ¿la relatividad especial nos permitiría afirmar que el vacío de ambos es algo real? Recordemos que la relatividad especial es una teoría que define sus conceptos operacionalmente: si no hubiese cuerpos materiales o campos, no sería posible definir ni el observador ni las mediciones, ya que estos requieren objetos materiales con el fin de identificar los ejes de las coordenadas, reglas para medir las longitudes y relojes para medir los tiempos. El vacío de materia y de campos no sería, por lo tanto, observable ni definible y sería solo una entidad de razón.

La relatividad general identifica un campo gravitacional con las propiedades métricas del espacio-tiempo (el tensor métrico) y hace que estos dependan de la distribución de masa-energía, es decir, de la presencia de materia y campos no gravitacionales. De esta manera, las propiedades geométricas del espacio-tiempo son determinadas por los cuerpos y por campos externos (lo cuales, significativamente, son llamados “materia”) y por su movimiento. Este es un concepto de espacio y tiempo lejano al newtoniano y, como ha sido enfatizado por varios autores, muy cercano al aristotélico. En la perspectiva de Aristóteles, de hecho, el espacio es definido a través de la noción de contacto entre los cuerpos, (actualmente hablamos de interacción), lo que permite introducir el concepto de distancia, y el tiempo es definido como el número que mide el movimiento. Claramente las dos concepciones no son comparables a nivel matemático, sino en el nivel cualitativo, metafísico. Algo por el estilo puede ser encontrado en Lobachevskij: “El contacto es un atributo característico de los cuerpos y debido a esto los cuerpos son denominados ‘geométricos’ en tanto que fijamos la atención en esta propiedad, separada de todas las otras propiedades, sean esenciales o accidentales. De esta manera, podemos concebir todos los objetos corpóreos de la naturaleza como parte de un cuerpo simple y global, al cual llamamos espacio” (cf. Lobachevskij, *New Principles of Geometry with the Complete Theory of Parallels*, Edición rusa, 1835-38).

La relatividad general no es solo incompatible con el espacio y tiempo absolutos de Newton (y con su transposición filosófica llevada a cabo por Kant), tal como lo es la relatividad especial, sino que además la relatividad general nos dice que el espacio y el tiempo están determinados por la presencia de la materia, por los objetos corpóreos y por sus interacciones mutuas ¿Qué es, entonces, el “vacío” de la relatividad general? El vacío es un “vacío de materia”, donde se entiende por el término “materia” tanto los objetos corporales como los campos no gravitacionales. El vacío es un campo gravitacional libre descrito como un espacio-tiempo Riemanniano: es pura abstracción ya que el universo está lleno de materia-radiación. No obstante, la ecuación de Einstein de la relatividad general puede ser escrita mediante la eliminación de la presencia de la materia y de los campos externos, por medio de los campos gravitacionales libres. Incluso ellos admiten una solución en la cual el campo gravitacional es cero, lo cual corresponde con la métrica del espacio-tiempo de la relatividad especial. Sin embargo, en la ausencia de campos y cuerpos materiales, como ha sido observado, no es posible hablar ni del observador ni de las mediciones y, por lo tanto, no es posible hablar de espacio-tiempo, ya que un vacío entendido de esta manera aparece como una pura abstracción o un concepto limitado.

La electrodinámica cuántica y la teoría cuántica de campos han llevado la sustancialización del vacío mucho más lejos, en el hecho de que éste es concebido como una entidad en la cual hay pares “virtuales” de partículas y antipartículas que pueden ser llevadas a un estado (real) observable a expensas de una adecuada cantidad de energía. Un vacío entendido de este modo no es ciertamente una nada, sino simplemente un “vacío de materia observable”. Con la ayuda del principio de incertidumbre de Heisenberg, semejante materia puede volverse observable con la condición

de que la energía DE requerida sea extraída del vacío mismo en un tiempo inferior a h/DE , donde h es la constante de Planck. Una similar fluctuación cuántica de un vacío, de acuerdo a ciertos autores, sería responsable por la generación del universo entero a partir de un “vacío cuántico”, una afirmación que buscaría reemplazar el acto metafísico de creación. No obstante, un “vacío cuántico” no es “nada”, sino una entidad preexistente, en la cual los pares de partículas-antipartículas (materia), y los actos necesarios para extraerlas, están virtualmente presentes.

Algunos han querido interpretar un vacío cuántico como la “primera materia” de Aristóteles, pero esto no parece ser preciso ya que la primera materia, además de no tener extensión, (por no estar aun “marcada” por la cantidad, a diferencia de un vacío que es una región espacio-temporal), es una potencia pura y requiere una causa “externa” adecuada para ser actualizada en una “materia secundaria”, mientras que un vacío cuántico parecería incluir en sí mismo la potencialidad de la materia actualizada.

6 La materia y el problema del todo y las partes [↑](#)

Desde el punto de vista del análisis metafísico de la estructura de la materia, los problemas que surgen de la física de los sistemas no lineales y, más generalmente, de la ciencia de la complejidad, nos llevan directamente de nuevo al problema clásico del todo y sus partes. Los otros aspectos relacionados con la complejidad, tales como la “impredictibilidad”, el “caos determinista” y la “auto-organización”, conciernen en mayor medida a la “dinámica” evolutiva de la materia.

6.1 Diversas posturas y enfoques [↑](#)

En la ciencia contemporánea, el problema del “todo” y las “partes”, (que se presenta a veces como el problema del “holismo”), puede ser formulado comenzando de la siguiente manera: consideramos un objeto dado (el todo), al cual llamamos “complejo” por aparecer ante nosotros como altamente estructurado y difícil de examinar como un todo. Dividimos, (en base a una regla asignada), al objeto original en otros objetos a los que llamamos “partes” y que resultan ser más simples para examinar, por ser científicamente bien comprendidos. Aquí hay dos posibilidades alternativas: a) el objeto complejo es explicado exhaustivamente, al menos dentro de ciertos límites, mediante un estudio de sus partes tomadas como auto-suficientes; b) el objeto complejo manifiesta propiedades y comportamientos que no pueden ser explicados mediante un examen de sus componentes.

El primer caso es equivalente al típico supuesto de la perspectiva reduccionista: un todo es completamente explicado a partir de sus partes componentes. Podríamos decir, con una fórmula que solo tiene sentido científicamente cuando los términos son explicados de manera precisa, (pero que tiene, sin embargo, cierto poder expresivo), que “el todo es la suma de las partes”. El segundo caso enfatiza la insuficiencia o la imposibilidad de la perspectiva reduccionista y apunta a una aproximación holística. Aquí distinguimos “insuficiencia” e “imposibilidad” porque ambas situaciones pueden darse.

Encontramos insuficiencia cuando advertimos que el todo complejo no es explicable de manera exhaustiva a través del estudio de sus partes componentes, ya que éste es caracterizado por propiedades que son típicas del “todo” en sí mismo. Estas propiedades eluden el escrutinio si no se considera el todo general, ya que no pueden ser encontradas en las partes simples por separado. Se puede decir, usando una fórmula aproximada, que en este caso “el todo es más que la suma de sus partes”, o que contiene nueva información en adición a la contenida en las partes, información que lo caracteriza como un “todo” tomado conjuntamente. En el esquema aristotélico, se podría decir que el “todo” posee una forma que lo vuelve “uno”, con nuevas propiedades que no están presentes en la yuxtaposición de las partes. No es casual que el término “forma” reaparezca en el lenguaje de los biólogos y los matemáticos (cf. e.g., Thom 1989) conjuntamente con un renovado interés en los escritos de Aristóteles.

Encontramos “imposibilidad” cuando el todo complejo no es divisible en partes más simples. En este caso, algunas partes, o todas las partes, tienen propiedades idénticas o tienen un grado de complejidad comparado al del “todo” y,

por lo tanto, la subdivisión no produce ninguna simplificación. Esto se parece a lo que ocurre con un imán cortado a la mitad, que no se torna más simple en su estructura, sino que da lugar a dos nuevos imanes similares al original. Usando una fórmula aproximada, podemos decir que en este caso “el todo está contenido en sus partes” y, en cierto sentido, “replicado en todas sus partes”. Es interesante notar cómo esas partes no son necesariamente idénticas, pero exhiben suficientes similitudes como para permitir una aplicación de la misma definición tanto al todo como a las partes. En el lenguaje filosófico, diríamos que las partes son de la misma naturaleza que el todo.

Claramente, estas afirmaciones con respecto a la insuficiencia de la perspectiva reduccionista no deben propiciar un sentimiento de exasperación. El reduccionismo es siempre en cierto sentido legítimo, en caso contrario el conocimiento sería imposible. La inteligencia humana necesita descomponer y volver a ensamblar para poder entender: no es siempre necesario estudiar el universo completo como un todo para entender una de sus partes, aunque en ciertos casos sí lo sea. Un ejemplo de esto es el diálogo reciente entre la cosmología y la física de partículas, en el cual se intenta resolver el problema de llamado “primer instante” del universo.

6.2 Algunos ejemplos tomados de las ciencias [↑](#)

Dada la importancia tanto para el análisis tanto dentro de las ciencias como para el diálogo potencial con otros campos, vamos a describir cómo la cuestión del todo y las partes es vista y abordada en algunas de las disciplinas científicas principales.

En la biología encontramos que un organismo vivo exhibe propiedades que, inclusive desde el punto de vista químico-físico, no son compartidas por objetos inanimados. Incluso el organismo viviente más simple no puede ser completamente descrito analizando sus partes componentes. En una concepción reduccionista, una afirmación de este tipo es vista con sospechas y acusada de vitalismo debido a que parece introducir un factor animista en la vida. Pero este no es el problema real: el punto es, más bien, el de ver si, en la organización de la materia, la materia misma, siendo estimulada de manera correcta por una causa externa adecuada, esta tiende a manifestar un nuevo nivel de orden, el cual no estaba presente en los componentes tomados por separado, una vez que cierto grado de estructuralización (complejidad) ha sido alcanzado. En este nivel, el análisis de las partes componentes ya no es suficiente, aunque ha sido útil y necesario hasta este punto; es necesaria una investigación en un nivel diferente del “todo” en sí mismo.

Un estudio de la profundidad de una molécula relativamente compleja, tales como las redes cristalinas en sólidos o conductores eléctricos, (por citar solo algunos ejemplos), ha señalado cómo incluso en la química de objetos inanimados las propiedades del todo de una estructura compuesta compleja no son completamente deducibles de las propiedades de los átomos constituyentes. La existencia de orbitales moleculares con electrones completamente compartidos excluye la posibilidad de electrones que pertenezcan a un átomo simple. En un conductor eléctrico, los electrones de conducción son compartidos incluso entre todos los átomos. Por lo tanto, existen inclusive en el nivel químico, propiedades del todo que la investigación progresiva revela que son cada vez más significativas.

En el campo de la física debemos tomar en consideración dos aspectos clásicos que la caracterizan. El primero es inherente a la “herramienta matemática” misma y el segundo tiene que ver con la “explicación de la observación”. Desde el punto de vista matemático, en la medida en que la física usa cada vez más matemática para formular sus leyes en forma de ecuaciones, surgen nuevos problemas. Tales problemas tienen lugar cuando nuevos resultados matemáticos dan respuestas inesperadas a aquellas preguntas físicas. Trataré este tema brevemente cuando aborde el objeto de las matemáticas más abajo. En lo que concierne al acuerdo entre las hipótesis y la observación, nos enfrentamos al mismo tiempo con una amplia gama de problemas irresueltos, y quizás irresolubles, en la mecánica clásica, ya que se son pensados como complicados. En la mecánica cuántica aún permanecen problemas que, en su formulación y comprensión, son fuente de paradojas.

En la mecánica clásica es suficiente considerar, por ejemplo, la complejidad del movimiento turbulento en fluidos. El modelo clásico de Landau (1959), que superpone diversos movimientos convectivos asociados con las frecuencias crecientes, no predice correctamente la transición a la turbulencia, que aparece como una propiedad completamente nueva en adición a la convección. En mecánica cuántica, ciertos eventos aparecen como “no-separables” incluso si

ocurren a una gran distancia. Esto parece ser una cuestión de aquellos casos en que el conjunto parece estar situado en una de sus partes.

En el campo de la matemática, el problema del todo y las partes aparece con gran claridad en sus dos aspectos aludidos anteriormente. En lo que se refiere al aspecto de la insuficiencia, los problemas relacionados con la irreductibilidad del todo a la suma de las partes obtiene una formulación clara para el físico teórico y el matemático cuando las leyes evolutivas que rigen la casi totalidad de los procesos físicos son formuladas en términos de ecuaciones diferenciales no lineales. Así, en las ecuaciones "lineales", la suma de dos o más soluciones (llamémosles "partes") es también una solución (llamémosle "todo") del sistema, y viceversa una solución general (un "todo") puede escribirse como la suma de varias soluciones (las "partes"). En física, esta ley es conocida como el "principio de superposición". Un muy conocido ejemplo es el caso de las ondas que interfieren, al sumarse sus oscilaciones. En las "ecuaciones no lineales", la afirmación precedente ya no es verdadera en general. De esto se sigue, en el sentido indicado más arriba, que el todo no es de manera general obtenible como la suma de sus partes. Sea esto referencia suficiente para indicar la relación entre todos los diferentes tipos de comportamiento inherentes a las teorías no lineales que constituyen diferentes aspectos de un mismo problema. Nuestras consideraciones nos conducen a un segundo aspecto del problema, el de la imposibilidad de usar una reducción adecuada o, se podría decir, el de la no distinguibilidad de las partes a partir del todo: el todo es replicado en todas sus partes. Un ejemplo típico de este segundo aspecto nos es dado por la "geometría fractal" (cf. Peitgen y Richter 1986). Los fractales, entre otras cosas, tienen la propiedad de ser "auto-similares", es decir, de reproducir, infinitamente en todas sus partes, formas geométricas similares a las del todo. Por esta razón, no es posible aislar las formas, que son estructuralmente menos complejas que el todo, subdividiéndolas en partes cada vez más pequeñas. Es interesante notar que en el conjunto de Mandelbrot la forma de las partes no es exactamente idéntica, sino que es similar, a la forma del todo y mantiene el grado de complejidad que puede ser cuantificado con la llamada "dimensión fractal".

En lógica, el problema de la relación entre el todo y las partes surge principalmente en el segundo de los dos aspectos ya mencionados, aquél en el que el conjunto se puede encontrar, en cierto sentido, como una parte de sí mismo. Este problema aparece, por ejemplo, en la "lógica de conjuntos". El conjunto de todos los conjuntos es un ejemplo típico de un conjunto que se contiene a sí mismo como elemento. En este caso, una parte del conjunto coincide con el todo. En su primera fase, la lógica de clases desarrollada por Russell y Whitehead ha lidiado con el problema excluyendo de la definición de "clase" los conjuntos que se contienen a sí mismos como elemento, para así evitar las contradicciones que pueden surgir de su consideración. Es sabido que las paradojas de Russell surgen cuando se intenta definir un objeto como "una agrupación de agrupaciones que no se refieren a sí mismas". Por lo tanto, parece posible construir una teoría de colecciones que se contienen a sí mismas como elemento.

Los científicos de la computación, sin embargo, merecen el crédito por haber vuelto actuales los ahora ya clásicos problemas de la lógica matemática, tales como aquéllos relacionados con el teorema de Gödel sobre la consistencia y completitud de los sistemas axiomáticos. Otro mérito de la ciencia de la computación es el de hacer posible representar los conjuntos de Julia en una pantalla de computadora, cuya belleza y elegancia no se conocían, los cuales eran considerados "monstruos" matemáticos debido a sus límites infinitamente sinuosos. La investigación en inteligencia artificial nos ha llevado a entender que la información puede ser depositada en varios niveles y que existen diversas jerarquías de información. El nivel más bajo reside en la estructura del hardware de la máquina y el nivel más alto en el software. El lenguaje de programación, a su vez, contiene información que es significativa para el programador. Esta información se reparte en instrucciones de bajo nivel que son mecánicamente ejecutables por circuitos que no las perciben como portadoras de significado. El programa mismo como un todo contiene información en un nivel más alto relacionada con el objetivo para el cual ha sido escrito. Éste reside en la mente del programador y del usuario, y así sucesivamente.

En todas las ciencias, por lo tanto, parece ser que surge una estructura jerárquica de información relacionada al grado de complejidad y, por lo tanto, a la unidad de la estructura en común. En la filosofía aristotélico-tomista, como ya ha sido dicho anteriormente, el principio unitario de un ser es su forma. Incluso aunque no es claro aún que curso van a tomar las ciencias, parece haber una señal de un cambio desde el esquema unívoco del reduccionismo hacia una visión nueva y más satisfactoria. Hoy en día, curiosamente, estamos atestiguando un cambio interesante debido al cual la matemática misma, y con ella las otras ciencias, parecen mostrar un interés genuino en una racionalidad más amplia que abre a las ciencias al concepto de analogía, el cual ha sido despreciado hasta el momento.

7 Materia, inteligencia y abstracción [↑](#)

Las ciencias cognitivas se ocupan de cómo es formado en la mente el conocimiento inteligente, en su relación con el cerebro y el cuerpo en general, e incluso en términos de una reproducción al menos parcial de éste en el uso de computadoras. Observando, por ejemplo, la metodología de la investigación científica reciente en inteligencia artificial, nos encontramos desde el punto de vista filosófico con un doble enfoque. De un modo aproximado, podemos tomar una ruta “platónica” y una “aristotélica”, disculpándome el uso algo esquemático pero muy significativo de esta terminología. Como ha observado sugestivamente A. Koyré: “si usted reclama un estatus superior para la matemática, más que atribuirle un valor real y una posición de comando en la física, usted es un platónico. Si, por el contrario, usted ve en la matemática una ciencia abstracta, la cual es por consiguiente de menor valor que aquellas que se ocupan del ser real (física y metafísica), si en particular usted pretende que la física no necesita otras bases más que la experiencia y que debe ser construida directamente sobre la percepción, que la matemática debe conformarse con el rol secundario y subsidiario de una mera auxiliar, usted es un aristotélico. Lo que está puesto en cuestión en esta discusión no es la certeza, (ningún aristotélico ha dudado jamás de la certeza de las proposiciones y demostraciones geométricas), sino el ser. No es tampoco el uso de la matemática en la ciencia de la física, (ningún aristotélico ha negado jamás nuestro derecho a medir lo que es medible y a contar lo que es contable), sino la estructura de la ciencia, y por lo tanto la estructura del ser. [...] Es obvio que para los discípulos de Galileo, tanto como para sus contemporáneos y antecesores, el matematicismo significa platonismo” (Koyré 1943, 421. 424).

Desde un punto de vista técnico, los resultados que han sido obtenidos sugieren, para el futuro, qué tipo de aproximación es preferible y cómo esta puede ser corregida para funcionar mejor.

a) La aproximación que en cierto sentido llamamos “platónica” es también reduccionista: está basada en una teoría del conocimiento como “anamnesis”, en la memoria de las ideas innatas que son revividas por medio del contacto con la experiencia sensible. Desde este punto de vista, la inteligencia es conducida nuevamente a una operación que trae la “memoria” al frente, a una superposición al menos aproximada de la idea con los datos sensoriales de la experiencia. Desde el punto de vista de las ciencias de la computación, esta concepción sugiere la técnica del usuario que “introduce” tanta información como es posible al hardware: la información juega un rol similar al de las ideas innatas o, como se prefiere llamarlas en este caso, al de los conceptos. No se puede negar que el término “concepto” es usado más de una vez en una forma bastante ambigua por aquellos que se ocupan de la inteligencia artificial, y a menudo indica simplemente un tipo de codificación almacenada en la memoria, que provee el reconocimiento de objetos no completamente idénticos entre sí, recordando vagamente a la noción de los universales. Con esta estrategia, el sistema funciona bien siempre y cuando uno no se aparte del conjunto de datos almacenados, pero éste no reconoce ciertas similitudes y no es exitoso en el establecimiento de analogías. Con tales conceptos se obtiene un escaso nivel de universalidad.

b) Una segunda aproximación está basada en la metodología que es inversa a la primera y es similar a la concepción “aristotélica”, o por lo menos a la empirista, en que está basada en la hipótesis de que el conocimiento no es innato, sino que se aprende desde la experiencia a través de un proceso que va desde los sentidos externos al cerebro y a la mente. Se trata de una metodología que intenta enfatizar las técnicas de una máquina “de aprendizaje” de conceptos.

Pero, ¿qué es un concepto? En ambas aproximaciones precedentes hay una tendencia a recurrir a dos técnicas, la de la aproximación por un lado, y la de la modelización por el otro. La “técnica de la aproximación” regresa, en cierto sentido, a la noción empirista de David Hume (1711-1766). Un concepto es un tipo de dato “vagamente singular”, y uno trata de realizar esta vaguedad de lo singular en vistas a una generalización, introduciendo un margen de error permitido, lo cual permite a diversos objetos, y no solo a uno, caer en el esquema aproximado. La “técnica de la modelización” es ciertamente menos rudimentaria que la de la aproximación y está basada en un proceso de “abstracción”, (realizado primero, sin embargo, por una mente humana), orientado a identificar elementos comunes a los diversos datos singulares.

Una comparación con la ciencia cognitiva de Tomás de Aquino, basada en la de Aristóteles, parece ser útil y también interesante. Esta ciencia, basada ella misma en la experiencia común, identifica tres operaciones características del entendimiento humano. La primera operación fue llamada *simplex apprehensio*, y podríamos trasladar esta frase del latín al español como “simple apprehensión”. La segunda operación es el “juicio” (Lat. *iudicium*), mientras que la

tercera es el “razonamiento” (Lat. *ratio cinium*). Cada una de estas operaciones actúa en la materia de origen y elabora su propio producto, el cual es el objeto de estudio de la lógica. La simple aprehensión comienza con los datos sensoriales aportados por los sentidos y el cerebro, (vamos a decir generalmente por el cuerpo), y como resultado final, (o producto), crea el concepto. El juicio tiene como materia de origen el producto de la primera operación, y funciona conectando los conceptos de manera apropiada, por medio de la elaboración de una proposición o enunciación. Finalmente, el razonamiento conecta las proposiciones elaboradas por la segunda operación, siguiendo las reglas de inferencia que garantizan la corrección de la deducción (cf. por ejemplo, Tomás de Aquino, *In “Peri hermeneais,”* Proem., n. 1). La teoría de la abstracción reside en el nivel de la primera operación, en la medida en que por “abstracción” queremos decir aquel proceso que la mente realiza sobre los datos elaborados por el cuerpo, comenzando con un elemento sensorial simple y extrayendo de éste un producto universal informativo que, de acuerdo con esta teoría, es precisamente un concepto (cf. *Summa Theologiae*, I, q. 85, a. 1).

Esta operación es de carácter cognitivo. Releva información, de una cierta manera, desde las señales físicas que la transportan, (desde la representación psicológica que es encontrada en el cuerpo y en el cerebro), y, desde un punto de vista lógico, tiene el efecto de proporcionar un dato en la forma de un “universal” (un concepto), removiéndolo del contexto material que lo delimita y hace de él algo “singular” concreto. Y es precisamente esta característica de la universalidad que califica el concepto como principio del conocimiento, de una naturaleza cualitativamente diferente de la de los datos materiales sensibles presentes en los sentidos, en los nervios y en el cerebro como una polarización eléctrica, una alteración química, etc., o en un circuito eléctrico tal como un estado de un sistema binario. El concepto aparece con una naturaleza diferente, una que no es reductible a los datos materiales sensibles. Éste no es reductible al estado cerebral, incluso aunque está ligado al mismo. Desde este punto de vista, la universalidad no puede obtenerse de la generalidad, en el sentido de lo indeterminado, como pretendía Hume: el universal no es un singular aproximado, con un margen de error en sus límites, sino que es algo cualitativamente diferente, siendo información no-material.

El contenido de la información no coincide, propiamente hablando, con la señal que la transporta, incluso si no se puede ignorar el vehículo físico (de una señal eléctrica, química, o de otra naturaleza). Para ser conocida por la mente humana, la información necesita estar en cierto sentido extraída (“abstraída”) de su vehículo y poseída por la mente en una forma inmaterial (“intencional”). Se debe preguntar, entonces, cómo debe estar hecha la mente para realizar esta operación de abstracción de información no-material y universal, a partir de los datos sensoriales que han alcanzado su estado cerebral. La respuesta estándar dada por esta teoría es que para realizar una operación de abstracción de un principio no-material, tal como la información, es necesaria una mente no-material, por razones de correspondencia en las relaciones causales. Todo esto está basado en la concepción de los universales como información inmaterial, dado que la materia está por su propia naturaleza individualizada (principio de individuación). Si esta aproximación al problema es correcta, no parece que la computadora por sí misma, en tanto que es material, ni un cerebro por sí mismo, en tanto que es material, puedan elaborar un concepto universal y abstracto, aunque puedan gestionar la información relacionada con él, cuando esto es puesto a funcionar por un operador dotado con una mente inmaterial. Lo que la máquina o el cuerpo-cerebro puede a lo sumo producir es una representación electromagnética o electroquímica, o alguna otra cosa, la cual no contiene la materia del objeto observado pero que aún está, sin embargo, unido a la materia-energía de la señal física y, dado este estado, no es aún universal. En la concepción aristotélico-tomista, esta representación es llamada *phantasma*, y las abstracciones de conceptos universales de los *phantasma* particulares no pueden ser realizadas por un órgano material y corporal, sino que tiene que ser el trabajo de un intelecto inmaterial, el cual, en la medida en que realiza una operación tal, se denomina “intelecto activo”. La máquina puede, sin embargo, manipular símbolos (singulares) que para el operador humano tienen un significado universal, que proporcionan elaboraciones de razonamiento y cálculos, mientras que los procesos de la inteligencia humana parecen ser irreductibles a los procesos de cálculo (cf. Penrose 1995).

8 Bibliografía [↑](#)

Arecchi, F.T. y Arecchi, I. 1990. *I simboli e la realtà*. Milano: Jaca Book.

Artigas, M. y Sanguineti, J.J. 1989. *Filosofía della natura*. Firenze: Le Monnier.

- Bertelè, F. A. Olmi, A. Salucci A. Strumia. 1999. *Scienza, analogia, astrazione. Tommaso d'Aquino e le scienze della complessità*. Padova: Il Poligrafo.
- Bridgman, P.W. 1961. *The Logic of Modern Physics*. New York: Macmillan.
- Cini, M. 1994. *Un paradiso perduto. Dall'universo delle leggi naturali al mondo dei processi evolutivi*. Milano: Feltrinelli.
- Coggi, R. 1997. *La filosofia della natura. Ciò che la scienza non dice*. Bologna: Edizioni Studio Domenicano.
- Daumas, M. (ed.). 1957. *Histoire de la science*. Paris: Gallimard.
- Dirac, P.A.M. 1958. *Principles of Quantum Physics*. Oxford: Clarendon Press.
- Einstein, A. y L. Infeld. 1971. *The Evolution of Physics: The Growth of Ideas from Early Concepts to Relativity and Quanta*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Feynman, R.P. 1985. *QED: The Strange Theory of Light and Matter*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Hofstadter, D.R. 2000. *Gödel, Escher, Bach: An Eternal Golden Braid*. London: Penguin.
- Jammer, M. 2000. *Concepts of Mass in Contemporary Physics and Philosophy*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Jammer, M. 1969. *Concepts of Space: The History of Theories of Space in Physics*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Kane, G. y A. Pierce, eds. 2008. *Perspectives on LHC Physics*. Hackensack, NJ: World Scientific.
- Koyrè, A. 1943. "Galileo and Plato". *Journal of the History of Ideas*, vol. 4, n. 4: 400-428.
- Kuhn, T.S. 1996. *The Structure of Scientific Revolutions*. Chicago: University of Chicago Press.
- Landau, L. y Lifschitz, S. 1959. *Fluid Mechanics*. Reading, MA: Addison-Wesley.
- Mandelbrot, B.B. 1982. *The Fractal Geometry of Nature*. San Francisco: W.H. Freeman.
- Maritain, J. 1951. *Philosophy of Nature*. New York: Philosophical Library.
- Masi, R. 1957. *Struttura della materia. Essenza metafisica e costituzione fisica*. Brescia: Morcelliana.
- Nagel, E. y J.R. Newman. 1989. *Gödel's Proof*. London: Routledge.
- Nicolis, G. e I. Prigogine. 1989. *Exploring Complexity: An Introduction*. New York: W.H. Freeman.
- Pais, A. 1988. *Subtle is the Lord: The Science and the Life of Albert Einstein*. Oxford: Oxford University Press.
- Pauli, W. 1964. *Collected Scientific Papers*. New York: Interscience.
- Peitgen, H.O. y P. H. Richter. 1986. *The Beauty of Fractals: Images of Complex Dynamical Systems*. Berlin: Springer.
- Penrose, R. 1995. *Shadows of the Mind: A Search for the Missing Science of Consciousness*. Reading, MA: Vintage.
- Righetti, M. y A. Strumia. 1998. *L'arte del pensare. Appunti di logica*. Bologna: Edizioni Studio Domenicano.
- Russel, R., N. Murphy y A. Peacocke, eds. 1995. *Chaos and Complexity: Scientific Perspectives on Divine Action*. Berkeley, CA: The Vatican Observatory and The Center for Theology and the Natural Sciences.
- Salam, A. 1990. *Unification of Fundamental Forces*. Cambridge: Cambridge University Press.

- Sanguinetti, J.J. 1970. *La filosofía del cosmo in Tommaso d'Aquino*. Milano: Ares.
- Schilpp, P.A., ed. 1994. *Albert Einstein: Philosopher-Scientist*. LaSalle, IL: Open Court.
- Selleri, F. 1987. *La casualità impossibile. L'interpretazione realistica della fisica dei quanti*. Milano: Jaca Book.
- Shanker, S.G., ed. 1988. *Godel's Theorem in Focus*. London: Croom Helm.
- Strumia, A. 1992. *Introduzione alle filosofia delle scienze*. Bologna: Edizioni Studio Domenicano,.
- Strumia, A. 2010. *The Sciences and the Fullness of Rationality*. Aurora, CO: The Davies Group.
- Tanzella-Nitti, G. 2009. *Faith, Reason, and the Natural Sciences: The Challenge of the Natural Sciences in the Work of Theologians*. Aurora, CO: The Davies Group.
- Thom, R. 1989. *Structural Stability and Morphogenesis: An Outline of a General Theory of Models*. Redwood City, CA: Addison-Wesley.
- Von Neumann, J. 1955. *Mathematical Foundations of Quantum Mechanics*. Princeton, NJ: Princeton University Press.

9 Cómo Citar [↑](#)

Strumia, Alberto. 2015. "Materia". En Diccionario Interdisciplinar Austral, editado por Claudia E. Vanney, Ignacio Silva y Juan F. Franck. URL=<http://dia.austral.edu.ar/Materia>

10 Derechos de autor [↑](#)

Voz "Materia", traducción autorizada de la entrada "[Matter](#)" de la *Interdisciplinary Encyclopedia of Religion and Science (INTERS)* © 2015.

El DIA agradece a INTERS la autorización para efectuar y publicar la presente traducción.

Traducción a cargo de Maria Ayelen Sanchez. DERECHOS RESERVADOS Diccionario Interdisciplinar Austral © Instituto de Filosofía - Universidad Austral - Claudia E.Vanney - 2015.

ISSN: 2524-941X