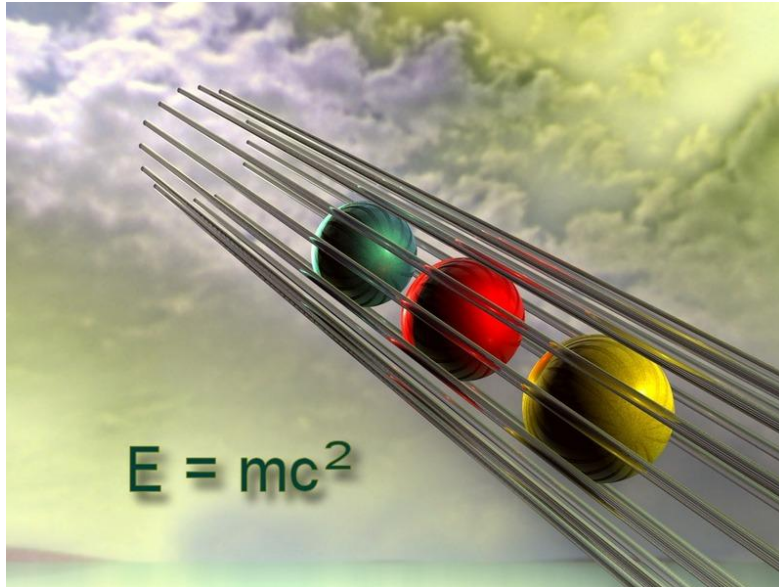


Una rápida visión sobre la naturaleza e historia de la Ciencia ... y de las Ciencias de la Tierra

Jorge Oyarzún (Geol., DSc)

Departamento de Ingeniería de Minas - ULS (Chile)



Introducción

El conocimiento científico como se entiende actualmente se caracteriza por su apego a ciertas “reglas del juego”, que son distintas de las que operan en otros campos de la actividad humana. Naturalmente, la ciencia procura dar cuenta del mundo, como se presenta a nuestra experiencia, así como de las consecuencias del pensamiento lógico en el dominio de las matemáticas. Ambos objetivos dan lugar a una primera separación de las ciencias en formales y fácticas. Las primeras son relativamente independientes de nuestra experiencia aunque se derivan de ella. Es el caso de las matemáticas y de la lógica simbólica. Así, la geometría surgió de los primeros intentos por medir la tierra con fines prácticos, pero más tarde se independizó de la experiencia y llegó a concebir espacios curvos y multidimensionales. En consecuencia no están constreñidas por la experiencia pero sí por las reglas lógicas y la consistencia que ellas mismas establecen.

En cambio, las ciencias fácticas, como la física, la química o la biología, parten de la observación del mundo y de la experimentación, buscan descubrir sus regularidades de comportamiento y procuran describirlas mediante leyes y explicarlas por medio de hipótesis y teorías. Al respecto, el concepto de regularidad, vale decir de comportamientos repetitivos predecibles, es esencial para la existencia de la ciencia. De otro modo el mundo sería un conjunto de comportamientos inesperados, imposibles de prever o interpretar en términos de relaciones causa-efecto.

Aunque el pensamiento científico formal ya está presente en el mundo griego y helenístico, con Aristóteles, Euclides, Arquímedes, Eratóstenes y otros grandes pensadores e investigadores, y la Biblioteca de Alejandría llegó a ser un notable centro de erudición e investigación entre los siglos III AC y III DC, el desarrollo de la ciencia moderna tiene su punto de partida en el siglo XVI. Este

ocurrió inicialmente en torno a la astronomía y la física, luego a la química, la biología y la geología. Las características de esa ciencia se indican a continuación.

Características de la ciencia

Racionalidad. El conocimiento científico se estructura en torno a conceptos, juicios y raciocinios combinados según reglas lógicas, que deben ser compartidas por la comunidad científica. En ese conocimiento existen jerarquías según la complejidad y la dependencia de las ciencias entre sí. Por ejemplo, la física no puede contradecir las matemáticas, aunque en algunos casos pueda necesitar desarrollar una nueva matemática para avanzar (como cuando Newton inventa el cálculo infinitesimal para describir el movimiento planetario). Tampoco la química puede pasar sobre la física ni la biología sobre la física y la química.

Objetividad. La ciencia necesita ser objetiva (aunque como personas los científicos puedan no serlo). Se entiende por objetividad la concordancia del “discurso” o la descripción con el objeto o fenómeno observado e investigado. La objetividad debe acompañar también a la verificación de las ideas e hipótesis, contrastándolas con las observaciones de los pares (otros investigadores) y con los resultados de los experimentos y de nuevas observaciones.

Facticidad. El conocimiento científico, excepto el lógico-matemático, es fáctico. Parte de los hechos y procura retornar a ellos, prediciendo nuevos hechos como resultado de experimentos u observaciones.

Trascendencia. Aunque el conocimiento científico parte de los hechos, procura trascenderlos, ir más allá de ellos desarrollando leyes generales e hipótesis y teorías explicativas. Igualmente procura predecir nuevos hechos como consecuencia de sus descubrimientos. La ciencia generaliza, interpola y extrapola.

Carácter analítico. La ciencia descompone la realidad compleja en sus elementos más simples para someterlos separadamente a estudio. Después procura integrarlos descubriendo sus mutuas interacciones (a la manera de una persona que desarma una máquina y la vuelve a armar para entender su funcionamiento).

Carácter especializado. La ciencia necesita especializarse para profundizar en el conocimiento de los distintos aspectos de la realidad. Sin embargo, es importante que al mismo tiempo mantenga el diálogo entre las diferentes especialidades, lo que en muchas ocasiones puede dar lugar a nuevas ciencias que exploren terrenos comunes, como es el caso de la bioquímica o la biofísica.

Claridad y Precisión. El conocimiento científico necesita formular sus conceptos y problemas con claridad, lo que conlleva el desarrollo de un lenguaje especializado. La ciencia procura registrar con exactitud y medir con precisión los fenómenos estudiados. En lo posible, la ciencia favorece el uso del lenguaje matemático (fórmulas).

Método. Existe un método, el método científico, que es propio de la ciencia. En principio éste implica la realización de observaciones y mediciones precisas, seguido de la formulación de hipótesis de trabajo, las cuales son sometidas a prueba mediante nuevas observaciones o experimentos. Ello va llevando a un refinamiento de las hipótesis, a la formulación de leyes, si corresponde, y al desarrollo de teorías explicativas generales. Sin embargo mucho de lo ocurrido en el avance de la ciencia ha sido inicialmente fruto de circunstancias u observaciones inesperadas, las que luego son encausadas posteriormente siguiendo el método científico.

Dentro del método científico, la formulación de hipótesis múltiples, seguida del diseño de experimentos u observaciones que permitan confrontar objetivamente su validez, desempeña un papel esencial.

Generalidad y Legalidad. La ciencia procura obtener un conocimiento tan general en sus bases explicativas como sea posible, una búsqueda de generalidad y unidad que es especialmente notable en la física teórica. Igualmente busca generar leyes que describan las “regularidades” de comportamiento observadas. Aunque esas leyes básicamente describen y no explican la razón de ser de la regularidad, una vez formuladas nos sirven para explicar los comportamientos observados. Por ejemplo, si vemos en el aire un globo aerostático, lo explicaremos por las leyes de los gases ideales y del empuje, y si observamos un avión jet, acudiremos a la fórmula de Bernouilli y al principio de acción y reacción de Newton. En cambio, las teorías son propiamente explicativas, como la teoría cinética de los gases, que explica la ley de los gases ideales o la teoría de la evolución de Darwin, que explica el fenómeno evolutivo a través de la selección natural.

Verificación o Falsación de Hipótesis. La veracidad de una hipótesis no es en principio demostrable, pero sí se puede demostrar su falsedad o su falta de valor general. Ello requiere que las hipótesis sean efectivamente verificables. Si no lo son, su valor científico es escaso. Ello implica que la “verdad absoluta” no existe en el mundo científico, donde dicha pretensión se sacrifica a cambio de la rigurosidad y la disposición permanente a buscar esa “verdad inalcanzable”, a sabiendas de que nunca se alcanzará.

Utilidad y Predicción. Aunque la ciencia no persigue directamente alcanzar resultados útiles, termina en la práctica haciéndolo en tal grado que ha cambiado el mundo físico y las condiciones de vida del ser humano. En esos cambios, la capacidad predictiva de la ciencia juega un papel central. Por ejemplo, actualmente el descubrimiento de nuevas drogas farmacéuticas ha dejado de ser un juego de prueba y error para convertirse en un verdadero diseño de ingeniería, de manera que es posible predecir sus propiedades curativas aún antes de haberlas sintetizado. Por otra parte, ciencia y tecnología interactúan continua y productivamente. Por ejemplo, el avance de las ciencias permite diseñar instrumentos cada vez más potentes y complejos, que dan lugar a nuevos descubrimientos científicos.

Apertura y Publicaciones. La ciencia se entiende como una actividad abierta, aunque no siempre lo sea (como en el caso de la actividad de investigación de las empresas industriales). Sus resultados se comunican a través de sociedades, congresos y revistas científicas. Estas últimas cuentan con comités editoriales que aprueban o no los trabajos que son sometidos a su consideración. Las revistas reemplazaron a las comunicaciones personales entre los primeros científicos y en parte a las actas de reuniones de sus sociedades, cuando su número creciente e internacionalización obligó a contar con publicaciones especializadas. Actualmente el inglés es el idioma científico internacional, como lo fue el latín en los tiempos de Newton o el francés en el siglo XIX.

Algunos protagonistas en el desarrollo de la ciencia

Los nombres seleccionados a continuación se relacionan principalmente con la física y tienen especial relevancia para la geología por la naturaleza de su contribución. Desde luego se omiten muchos nombres importantes, por la necesidad de mantener la brevedad de este texto.

Roger Bacon: Monje franciscano inglés (1214-1294). Promovió el método experimental, contra la costumbre de su época de aceptar sin reservas las opiniones de los sabios antiguos. Desarrolló las lentes ópticas.



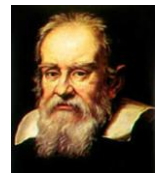
Roger Bacon

Nicolás Copérnico: Clérigo y astrónomo polaco (1473-1543). Propuso situar al sol en el centro de nuestro sistema planetario, reemplazando a la Tierra, centro en el sistema de Ptolomeo. Aunque en teoría ambos eran igualmente válidos (puesto que se trata de movimientos relativos), el de Copérnico era más simple y armonioso, lo cual se reconoce en ciencia como un valor objetivo. Copérnico tuvo la sabiduría de no dar a conocer sus ideas (necesariamente controversiales) hasta que estaba por irse de este mundo, lección que no aprovechó Galileo.



Nicolás Copérnico

Galileo Galilei: Galileo fue un notable físico, astrónomo y matemático italiano (1564-1642), el primero en describir el mundo físico utilizando mediciones y desarrollando fórmulas matemáticas para establecer leyes, especialmente en el campo de la cinética. Su apoyo a la teoría de Copérnico le causó dificultades con las autoridades eclesiásticas y pasó los últimos años de su vida sujeto a arresto domiciliario (el lenguaje “políticamente correcto”, tan en boga actualmente, ya existía en esos tiempos).



Galileo Galilei

Johannes Kepler: Vivió entre 1571 y 1630 y fue un notable matemático, que desempeñó el cargo de “Astrónomo Real” en Praga (actual capital de la República Checa). Tuvo ocasión de colaborar con el astrónomo **Tycho Brahe**, sobre la base de cuyas observaciones elaboró las tres leyes del movimiento planetario (1- Los planetas giran en órbitas elípticas, en uno de cuyos focos se encuentra el sol. 2- Los planetas “barren” áreas iguales en tiempos iguales, lo que significa que su velocidad aumenta cuando están más cerca del sol. 3- El período de un planeta en su órbita es proporcional a la potencia $3/2$ del radio de la órbita). Las leyes de Kepler prepararon el terreno a los tres grandes principios de Newton



Johannes Kepler

Isaac Newton: Matemático y físico inglés (1642-1727). Su investigación sobre la física del movimiento planetario dio por resultado el establecimiento de los tres principios fundamentales de la mecánica clásica: 1- Ley de la gravitación universal (concepto de “masa pesante”) 2- Principio de inercia (todo cuerpo permanece en reposo o bien en movimiento uniforme y rectilíneo, a menos que actúe sobre él una fuerza. En tal caso, el efecto de dicha fuerza es inversamente proporcional a su “masa inercial”). 3- principio de acción y reacción. También dio lugar a la invención



Isaac Newton

del cálculo infinitesimal. Por otra parte, Newton contribuyó también de modo importante al desarrollo de la óptica. Se le considera el físico más importante anterior a Einstein.

Antoine Lavoisier: Científico francés (1743-1794) que dio a la química su primera forma moderna, al establecer el principio de la conservación de la materia. Fue ejecutado durante la revolución francesa bajo el argumento de que “la revolución no necesita científicos”, concepto político discutible que ha resurgido más de una vez. A su nombre se unen otros importantes pioneros de la química como **Louis Proust** (1754-1826) y **John Dalton** (1766-1844).



Antoine Lavoisier

Sadi Carnot: Ingeniero Politécnico francés (1796-1832). Estableció la 2ª Ley de la Termodinámica, que limita el rendimiento máximo de una máquina térmica a la diferencia entre su temperatura y la temperatura del medio dividida por la temperatura del medio, lo cual implica la pérdida de energía en forma de calor y el crecimiento de la entropía. Las otras dos leyes se refieren a la conservación de la energía cuando ésta pasa de una forma a otra (1ª Ley) y a la imposibilidad física de alcanzar el cero absoluto (3ª Ley). Respecto a estas materias también es muy importante la contribución del inglés **James Joule** (1818-1889) referente a las relaciones entre transferencia de energía y trabajo mecánico



Sadi Carnot

Carl Gauss: Físico y matemático alemán (1777-1855) Aplicó las matemáticas al estudio de la gravitación, la electricidad y el magnetismo, en particular respecto a los campos de fuerzas generados.



Carl Gauss

Charles Darwin: Biólogo y geólogo inglés (1809-1882). Como científico de la expedición del “Beagle” (1831-1836) reunió abundante información, que luego utilizó para formular su teoría de la evolución biológica por selección natural. Esa teoría explica la evidencia que entrega la columna estratigráfica-paleontológica. Aunque vivió en una sociedad tolerante, su teoría le atrajo la animosidad de grupos religiosos. Aun en la actualidad, su teoría tiene dificultades para ser enseñada en algunos estados de EEUU.



Charles Darwin

William Thompson: Físico inglés (1824-1907) más conocido como **Lord Kelvin**. Contribuyó de modo importante a la termodinámica, la electricidad y el magnetismo. Propuso la escala absoluta de temperatura que lleva su nombre. Calculó la posible edad de la Tierra, basado en su actual temperatura y considerando el calor emitido desde su formación (cuando aun no se conocía la radiactividad, lo cual le impidió alcanzar un resultado correcto, pero implicó un cierto acercamiento a su orden de magnitud).



William Thompson

James Clerk Maxwell: Físico escocés (1831-1879). Investigó las ondas electromagnéticas y demostró que la luz era una forma de esa radiación.



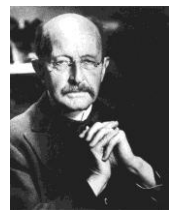
James C. Maxwell

Henri Becquerel: Físico francés (1852-1908), que descubrió la radioactividad. Colaboró con **Marie** y **Pierre Curie** en ese campo de investigación.



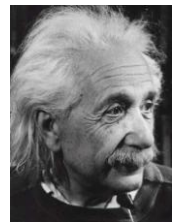
Henri Becquerel

Max Planck: Físico alemán (1858-1947). Estableció la teoría cuántica de la radiación electromagnética.



Max Planck

Albert Einstein: Físico germano-suizo (1879-1955) Explicó el efecto fotoeléctrico y fue autor de la Teoría de la Relatividad Restringida (que elimina los conceptos de tiempo y espacio absolutos) y de la Relatividad Generalizada, que reemplaza el concepto de fuerza de gravedad por el de la curvatura del espacio debido a la presencia de masa.



Albert Einstein

El Desarrollo de las Ciencias de la Tierra

La Geología, a diferencia de otras ciencias como la física o la química experimentó especiales dificultades para alcanzar su pleno desarrollo. Estas dificultades fueron de dos tipos principales. El primero, derivado del hecho que el origen de la tierra forma parte de la mayoría de los relatos de las diversas religiones, y de que varios aspectos de la realidad geológica, en particular la magnitud de los tiempos involucrados, contradecían el “sentido común” y las creencias de las personas. El segundo se refiere a su dependencia de otras ciencias, por lo cual sus avances necesitaron de otras disciplinas, por ejemplo, de la física nuclear para realizar dataciones absolutas de las rocas.

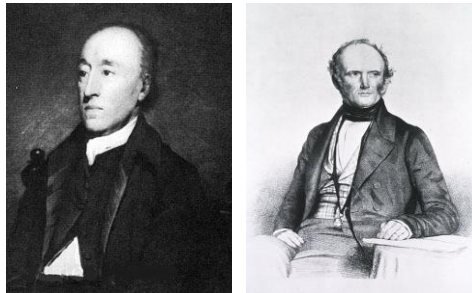
A mediados del siglo XVII, la cultura europea veía el mundo natural como una obra estática y terminada. Así, las especies biológicas habían sido creadas juntas, y en un tiempo no lejano, y los estratos de rocas sedimentarias constituían una especie de ornamentación del paisaje. Recién en 1669 **Nicolás Steno** planteó que los estratos están superpuestos conforme a su edad, los más antiguos abajo, los más jóvenes arriba, y sólo en 1705 **Robert Hooke** interpretó los fósiles encontrados en las rocas sedimentarias como restos de seres vivos, cuyo estudio puede

ser utilizado para reconstruir la historia de la Tierra. Las primeras dataciones radiométricas de rocas datan de 1905.



Nicolás Steno y Robert Hooke

Clave además para el desarrollo de de las Ciencias de la Tierra fue la contribución de **James Hutton**, científico escocés (1726-1797), profesor en la Universidad de Edimburgo. Hutton elaboró la primera visión moderna de la geología: “Teoría de la Tierra”. Posteriormente, el también escocés **Charles Lyell** (1797-1875) contribuyó a la difusión de sus ideas. De especial importancia es el concepto de uniformidad de los procesos geológicos (de modo que el presente es la clave del pasado) desarrollado por Hutton.



James Hutton y Charles Lyell

Cuando se produce el gran salto a la tecnología del acero y el uso del carbón a principios del siglo XIX, la geología toma un importante impulso asociado a la explotación de los recursos minerales. Este impulso alcanza su madurez en el siglo XX cuando se inicia la producción del petróleo a gran escala. Más adelante, la geología pasó a ser también esencial para la exploración y explotación de metales básicos y preciosos, así como para la construcción de grandes obras de ingeniería. En estas tareas, se unieron a la geología la geofísica en sus distintas especialidades (sísmica, gravimétrica, magnetométrica, eléctrica, etc.) y la geoquímica (de rocas, suelos, drenaje, etc.). Por otra parte, la geología ha trabajado en estrecha unión con la paleontología, que entrega valiosas indicaciones de carácter cronológico relativo y paleogeográfico.

La geología alcanzó su plena consolidación con el desarrollo de la Teoría de la Tectónica de Placas. Dicha teoría fue propuesta en 1915 por **Alfred Wegener** y explicó la deriva de los continentes. Surgió de la constatación de la expansión de los fondos oceánicos (**Harry Hess**, 1960), posibilitada por estudios magnetométricos del fondo oceánico, interpretados gracias a la columna de inversiones del campo magnético terrestre, elaborada años atrás.

La **tectónica de placas** entrega una interpretación unificada de los diversos aspectos de la geología, incluidos los procesos de formación de yacimientos minerales. Por otra parte, se basa en el movimiento de materia convectivo ligado a la liberación del calor interno, generado por la presencia de isótopos radioactivos en el manto y la corteza terrestres



Alfred Wegener y Harry Hess

Las Ciencias de la Tierra, en particular la geología, la geofísica, la geoquímica y la paleontología pueden realizar importantes contribuciones al entendimiento, y proponer soluciones para los problemas derivados de potenciales **cambios climáticos**, a diferentes escalas de espacio y tiempo. Igualmente, estas disciplinas de las ciencias de la tierra pueden hacer mucho para lograr mayor seguridad para las poblaciones humanas afectadas por riesgos naturales como la sismicidad, el vulcanismo y las inundaciones.

Volver a Ciencia y Sociedad