



Opinión

El científico rebelde y el progreso de la ciencia

Ernesto Viglizzo¹

¹ Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria.

Transcurrió casi medio siglo desde que hice mis primeros “palotes” en territorio de la Ciencia. Acumulando años de prueba y error, y luego de leer bastante sobre historia y filosofía de la ciencia, creo que al final entendí aceptablemente la lógica de la investigación científica. Entre otras cosas, me di cuenta que los grandes saltos en el conocimiento humano lo dieron aquellos científicos (o proto-científicos) que osaron rebelarse, aún a riesgo de su vida, contra los dogmas imperantes, los paradigmas inmodificables o el pensamiento dominante.

¿Qué tuvieron en común estos rebeldes de la ciencia? En su temprano texto de 1934 titulado “La Lógica de la Investigación Científica”, el filósofo austríaco Karl Popper nos muestra un atributo común de estos personajes: el realismo y el sentido común frente al mito de un marco teórico inmutable, que permite poner en tela de juicio el mismo punto de partida de una idea. Nos introduce la noción de “falsabilidad” como criterio para demarcar lo real de lo ficticio en una teoría científica. El proceso de “falsación” se aplica para pulsar la solidez de una idea o paradigma en la ciencia. O sea, se trata de diseñar una investigación para demostrar que la teoría dominante tiene fisuras y puede resultar falsa, y que una visión alternativa del problema estudiado puede llevarnos a una interpretación más realista del mismo. Si un científico “rebelde” logra demostrar que esa teoría tiene puntos débiles y puede ser falsa, la interpretación alternativa mejorará el conocimiento que se tiene sobre el tema, al menos que esta misma interpretación sea más tarde “falsada” por otra investigación. Si no se logra “falsar” la teoría dominante esta resulta fortalecida y puede, luego de otros intentos fallidos de “falsación”, convertirse en un principio o ley científica de carácter definitivo, por ejemplo, la Ley de la Gravedad de Isaac Newton. En cualquier caso, la intervención de un científico que se rebela y sacude los cimientos convencionales de su área de conocimiento es saludable para la ciencia.

Mi primer acercamiento a un ejemplo de rebeldía en la ciencia ocurrió a partir de la teoría geocéntrica de Claudio Ptolomeo, astrónomo griego que la propuso en siglo II DC, y que sostenía que el sol y los planetas giraban alrededor del planeta Tierra. En siglo XVI, el astrónomo polaco Nicolás Copérnico cuestionó la teoría geocéntrica que dominó el conocimiento sobre los movimientos de los cuerpos celestes en nuestra galaxia. La

contrastó con la propuesta de una teoría que denominó Heliocéntrica, según la cual todos los planetas de nuestra galaxia giran alrededor del Sol, y no de la Tierra. El modelo heliocéntrico de Copérnico resolvió muchas de las inconsistencias del modelo de Ptolomeo, y simplificó la explicación de los movimientos planetarios. La transición de un modelo a otro fue conocida como Revolución Copernicana, que connota un cambio radical en la forma de interpretar un asunto. Por falta de evidencias y mediciones concretas, la Iglesia Católica no cuestionó el modelo heliocéntrico en un primer momento, pero lo prohibió a partir del año 1600.

Eppur, si muove

Entonces, a principios del siglo XVII aparece en escena Galileo Galilei, quien en base a meticulosos estudios apoyó decididamente la teoría Heliocéntrica de Copérnico. En 1614, en una carta que escribió a la Gran Duquesa Cristina, detalló “Sostengo que el Sol está situado en el centro de las órbitas celestes, y no cambia de lugar. Y que la Tierra realiza un movimiento de rotación en torno a sí misma y se desplaza alrededor del Sol”. Y agregó “En las discusiones sobre fenómenos naturales, no debemos partir de la autoridad de los pasajes bíblicos, sino de la experiencia de nuestros sentidos y de las necesarias demostraciones”. Las autoridades de la Iglesia Católica estallaron, y las ideas copernicanas de Galileo fueron consideradas heréticas y un “auténtico error”. El mismo Papa se involucró e indicó que si, y sólo si, Galileo se oponía a aceptar el dictamen de la Iglesia, la Inquisición le advertiría formalmente en presencia de un notario y de testigos, de que debía abstenerse de “sostener, defender y enseñar” las teorías de Copérnico. En esos tiempos era un secreto a voces que se había obligado a Galileo a abjurar de sus creencias y a hacer penitencia delante de la Inquisición. También se dijo que en la intimidad el Papa Pablo V, amigo de Galileo desde larga data, le aseguró que no tendría que preocuparse por su postura mientras él viviera y siguiera como Papa. E inclusive lo estimuló a que siguiera con sus investigaciones y a escribir un libro sobre los dos modelos del universo. La condición fue que expusiera estas teorías con imparcialidad sin argumentar a favor de ninguno de los dos sistemas. Es decir, no estaba autorizado a defender las ideas de Copérnico.

Estas condiciones cambiaron con la asunción del Papa Urbano VIII, quien decidió someter a Galileo a un juicio por herejía, lo cual obligó nuevamente a Galileo a retractarse después de ser amenazado con la tortura. De ahí que se le atribuye la famosa frase eppur, si muove (“sin embargo, se mueve”). Se refería, claramente, a que la Tierra gira alrededor del Sol, y no al revés. Aunque por su edad no llegó a ser torturado, fue condenado a cadena perpetua.

La rebeldía mayor de Galileo fue demostrar que era posible investigar el universo introduciendo el procedimiento científico de proponer hipótesis y de realizar mediciones y experimentos, en lugar de discutir una teoría científica en términos puramente filosóficos. Paradójicamente, recién el 31 de octubre de 1992, ante la Academia Pontificia de la Ciencia, el entonces Papa Juan Pablo II declaró oficialmente que Galileo Galilei era inocente de la acusación por la que había sido condenado en el año 1633. Tardíamente, el rebelde se impuso al dogma religioso.

La rebelión darwiniana

Sin duda, en el campo de la Biología y otras ciencias naturales, Charles Darwin fue un rebelde que enfrentó y se impuso a la rigidez del dogma religioso. A partir de su teoría, cambió toda la interpretación de los procesos biológicos en la naturaleza.

Charles Darwin se rebeló a la visión religiosa de la creación del ser humano que sostenía que Dios creó todas las especies, incluido el ser humano. Desarrolló su Teoría de la Evolución por Selección Natural y presentó en 1859 su obra más conocida, "El Origen de las Especies". Antes de Darwin, la visión dominante en la sociedad occidental era la creencia que sostenía que el ser humano era producto de la creación divina, tal como se describe en la Biblia.

Tras sus observaciones y registros meticulosos en el viaje a bordo del Beagle y el estudio de la diversidad biológica, Darwin concluyó que las especies no eran inmutables sino que evolucionaban con el tiempo a través de un proceso natural de selección. La selección natural de Darwin propuso que los individuos con características más favorables para su entorno tienen más probabilidades de sobrevivir y reproducirse, pasando esas características a la siguiente generación. Este proceso gradual, acumulado durante millones de años, podría explicar la diversidad de la vida en la Tierra, incluyendo la aparición del ser humano.

La implicación de la teoría de Darwin es que el humano, al igual que todas las demás especies, evolucionó de antepasados comunes y no fue creado de forma especial o separada. Esto contrastaba directamente con la visión religiosa tradicional de la creación, generando un intenso debate y controversia en su tiempo, especialmente entre aquellos que veían su teoría como una amenaza a las creencias religiosas sobre la creación y el lugar del hombre en el universo. Aunque Darwin no negaba explícitamente la existencia de Dios, su teoría sugería que los procesos naturales podían explicar el desarrollo y diversidad de la vida sin necesidad de intervención divina directa. Esta teoría cambió la historia y la interpretación de la Ciencia.

Más allá de enfrentar el dogma religioso, Darwin y su teoría fueron también duramente criticados por el progresismo ideológico de izquierdas. Esta ideología ha combatido la noción de "darwinismo social" por considerar que se ha utilizado para justificar la desigualdad y la falta de responsabilidad social, principios contrarios a los valores de igualdad, justicia social y solidaridad. Postulan que a partir de Darwin y sus teorías se ha fomentado el individualismo extremo y la competencia despiadada, valores que son incompatibles con una sociedad más justa y equitativa.

Sin duda, estos dogmas ideológicos malinterpretan el concepto de selección natural. El darwinismo social, como teoría que se desvía de la noción de selección natural, aplica la idea de "supervivencia del más apto" en el contexto de las sociedades humanas, pero no de otras especies animales y vegetales. Reinterpretan a Darwin sugiriendo que las desigualdades sociales, económicas y políticas son resultado de la competencia natural y que los individuos o grupos más "aptos" (a menudo los más ricos o poderosos) tienden a imponerse y predominar en la sociedad. Argumentan que el concepto de selección natural de Darwin es una distorsión de la naturaleza que no debe ser aceptada porque justifica la emergencia de jerarquías sociales.

Darwin sin duda fue otro caso paradigmático de un científico cuya rebeldía chocó y choca contra las creencias y los dogmas, o sea, aquellos que lo reinterpretan a gusto y lo resisten.

Rebeldías molestas en el universo de la Física

Por sus contribuciones revolucionarias y disruptivas en diversos campos de la ciencia, especialmente en la física, las matemáticas y la astronomía, Isaac Newton es considerado el padre de la ciencia moderna. Su trabajo sentó las bases para gran parte del conocimiento científico moderno y cambió la comprensión del universo que dominaba en su época. La Ley de la Gravedad de Newton sigue siendo extremadamente útil y precisa para muchas aplicaciones prácticas, como la ingeniería y la navegación espacial en el sistema solar. Esta ley explicó por primera vez el movimiento de los planetas y las órbitas elípticas descritas por Kepler, proporcionando un marco matemático para entender la gravedad tanto en la Tierra como en el espacio.

En su obra "Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica" (1687), Newton formuló las tres leyes del movimiento que describen la relación entre un cuerpo y las fuerzas que actúan sobre él: La Primera Ley sobre la Inercia, la Segunda Ley sobre Fuerza y Aceleración, y la Tercera Ley sobre Acción y Reacción. Newton, en simultáneo con Leibniz (aunque de manera independiente), desarrolló el cálculo diferencial e integral. Esta es una herramienta matemática esencial para describir cambios continuos y modelar problemas complejos en física y otras ciencias, desde la descripción del movimiento hasta la gravitación y la dinámica de los fluidos. Newton también logró avances significativos en el estudio de la luz y el color. Al usar un prisma para descomponerla y recombinarla, demostró que la luz blanca es una combinación de todos los colores del espectro visible. También desarrolló la teoría corpuscular de la luz, que argumentaba que la luz está compuesta de partículas, un concepto que más tarde cambió y evolucionó hacia el desarrollo de la teoría ondulatoria de la luz.

En un sentido genérico, Newton logró unificar la interpretación de fenómenos aparentemente dispares bajo principios universales. Promovió la idea de estudiar los fenómenos naturales bajo un enfoque sistemático y matemático. Insistió en la experimentación y la observación rigurosa para validar las teorías científicas. Su enfoque analítico y racional ayudó a establecer los fundamentos del método científico moderno. Sus ideas no solo revolucionaron la física, sino que también influenciaron profundamente otras disciplinas, desde las matemáticas hasta la astronomía, y sentaron las bases de la llamada Revolución Científica.

Otro rebelde emblemático en el campo de la Física fue Albert Einstein. Einstein cuestionó la fortaleza inexpugnable de la Física Newtoniana, que fue la teoría dominante durante más de dos siglos. Su teoría de la relatividad especial (1905) y, más tarde, la teoría de la relatividad general (1915) cambiaron nuestra comprensión del espacio, el tiempo y la gravedad. La Teoría de la Relatividad de Einstein no se opuso radicalmente a la Ley de la Gravedad de Newton, sino que la amplió en sus alcances. La Ley de la Gravedad de Isaac Newton describe la gravedad como una fuerza instantánea de atracción entre dos cuerpos con masa distinta. Masa y distancia entre esos cuerpos conforman la base de su Ley. A través de Teoría de la Relatividad General, Einstein

reformuló el concepto de fuerza gravitatoria, y más que como una fuerza, la describió como una curvatura del espacio-tiempo causada por la presencia de masa y energía. Según esta teoría, los objetos masivos como el Sol curvan el espacio-tiempo a su alrededor, y los planetas siguen estas curvas, las cuales se reflejan en el formato de sus órbitas.

Einstein no contradijo a Newton, sino que proporcionó una descripción más completa de la gravedad al incluir efectos que Newton no pudo explicar. La rebeldía de Einstein nos permitió entender mejor cómo funciona la gravedad tanto a una escala local como a una escala cósmica en el vasto universo.

Pero el aporte de Einstein a la Física no fue el único. La teoría de la Mecánica Cuántica representó una ruptura significativa con la física clásica en varios aspectos fundamentales. En lo esencial, intenta entender la física no a nivel cósmico, sino a nivel de partículas microscópicas. Varios físicos de nota desarrollaron esta teoría, entre ellos Max Planck, Niels Bohr, el propio Einstein y Erwin Schrödinger entre otros. Mientras que la física clásica, basada en leyes consolidadas, era determinista y describía el mundo a través de conceptos intuitivos como el espacio, el tiempo y la fuerza, la Mecánica Cuántica introdujo ideas radicalmente nuevas. El determinismo de la física clásica suponía que, dado el estado inicial de un sistema, se podía predecir con precisión el estado futuro del sistema. La Mecánica Cuántica, en cambio, no es determinista sino probabilística. No da certezas, sino que asigna una probabilidad de ocurrencia a cualquier evento físico, razón por la cual fue muy resistida por los físicos clásicos, que quedaron descolocados, entre ellos Einstein.

Para complicar las cosas, en 1927 el joven y brillante físico alemán Werner Heisenberg introdujo el “principio de incertidumbre”, rebelándose al paradigma científico imperante desde hacía siglos. Demostró que, en muchas mediciones físicas, se obtenía tan solo una porción de información, la cual se lograba al precio de perder otra. El Principio de Incertidumbre de Heisenberg implicaba que los conocimientos en Física no son absolutos, sino que su significado depende de los experimentos que son realizados para obtenerlos. Minaba así la suposición de que la ciencia podía revelar el mundo físico con una precisión y detalle sin límites. Niels Bohr, mentor de Heisenberg, entendió que su alumno tenía razón, pero que la nueva teoría sólo podría imponerse con la convencida ayuda de su amigo Einstein. Como Heisenberg cuestionaba a fondo la postura del famoso y reverenciado Albert Einstein, éste se mostró escéptico y profirió su célebre frase “...no creo que Dios se dedique a jugar a los dados”.

Científicos rebeldes marcaron las ciencias agrarias

En la historia de la investigación agronómica y veterinaria, varios científicos desafiaron los paradigmas existentes y abrieron nuevos caminos con sus investigaciones innovadoras.

Debemos admitir que los casos más resonantes de rebeldes que mejoraron el conocimiento científico ocurrió en el campo de las llamadas “ciencias duras”, como la Astronomía, la Cosmología, la Física. No ha sido tan frecuente encontrar casos de alto impacto en los distintos campos de la Biología. Menos frecuente aún es encontrarlos en las denominadas ciencias aplicadas específicas, como en la Agronomía y Veterinaria

dentro de lo que genéricamente conocemos como Ciencias Agrarias. No obstante, existen ejemplos de científicos de otros campos del conocimiento que contribuyeron a modificar paradigmas en el conocimiento de la Agronomía y Veterinaria.

El monje austríaco Gregor Mendel (1822-1884), considerado el padre de la genética, tuvo aportes revolucionarios en el contexto de su tiempo y de las teorías científicas predominantes en el siglo XIX. En su época las teorías sobre la herencia eran vagas e imprecisas. Las ideas dominantes de la "mezcla de caracteres" o "herencia de caracteres adquiridos" (influenciadas por las teorías de Lamarck y la noción de la herencia por mezcla continua) eran ampliamente aceptadas. Mendel desafió esas ideas al proponer que la herencia se basa en unidades discretas (lo que hoy llamamos genes), y no en una mezcla continua. Este concepto de herencia particulada fue revolucionario y fue en contra del pensamiento dominante en la época. Introdujo un enfoque experimental riguroso y cuantitativo en el estudio de la herencia, algo que no era común en la biología de ese tiempo. Realizó experimentos controlados utilizando el guisante de jardín (*Pisum sativum*) y registró meticulosamente los resultados de sus cruzamientos, contando las proporciones de los diferentes rasgos heredados en las generaciones sucesivas. Esta metodología contrastaba fuertemente con el enfoque más descriptivo y cualitativo que prevalecía en las ciencias naturales. Mendel formuló dos leyes fundamentales de la genética: la Ley de la Segregación (primera ley de Mendel) y la Ley de la Distribución Independiente (segunda ley de Mendel). Ambas proporcionaron un marco teórico claro y predictivo para entender la herencia genética. Al desafiar las teorías existentes con una nueva teoría basada en experimentos controlados y resultados reproducibles, Mendel se posicionó como un verdadero innovador científico. Realizó su trabajo en un relativo aislamiento intelectual en el monasterio de Brno (hoy, República Checa). Por tanto, su enfoque y sus ideas no fueron influenciados por las escuelas de pensamiento científico más establecidas de su tiempo. Al aplicar un enfoque empírico y matemático a la biología, desafió indirectamente las nociones más dogmáticas de la creación y la naturaleza. Su insistencia en buscar patrones racionales y cuantificables en la herencia genética se puede ver como un desafío al statu quo intelectual y teológico de su tiempo. De hecho, sus hallazgos no fueron ampliamente reconocidos hasta décadas después de su muerte, cuando unos científicos redescubrieron su trabajo a principios del siglo XX. Sus investigaciones ubicaron a la genética como una ciencia central en la Biología moderna.

Aunque proveniente de la Química, los aportes de Justus von Liebig (1803-1873) han tenido profundas implicancias en la ciencia agronómica. Considerado el padre de la química agrícola, von Liebig contradujo las ideas prevalecientes en su época sobre la respuesta de los cultivos a la fertilización del suelo. Antes de Liebig, la agricultura se basaba en gran medida en conocimientos empíricos y prácticas tradicionales. Liebig defendió un enfoque científico basado en la química para entender los procesos agrícolas, promoviendo la idea de que la agricultura podría ser optimizada y mejorada a través de la aplicación de principios científicos, como la experimentación y el análisis químico. En su época existía una creencia generalizada de que las plantas obtenían la mayor parte de sus nutrientes del humus en el suelo. Liebig, sin embargo, demostró que las plantas absorben nutrientes esenciales del suelo en forma de minerales inorgánicos y que estos minerales son necesarios para el crecimiento saludable de las plantas. Esta teoría de la nutrición mineral de las plantas cambió la manera en que se entendía la fertilización y llevó a un enfoque más científico en la formulación de fertilizantes.

Introdujo el concepto de la Ley del Mínimo, que establece que el crecimiento de una planta está limitado por el nutriente esencial que se encuentra en cantidad mínima, regulando el aprovechamiento de los restantes nutrientes. Modificó de esta manera la forma de interpretar la nutrición de las plantas y la fertilización de los cultivos. Sus estudios ayudaron a mejorar los rendimientos de los cultivos y a establecer las bases de la moderna agricultura intensiva.

Otro ejemplo proviene del biólogo Louis Pasteur (1822-1895). Aunque es más conocido por sus trabajos en microbiología, Pasteur revolucionó la medicina veterinaria al descubrir el origen microbiano de las enfermedades. Antes de Pasteur, muchas enfermedades en animales (y humanos) se atribuían a "miasmas", o sea, a desequilibrios en los humores corporales. Pasteur desarrolló la teoría germinal de las enfermedades al postular que microorganismos específicos son los causantes de enfermedad. Este descubrimiento fue revolucionario porque proporcionó una explicación científica para entender cómo se propagaban las enfermedades infecciosas, lo que antes se consideraba un misterio. Las investigaciones de Pasteur mejoraron la comprensión de las zoonosis, enfermedades que pueden transmitirse de animales a humanos. Sus investigaciones condujeron al desarrollo de las vacunas. La vacuna contra el ántrax (devastadora en vacunos y ovinos), cambió radicalmente la forma de concebir y prevenir las enfermedades animales. Aunque la rabia afecta tanto a humanos como a animales, el desarrollo de la vacuna contra la rabia por parte de Pasteur en 1885 también tuvo enormes implicancias para la medicina humana y veterinaria. Una vez aceptados sus descubrimientos, hubo un cambio significativo en la educación y la práctica veterinaria. Las escuelas de veterinaria comenzaron a integrar principios de microbiología, inmunología y técnicas de vacunación, pasando de un diagnóstico basado en la simple observación de los síntomas, al diagnóstico y tratamiento basado en la ciencia.

Konrad Lorenz (1903-1989) fue un biólogo conocido por sus investigaciones en etología, o sea el estudio del comportamiento animal. Sus hallazgos tuvieron un impacto profundo en la veterinaria y en la agronomía, especialmente para adaptar el manejo de animales y mejorar la comprensión del bienestar animal. Lorenz estudió los comportamientos innatos o instintivos de los animales, como el comportamiento de huida, el establecimiento de jerarquías y la territorialidad. En tiempos en que los animales se manejaban sin un criterio científico, sus aportes permitieron prever y gestionar comportamientos del ganado que influyen en la eficiencia y el bienestar animal. Asimismo, caracterizó el comportamiento de huida (la tendencia natural de los animales a alejarse ante una amenaza) y ayudó a mejorar el diseño de instalaciones que minimizar el estrés y el riesgo de lesiones. La comprensión del comportamiento animal también ha influido en la cría selectiva, al seleccionar animales no solo por sus características físicas y productivas, sino también por características heredables deseables como la docilidad y adaptabilidad al manejo.

Otro caso emblemático es el de la genetista Barbara McClintock (1902-1992), quien contradujo las creencias científicas de su tiempo y abrió nuevas avenidas en el mejoramiento genético de las plantas. Aunque su trabajo no se centró exclusivamente en la ciencia agronómica, McClintock fue quien descubrió la denominada transposición genética. Su descubrimiento de los elementos transponibles (o "genes saltarines") proporcionó un nuevo entendimiento de cómo los genes o segmentos de ADN pueden cambiar de posición dentro del genoma, lo que tiene implicaciones directas en la

diversidad genética, la adaptación de los cultivos a diferentes ambientes y la mejora de características agronómicas de resistencia a plagas y enfermedades. Sus hallazgos cambiaron radicalmente la idea de que los genes son unidades fijas y estables dentro de los cromosomas. Asimismo, demostró que los elementos transponibles pueden afectar la expresión de otros genes. Esta comprensión es una herramienta clave para la ingeniería genética y la edición de genes en el moderno mejoramiento de cultivos. Su trabajo fue un ejemplo de rigor científico y originalidad en la investigación genética. Es importante destacar que, en el momento en que McClintock hizo sus descubrimientos, la comunidad científica no comprendió ni aceptó completamente sus hallazgos sobre los elementos transponibles. No fue hasta los años 70 y 80, que su trabajo fue plenamente reconocido. Su enfoque experimental y sus descubrimientos culminaron en la concesión del Premio Nobel de Fisiología o Medicina en 1983, el único otorgado a una mujer en solitario en esa categoría.

Estos científicos, entre otros, tuvieron el coraje y la visión para desafiar las creencias establecidas y revolucionar sus campos de conocimiento, contribuyendo al avance posterior en los campos de la agronomía y la medicina veterinaria.

¿Por qué la Ciencia necesita rebeldes?

El conocimiento científico no es estático; está en constante evolución a partir de descubrimientos y nuevas tecnologías. La diversidad de pensamiento es crucial para impulsar esa evolución, alejada de los dogmas o creencias retardatarias.

Los científicos rebeldes, si a la vez son brillantes y comprometidos, impulsan el avance del conocimiento humano, desafían las ideas preconcebidas, fomentan la innovación, y promueven un enfoque crítico y dinámico que permite mejorar la comprensión de la Naturaleza. Sin ellos, la Ciencia quizás estaría estancada en dogmas, "verdades reveladas" o ideologías, y perdería así su capacidad de evolución y adaptación frente a nuevos retos del conocimiento y la verdad.

Los científicos rebeldes son aquellos que no se conforman con las explicaciones o teorías aceptadas en su tiempo. Gracias a su creatividad y capacidad de pensar "fuera de la caja o del 'closet'", o sea, fuera de las convenciones aceptadas, suelen desarrollar ideas que parecen radicales o improbables, pero que aportan nuevas perspectivas que pueden llevar a descubrimientos inesperados. Son esenciales a la hora de romper paradigmas y explorar territorios desconocidos. Aquellos que no le temen a la rebeldía y a sus consecuencias, están dispuestos a romper con los métodos convencionales, explorar nuevos enfoques, mirar la naturaleza desde otro ángulo y resolver problemas que parecían insuperables. Suelen enfrentarse con valentía a las ideas dominantes y están dispuestos a ser malinterpretados o ridiculizados. Pero a menudo contagian e inspiran a otros para seguir explorando y cuestionando.

Podemos argüir que existe una ciencia confirmatoria, y otra ciencia exploratoria. Los científicos confirmatorios son aquellos que, con leves variantes, tienden a replicar estudios previos y confirmar ideas o teorías ya desarrolladas. Aunque útil y universalmente aceptado, su trabajo no siempre aporta innovaciones disruptivas, sino que consolida conocimientos preexistentes. Los científicos exploratorios, en cambio, son aquellos que cuestionan las ideas dominantes y preestablecidas, incursionan en

territorios poco conocidos y abren nuevas avenidas al conocimiento. En un principio pueden ser duramente cuestionados por sus pares, hasta que sus ideas logran anclaje y enriquecen el conocimiento existente. Son éstos últimos los rebeldes que pueden hacer aportes revolucionarios a la ciencia.

A lo largo de la historia, la ciencia ha estado cautiva de dogmas o creencias inconducentes o de teorías incorrectas que fueron aceptadas como inmutables por mucho tiempo. Los científicos rebeldes han sido cruciales para identificar errores o debilidades en esas teorías y abrir caminos alternativos, más precisos y rigurosos, que enriquecieron el conocimiento humano.

Algunos libros de lectura recomendada

Feynman, R. P., & Leighton, R. (1985). *Surely You're Joking, Mr. Feynman! Adventures of a Curious Character*. Editorial W. W. Norton & Company.

Gribbin, J. (2003). *Historia de la Ciencia 1543-2001*. Editorial Crítica, Serie Mayor.

Harman, O. (2018). *El genio de los marginados: Rebelión e invención en la historia de la ciencia*. Editorial Ariel.

Kuhn, T. S. (1962). *The Structure of Scientific Revolutions*. University of Chicago Press.

Lindley, D. (2008). *Incertidumbre. Einstein, Heisenberg, Bohr y la Lucha por Esencia de la Ciencia*. Editorial Ariel.

Popper, K. R. (1934, 1969, 1999). *La Lógica de la Investigación Científica*. Editorial Tecnos, S.A.

Sobel, D. (1995). *Longitude: The True Story of a Lone Genius Who Solved the Greatest Scientific Problem of His Time*. Editorial Walker.

Syed, M. (2019). *Rebel Ideas: The Power of Diverse Thinking*. Editorial John Murray.

Watson, J. D. (1968). *The Double Helix: A Personal Account of the Discovery of the Structure of DNA*. Editorial Atheneum.