

1. Fundamentos de la ciencia y la biología: metodología y ética de los científicos. La bioética y sus retos

Antes de comenzar, es necesario hacer una aclaración. Este podría ser el tema más complejo del curso de Historia, Enseñanza y Difusión de la Biología, pero, al mismo tiempo, es el que nos proporcionará las bases fundamentales para entender la ciencia y su método, diferenciar entre ciencia y tecnología, analizar la biología como disciplina, comprender qué implica ser un profesional de la biología y acercarnos a la ética científica.

La actividad científica ha sido sumamente beneficiosa para la humanidad, y dentro de ella podemos identificar dos procesos clave: la investigación, que surge de la necesidad de resolver interrogantes que el conocimiento común no puede responder, y la resolución de problemas relacionados con cuestiones esenciales para la supervivencia, como la salud, el crecimiento o la necesidad de materias primas, entre otros. Sin embargo, como veremos, la ciencia tal y como la conocemos y su organización son relativamente recientes, datando su estructuración alrededor del siglo XVI.

1.1. Definición de ciencia

En torno a la definición de la ciencia y a la actividad científica ha existido un gran debate. Este término, tal y como advierte la historiadora Patricia Fara, es de los más resbaladizos y tramposos: «Es difícil definir qué es ciencia. Una de las definiciones obvias, aunque irritante, es decir que ciencia es lo que hacen los científicos, pero incluso esa definición cojea, ya que la palabra científico no se inventó hasta 1833»¹.

¹ Patricia Fara, *Breve historia de la ciencia* (Barcelona: Editorial Ariel, 2009), 12.

El filósofo de la ciencia Imre Lakatos (1922-1974), en su libro sobre la metodología científica, nos recuerda que, en latín, conocimiento se dice *scientia* y ciencia llegó a ser el nombre del conocimiento más respetable². Para Lakatos la demarcación entre ciencia y pseudociencia no es un mero problema de tertulia filosófica, tiene una importancia social y política vital.

Podríamos encontrar el sentido de lo que es la ciencia indagando sobre dónde y cuándo se puede situar el inicio de esta. Pero veremos cómo es algo muy difuso y se va conformando de forma gradual con una cimentación que se basa en ideas y descubrimientos que, en su momento, trataban de responder a necesidades específicas, como la búsqueda de medicamentos, la optimización de cultivos, el conocimiento de la fauna, etc., y más adelante se incorporaron a una iniciativa de búsqueda de conocimiento más general.

Desde la filosofía de la ciencia tenemos aportaciones como la del físico y filósofo John D. Bernal (1901-1971)³, que explicó que la ciencia podía ser contemplada desde distintos ángulos: como una institución, como un método, como una tradición acumulativa de conocimiento, como factor decisivo en el desarrollo de producción y como un poderoso factor en la modelación de las creencias y actitudes hacia todo lo que conocemos⁴.

Por otro lado, el filósofo de la ciencia Mario Bunge (1919-2020), propuso que la ciencia se podía considerar como un estilo de pensamiento y de acción. En su libro *La investigación científica* defendía que la ciencia es una sistematización coherente de enunciados fundados y contrastables, vertebrados en teorías. Pero advertía que no se podía considerar a la ciencia como una mera prolongación del conocimiento ordinario⁵.

² Imre Lakatos, *La metodología de los programas de investigación científica* (Madrid: Alianza Universidad, 1983), 9.

³ John Bernal fue uno de los pioneros en la resolución de la estructura de la materia y en concreto de la biología estructural. Se enroló en la cristalografía de rayos X en los años 1920 en la Royal Institution, en 1927 como profesor titular en Cambridge abrió el campo para el estudio de proteínas. En su vertiente humanística, sus escritos sobre la historia y la filosofía de la ciencia y sus implicaciones sociales superan en volumen a sus obras de ciencia, y se le recordará por algunos de sus libros, como *The Social Function of Science* (1938) y *Science in History* (1954). Para saber más consultar: Harry Francis West Taylor, «Obituary J. D. Bernal 1901-1971», *Acta Cryst.* 28 (1972): 359-360.

⁴ John Bernal, *Historia social de la ciencia I, La ciencia en la historia* (Barcelona: Ediciones Península, 1968), 27.

⁵ Mario Bunge, *La investigación científica: su estrategia y su filosofía* (Barcelona: Siglo XXI editores, 2000), 19-20.

1.2. Características de la ciencia

Para entender ahondar más en la ciencia como estilo de pensamiento vamos a fijarnos en diversos fundamentos teóricos que caracterizan al pensamiento científico: el gradualismo, el naturalismo y el falibilismo.

El «gradualismo», sería una primera característica de la ciencia, mantiene que esta surge de un conocimiento previo no especializado, imperfecto, y admite perfeccionamientos sucesivos. Algunas de las concepciones sobre las que se construyen teorías parten de un conocimiento precientífico, más o menos acertado o intuitivo fuertemente marcado por prejuicios antropocéntricos, creencias o convicciones personales. Esto no invalida el proceso, y remarca el carácter gradual inherente al progreso científico.

En el siglo XVI, el *De revolutionibus orbium coelestium* de Nicolás Copérnico (1473-1543) presentó una discusión completa de un modelo heliocéntrico del universo proponiendo que el Sol era el centro del universo y que la Tierra giraba alrededor de este, de un modo opuesto a lo establecido por Ptolomeo en el s. II d. C., en su *Syntaxis Mathematica*⁶, su paradigma geocéntrico. La explicación inicial de una teoría puede parecer razonable y permitir entender cómo funciona el mundo, pero con la adquisición de nuevos datos se completa o, en el caso de la teoría geocéntrica, se desecha.

El desarrollo de la teoría celular es un ejemplo claro de cómo se puede encontrar en la historia de la biología ideas que en principio son «incorrectas», pero que pueden ser altamente productivas para los avances científicos, como puede ser el desarrollo de tecnologías de óptica y tinción en paralelo que van ayudando al avance en la comprensión microscópica de la estructura y función de los organismos.

Lakatos defendía que cualquier teoría científica debe ser evaluada en conjunción con sus hipótesis auxiliares, condiciones iniciales, etc., y especialmente en unión de sus predecesoras, de forma que se pueda apreciar la clase de cambio que la originó. Por tanto, lo que evaluamos es una serie de teorías, y no las teorías aisladas⁷. Las teorías son fruto de una búsqueda ideal de la objetividad (la construcción de explicaciones veraces e impersonales).

La segunda característica es el «naturalismo», que implica la negativa a aceptar entidades no naturales y fuentes o modos de conocimiento no naturales

⁶ Se conoce popularmente a este texto como *Almagesto* por la traducción que hicieron los árabes del tratado de Ptolomeo.

⁷ Lakatos, *La metodología de los programas de investigación científica*, 48.

(como, por ejemplo, la intuición metafísica). Debe existir una explicación natural que sea susceptible de ser analizada. Un ejemplo de naturalismo sería la crítica de Hipócrates a la causa divina de las enfermedades, la cual abordaremos en el capítulo 3. En ese mismo capítulo, también veremos las explicaciones de los filósofos naturales sobre el origen del cosmos, basadas en elementos naturales y alejadas de la religión y los mitos⁸.

La tercera característica es el «falibilismo», que reconoce que nuestro conocimiento del mundo es provisional e incierto, susceptible de un examen y cuestionamiento continuo⁹. Si se encuentra un hecho que contradice una explicación aceptada, es necesario plantear, en términos científicos o históricos, la validez de la teoría. Cuando se dice que alguien es falible, esto implica que su juicio o conocimiento no es perfecto y puede equivocarse. De la misma manera, cuando se dice que algo es falible, significa que no es perfecto y puede ser erróneo. En este sentido, resulta interesante la analogía que hacía John Bernal al afirmar que la ciencia: «...destruye mucho de lo construido. El edificio del saber científico no se detiene jamás en su crecimiento. Podríamos decir que efectúa reparaciones constantemente, pero que nunca deja de utilizarse»¹⁰.

El notable físico y filósofo de la ciencia Thomas Kuhn (1922-1996) planteó que las teorías científicas están encuadradas en lo que se denomina paradigmas de pensamiento, que son el marco conceptual que explica que un determinado conocimiento se plantee de una manera diferente¹¹. La acumulación de observaciones y datos permite la contrastación del marco de explicación general. La aparición de un hecho o un conjunto de hechos no acordes con la teoría imperante propicia el desarrollo de un nuevo marco teórico más preciso, que engloba el conocimiento previo y los nuevos fenómenos que la anterior teoría no explicaba.

Tradicionalmente se ha llamado «revoluciones científicas» a estos cambios de paradigma. Como ejemplos tenemos: el sistema geocéntrico frente al sistema heliocéntrico o la mecánica newtoniana frente a la mecánica relativista. En el campo de la biología tenemos las teorías de la evolución, celular, herencia y homeostasis que se convirtieron en los paradigmas centrales de la biología actual.

⁸ Bunge, *La investigación científica: su estrategia y su filosofía*, 21.

⁹ Bunge, *La investigación científica: su estrategia y su filosofía*, 21.

¹⁰ Bernal, *Historia social de la ciencia I*, 40.

¹¹ Thomas Kuhn, *La estructura de las revoluciones científicas* (Madrid: Fondo Cultural Económica, 1980).

Si ponemos como ejemplo el paso de la posición fijista a la evolucionista, veremos cómo este cambio de paradigma no solo afectó a cuestiones científicas sino también a cuestiones filosóficas: el darwinismo rompió con el concepto de escala en la naturaleza y la posición «superior» del hombre que llevaba imperando desde tiempos de Aristóteles (ver la escala natural, en el capítulo 3). Gracias al gradualismo y al falibilismo en los estudios biológicos se llegó a un enriquecimiento y diversificación del planteamiento fijista y antropocéntrico aristotélico. Se llegó con el pensamiento evolucionista a nuevas formas o términos de clasificar la vida: el árbol de la vida, árbol filogenético, árboles moleculares, complejidad o diversidad biológica, etc.

Es fundamental entender que cada época tiene su paradigma, por ejemplo en la época de Linneo, cuando desarrolla su esquema de clasificación, se tiene un paradigma y su marco conceptual global consistía en que los seres vivos fueron creados de una forma estable e inmutable. Este paradigma no cambia hasta la llegada de las ideas transformistas del caballero de Lamarck (1744-1829) y otros naturalistas como Félix de Azara (1742-1821), Erasmus Darwin (1731-1802), Charles Darwin (1809-1882) o Alfred Wallace (1823-1913).

Otro cambio de paradigma que transformó la biología moderna fue la molecularización. A lo largo de la historia, los seres vivos habían sido interpretados de diversas maneras, reflejando las creencias, conocimientos y perspectivas filosóficas, religiosas y culturales de cada época. Sin embargo, a partir del siglo XIX, con el creciente desarrollo de la microscopía se introduce el paradigma celular y, más tarde, con los avances de la química orgánica y el estudio de las sustancias químicas presentes en los organismos, el enfoque pasó a centrarse en las moléculas que conforman la estructura y regulan el funcionamiento de los seres vivos. Actualmente vivimos en el paradigma molecular, aunque esto no implica que en el futuro no surja un esquema explicativo diferente ni que modelos distintos no puedan coexistir.

Interesa recalcar la idea de que la ciencia es cambiante a lo largo del tiempo y que la ciencia, en cada momento, está estructurada en un paradigma, en un esquema de pensamiento. En el caso de la circulación sanguínea, el relato histórico nos recuerda que los investigadores de distintas épocas deben ser analizados en el contexto de su tiempo. Por otro lado, recordemos que la actividad científica es gradual y es difícil ponerse en el lugar de quienes no tenían las respuestas ni las adecuadas observaciones. Sin embargo, Galeno (129-c 201/216) fue un brillante investigador y pensador, no menos impulsado por la búsqueda de la verdad que William Harvey (1578-1657), pero sin tener la capacidad de experimentación y los conocimientos anatómicos del siglo XVII.

La filosofía de la ciencia se consolidó en los siglos XIX y XX, pero muchos científicos ya teorizaban acerca de las características de la actividad científica. Por ejemplo, Antonio de Ulloa (1716-1795), famoso por ser quien contribuyera a determinar la línea del ecuador, afirmaba en su libro *Noticias Americanas* lo siguiente:

Las causas primeras de cuanto se registra sobre la tierra, se explican bastante por las reglas comunes; pero luego que se encuentra nueva observación que desdiga, varían enteramente los principios; y de aquí se origina que el juicio más bien fundado se hace falible¹².

George Sarton (1884-1956), historiador de la ciencia, ofreció una definición de ciencia como conocimiento positivo y sistemático. Escribió que, si tenemos en cuenta que la adquisición y sistematización del conocimiento positivo es la única actividad humana verdaderamente acumulable y progresiva, se puede comprender la importancia de los estudios en historia de la ciencia para explicar el progreso de la humanidad¹³.

1.3. Establecimiento del método científico

Robert K. Merton¹⁴, uno de los sociólogos más influyentes del siglo XX y profesor de Columbia, afirmaba que la definición sociológico-filosófica de «ciencia» es amplia y que se refiere a una variedad de cosas distintas, aunque relacionadas entre sí. Comúnmente, se la usa para denotar un conjunto de métodos característicos mediante los cuales se certifica el conocimiento; un acervo de conocimiento acumulado que surge de la aplicación de estos métodos; un conjunto de valores y normas culturales que gobiernan las actividades científicas, y finalmente, cualquier combinación de los elementos anteriores.

Mario Bunge afirmaba que los científicos usan la noción de método científico con total convicción, casi como si fuera equivalente o sinónimo de la propia ciencia. Sin embargo, como ya hemos señalado, la noción de ciencia es mucho más compleja.

¹² Antonio de Ulloa, *Noticias americanas sobre la América Meridional y Septentrional Oriental* (Madrid: Imprenta de Don Francisco Manuel de Mena, 1772).

¹³ George Sarton, *Ensayos de historia de la ciencia* (México: Unión Tipográfica Editorial Hispano Americana, 1968), 1.

¹⁴ Robert King Merton (1910-2003) fue catedrático de la Universidad de Columbia desde 1974 hasta su jubilación. Columbia creó la Cátedra Robert K. Merton de Ciencias Sociales en 1990.

Conviene definir qué podemos entender como método o métodos: un método es un procedimiento para tratar un conjunto de problemas y cada clase de problemas requiere un conjunto de métodos o técnicas especiales. Por tanto, cada método de la ciencia es relevante para algún estadio particular de la investigación científica de los problemas planteados. En cambio, el método general de la ciencia es un procedimiento que se aplica al ciclo entero de la investigación en el marco de cada problema de conocimiento.

En ese método general se pueden distinguir esta serie ordenada de operaciones:

1. Enunciar preguntas de investigación bien formuladas y verosímiles.
2. Arbitrar conjeturas, fundadas y contrastables con la experiencia, para contestar a las preguntas.
3. Derivar consecuencias lógicas de las conjeturas.
4. Arbitrar técnicas para someter las conjeturas a contrastación.
5. Someter a su vez a contrastación esas técnicas para comprobar su relevancia y la confianza que merecen.
6. Llevar a cabo la contrastación e interpretar sus resultados.
7. Estimar la pretensión de verdad de las conjeturas y la fidelidad de las técnicas.
8. Determinar los dominios en los cuales valen las conjeturas y las técnicas, y formular los nuevos problemas originados por la investigación¹⁵.

Se trata de formular el problema con precisión y de forma específica. Proponer conjeturas bien definidas y fundadas de algún modo, y no suposiciones que no comprometan o plantear ocurrencias sin un fundamento razonable (gráfico 1). Someter las hipótesis a contestación dura, no laxa. No declarar verdadera una hipótesis satisfactoria confirmada; considerarla, en el mejor de los casos, como parcialmente verdadera. Plantearse por qué la respuesta es como es, y no de otra manera.

Las conjeturas (todavía no elevadas a la categoría de hipótesis) deben ser susceptibles de explicaciones naturales (no sobrenaturales). Llegados a este extremo ¿qué consideramos una hipótesis de trabajo? Una hipótesis sería una propuesta o conjetura plausible que se formula como una posible explicación de un fenómeno o conjunto de fenómenos, y que debe ser verificable¹⁶. Es

¹⁵ Bunge, *La investigación científica*, 26.

¹⁶ Antes de que puedan haber tomado cuerpo de hipótesis evaluaremos si la o las conjeturas pueden responder a nuestro problema e intentaremos acumular experiencias previas y observaciones en el estado del arte.

decir, debe poder ser probada mediante la experiencia: a través de la observación, el experimento o el análisis de datos, y también debe ser susceptible de ser refutada si los resultados son contrarios a lo que sugiere. Si no la niegan constituye un marco teórico para explicar el hecho o fenómeno científico estudiado, si la niegan desechamos la hipótesis.

El método científico es un rasgo característico de la ciencia, tanto de la pura como de la aplicada: donde no hay método científico no hay ciencia, Pero no es infalible ni autosuficiente. El método científico es falible; puede perfeccionarse mediante la estimación de los resultados a los que lleva y mediante el análisis directo. Tampoco es autosuficiente: no puede operar en un vacío de conocimiento, sino que requiere algún conocimiento previo que pueda luego reajustarse y elaborarse; y tiene que complementarse mediante métodos especiales adaptados a las peculiaridades de cada tema¹⁷.

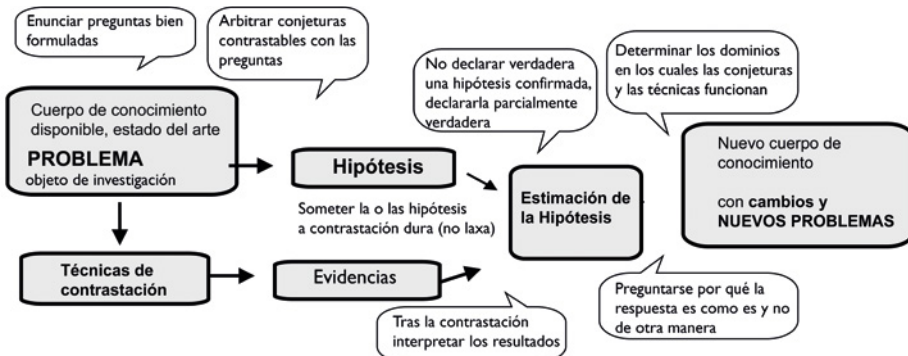
En el sentido lógico de la palabra son hipótesis todos los supuestos iniciales (axiomas) de una teoría, formal o factual¹⁸. Mario Bunge propuso un esquema (gráfico 1) en el que quedó reflejado que la importancia de una investigación científica se establece por los cambios que se producen el cuerpo de conocimientos y por los nuevos problemas que se desarrollan.

Han existido muchos filósofos, desde Francis Bacon a Descartes, que han pretendido conocer las reglas infalibles de la dirección de la investigación. Pero, hasta las reglas del método están muy lejos de ser infalibles y de no necesitar un perfeccionamiento posterior. Esta especie de receta de cómo hacer una investigación no puede sustituir a la inteligencia. Como advertía Mario Bunge:

La capacidad de formular preguntas sutiles y fecundas, la de construir teorías fuertes y profundas y la de arbitrar contrastaciones empíricas finas originales no son actividades orientadas por reglas. La metodología científica es capaz de dar indicaciones y suministra de hecho medios para evitar errores, pero no puede suplantar a la creación original, ni siquiera ahorrarnos todos los errores.

¹⁷ Bunge, *La investigación científica*, 29.

¹⁸ La etimología de hipótesis es «punto de partida». En palabras de Bunge: «un enunciado fáctico general susceptible de ser verificado, lo que suena más respetable que corazonada, sospecha, conjetura suposición o presunción». Mario Bunge, *La ciencia su método y su filosofía* (Buenos Aires: Siglo Veinte, 1968), 63.

Gráfico 1. Esquema de la investigación científica

Fuente: elaboración propia basado en la propuesta de Mario Bunge¹⁹.

Dentro de las reglas de la investigación opera el concepto de objetividad, un concepto que se va forjando en los orígenes de la ciencia moderna, siendo lo que legitima y da autoridad a una forma de conocimiento científico y técnico. Francis Bacon (1561-1626) fue pionero en promover la objetividad como un principio fundamental de la ciencia moderna, al proponer que el conocimiento debía ser inductivo, derivado de la observación sistemática y la experimentación, y no de teorías preconcebidas o dogmas.

En su libro *El mito de la objetividad* (1999) Bunge respondía a los ataques a la ciencia y la objetividad, defendiendo su concepción de que el conocimiento objetivo es posible a través de métodos científicos rigurosos y a partir de la verificación de las teorías mediante la experiencia.

Existe, además de la objetividad del método, la objetividad reguladora, pero esta la veremos en detalle con el ejemplo de Paul Ehrlich (1854-1915) en el capítulo 11. Esta produce sistemáticamente convenciones y protocolos de regulación de las actividades biomédicas.

1.4. Ciencia básica, aplicada y tecnología

Básicamente los discursos sobre el conocimiento científico distinguen tres tipos de ciencia: básica, aplicada y conocimiento tecnológico, que pueden parecer independientes entre sí, pero no lo son, ya que tienen zonas o espacios comunes

¹⁹ Bunge, *La investigación científica*, 26.

y no podrían existir sin la interacción entre sí. En función de la finalidad perseguida con la aplicación de estrategias de investigación racionales y objetivas se puede distinguir entre ciencia básica (aquella que persigue únicamente un fin cognitivo, cuya única finalidad es conocer más) y ciencia aplicada (aquella cuyos fines son, en última instancia, prácticos o utilitarios).

La ciencia básica es aquella área de estudio sobre la que se documentan otras ciencias. En relación con las ciencias naturales intenta explicar fenómenos y hechos. Frente a la certeza o resultados esperados de la ciencia aplicada, la ciencia básica se caracteriza por la incertidumbre de resultados. Incluso se puede llegar a distinguir entre la ciencia básica pura o fundamental (*knowledge-driven research*) generadora de conocimientos sin más y la ciencia básica orientada (*targeted-basic research*) como soporte de un cierto campo de investigación aplicada²⁰.

En cuanto a la falsa percepción de que la ciencia básica carece de interés económico, debemos ser capaces de contrarrestarla desde el ámbito de la educación y la difusión de la biología. Si bien es cierto que el resultado de la ciencia aplicada a corto o medio plazo pueden producir productos económicos tangibles, es imposible alcanzar esos objetivos sin la investigación básica. La industria depende de los fundamentos intelectuales proporcionados por la investigación básica, con la formación de personas con capacidades para la investigación que pueden ser la base para más adelante dedicarse a la investigación aplicada y el desarrollo hasta la puesta a punto de nuevos métodos y el desarrollo del instrumental necesarios para las actividades de I+D empresariales²¹.

Al margen de estas clasificaciones de las ciencias en base a su finalidad, tiene que haber una estrecha interrelación entre ellas y un equilibrio; por ejemplo, en un país como España hay mucha ciencia básica pero menos aplicada y a nivel tecnológico poco desarrollada si se compara con países industrializados como Alemania, Suiza o en la actualidad la arrolladora China.

Si se toma como ejemplo la botánica como una ciencia o disciplina básica, veremos que apareció por la necesidad de conocer las plantas con diversos fines, principalmente la alimentación, el uso de plantas medicinales para sanar, la búsqueda de materiales de construcción y cuestiones más prosaicas como la ornamentación. La botánica fue considerada una ciencia paralela a la medicina

²⁰ Agustín Zapata, *La generación del conocimiento: la función investigadora*, Comunicación personal (2024), 19.

²¹ Zapata, *La generación del conocimiento: la función investigadora*, 20.

y ahí tuvieron su origen los jardines botánicos asociados a algunas universidades con estudios en medicina tales como Padua, Bolonia o Montpellier. Del conocimiento sistemático de las plantas surge el conocimiento aplicado de las sustancias que sirven para la medicina, en este caso la ciencia aplicada es la farmacognosia, con el estudio de la aplicación del principio y la finalidad de encontrar la dosis adecuada. En los aspectos tecnológicos llegaremos a la producción industrial del medicamento y a su comercialización.

1.4.1. ¿Cómo distinguir entre ciencia aplicada y tecnología?

Ciencia aplicada y tecnología son conceptos relacionados, pero no idénticos; la tecnología según Mario Bunge, es el desarrollo de técnicas e instrumentos que requiere la implicación de la ciencia. Esto se ve claro si pensamos en la diferencia entre un científico y un ingeniero, el hecho de que los ingenieros o tecnólogos hayan derivado de los científicos y que estén ligados a ellos no significa que ambos ámbitos no puedan distinguirse. De hecho, los aspectos funcionales del científico y del ingeniero son radicalmente diferentes. Según John Bernal la primera ocupación del científico consiste en el modo de hacer las cosas y la del ingeniero en hacerlas²².

Se puede considerar a las técnicas precientíficas como una colección de recetas pragmáticas no entendidas, muchas de las cuales desempeñaban la función de ritos mágicos como el fuego o el empleo de remedios para curar. Estas técnicas primigenias pueden ser consideradas como procedimientos, habilidades o artefactos, desarrollados sin ayuda del conocimiento científico. Por ejemplo, la fabricación de hachas a partir de piedras, forja de metales, cerámica; es un desarrollo técnico pragmático, que se va trabajando poco a poco.

Como tecnología se puede entender aquellos sistemas desarrollados incorporando conocimientos científicos que producen técnicas científicas modernas. Requiere un conocimiento científico base, como estipuló Mario Bunge en 1959. La tecnología es más que ciencia aplicada ya que, en primer lugar, tiene sus propios procedimientos de investigación, adaptados a circunstancias concretas que distan de los casos puros que estudia la ciencia. En segundo lugar, porque toda rama de la tecnología contiene un cúmulo de reglas empíricas descubiertas antes que los principios científicos en los que, si dichas reglas se confirman, terminan por ser absorbidas.

²² Bernal, *Historia social de la ciencia I*, 39.

Merton hizo una distinción entre la ciencia básica y la ciencia aplicada, que se alinea con la idea de que la ciencia busca comprender los principios fundamentales, mientras que la tecnología se orienta a la creación de productos útiles o procesos prácticos para la industria. No diferiría mucho un laboratorio científico de uno industrial, salvo que en el industrial se produce tecnología, ingenios y métodos destinados al desarrollo industrial y empresarial, con productos que deben responder a estándares requeridos.

1.5. De la historia natural a la biología

Es habitual empezar a analizar una disciplina tratando de la etimología o de la primera vez que se utilizó ese nombre. Sin embargo, por razones de método, realizaremos nuestro análisis con una especie de averiguación sobre el objeto de estudio y la evolución de la biología.

La biología como disciplina científica tiene como objeto de estudio a los seres vivos, abarcando su estructura, funcionamiento, evolución, distribución y relaciones. Sin embargo, el estudio de la vida no siempre se denominó de esta manera. Hasta el siglo xx, el análisis de los seres vivos se enmarcaba en una disciplina científica y académica conocida como historia natural, cuyo propósito era describir los procesos y leyes del universo, así como los efectos de dichos procesos sobre los materiales constituyentes independientes de la acción humana. Disciplinas como la botánica, la zoología y la geología formaban parte de la historia natural, que más tarde fue integrada en los planes de estudio bajo la denominación de Ciencias Naturales. Este era el caso de los antiguos licenciados en la Universidad Central de Madrid –hoy Universidad Complutense de Madrid–, quienes obtenían el título de licenciados en Ciencias, dentro de la sección de Ciencias Naturales.

No es hasta el plan de 1978 que aparece en nuestra universidad el título de licenciado en Ciencias Biológicas. De hecho, se empieza a hablar de biólogo como profesión en 1980, al ser reconocida y regulada por el Estado mediante la creación del Colegio Oficial de Biólogos (Ley 75/1980 BOE, 10/01/1981).

Como dato curioso, cabe mencionar que la palabra «biología», que alude a los procesos generales de la vida, ganó reconocimiento gracias al fisiólogo alemán Gottfried Reinhold Treviranus en su obra *Biologie oder Philosophie der lebenden Natur* (Biología o la filosofía de la naturaleza viva) de 1802, y también al caballero de Lamarck en su *Hydrogéologie*, publicada ese mismo año. Sin embargo, el primer uso documentado del término «biología» sigue

siendo motivo de debate. Algunos lo atribuyen al médico y fisiólogo Karl Friedrich Burdach²³ en 1800, mientras que otros señalan a Michael Christoph Hanow, quien lo utilizó en 1766. Más allá de la disputa sobre su autoría, lo relevante es que el término simboliza un cambio de paradigma: el inicio de un análisis más preciso y metódico de la sustancia viva y de las leyes generales que rigen su funcionamiento. Este enfoque marcaría el descubrimiento de la unidad fundamental que subyace en el mundo vivo.

1.5.1. La biología: ciencia factual

Dentro de las ciencias podemos establecer el concepto de científicidad como una clasificación en función de los objetos de estudio, distinguiendo entre ciencias formales y factuales. Las ciencias formales se mueven en el campo de las ideas abstractas como las Matemáticas o la Lógica. Las ciencias factuales, en cambio, se caracterizan por estudios que tienen dificultad en establecer leyes, con un menor grado de matematización en sus sistemas de clasificación, y la imposibilidad de falsar muchas de sus hipótesis²⁴. La biología estaría dentro de un nivel intermedio y cada una de sus subdisciplinas tienen diferentes grados. La diferencia entre ciencia formal y factual la explica Mario Bunge de la siguiente forma:

Las ciencias formales demuestran o prueban; las ciencias fácticas verifican (confirman o desconfirman) hipótesis que en su mayoría son provisionales. La demostración es completa y final; la verificación es incompleta y por ello temporaria. La naturaleza misma del método científico impide la confirmación final de las hipótesis fácticas²⁵.

A mayor grado de científico como las ciencias formales, el experimento es más repetible y esperables son los resultados. En el caso de las ciencias fac-

²³ Karl Friedrich Burdach (1776-1847), profesor de la Universidad de Leipzig, en 1811 profesor de fisiología y anatomía en la Universidad Dorpat, en 1814 profesor en la Universidad Königsberg. Su obra magna fue *Die Physiologie als Erfahrungswissenschaft* (La fisiología como ciencia de la experiencia). Abarca todo el conocimiento fisiológico de su época. Se centró especialmente en los procesos biológicos embrionarios y del desarrollo.

²⁴ La investigación es más eficiente cuando las hipótesis se basan en la totalidad de los conocimientos conocidos hasta la fecha. Los artículos de revisión sistemática se utilizan habitualmente para resumir los conocimientos existentes y contextualizar, por ejemplo, los datos experimentales.

²⁵ Bunge, *La ciencia, su método y su filosofía*, 16.

tuales los resultados no son tan predecibles debido a que puede haber muchas variables en juego.

John Bernal en su obra *Historia Social de la Ciencia* hablaba del rol de la biología en estos términos:

Por su naturaleza misma la biología no puede ser tan sencilla como la física o la química, puesto que las incluye en su propio objeto. Tampoco puede expresarse en un lenguaje tan preciso como el de la matemática porque su multiplicidad es demasiado extensa para ser susceptible de enumeración²⁶.

La biología, en su dimensión social, es clave para abordar problemas humanos, proporcionando una base objetiva para reflexiones morales y filosóficas, como señalaron Mario Bunge y John Bernal. Esta disciplina sitúa al ser humano dentro del grupo de los seres vivos, desafiando su percepción de superioridad y mostrando su conexión con el universo. Además, ofrece una visión integral del ser humano, abordando temas como diversidad, desigualdad, personalidad e impacto de la civilización.

1.5.2. ¿Qué es la biotecnología?

En 1981, la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) ofreció la siguiente definición para biotecnología: «la aplicación de principios científicos y de ingeniería al procesamiento de materiales por agentes biológicos para proporcionar bienes y servicios»²⁷. El biólogo sueco Carl-Goran Hedén, posiblemente influido por los precedentes alemanes, se inclinó por el término «Biotechnologie» denominando a su nueva revista con el nombre de *Biotechnology and Biochemical Engineering*²⁸.

La biotecnología comprende tanto aplicaciones innovadoras de la biología como tecnologías útiles, mostrando soluciones de base biológica a problemas importantes y hace hincapié en cómo diseñar o adaptar sistemas

²⁶ John Bernal, *Historia social de la ciencia II, La ciencia en nuestro tiempo* (Barcelona: Ediciones Península, 1976), 233.

²⁷ Robert Bud, «History of Biotechnology», en *The Cambridge history of science, volume 6. The Modern Biological and Earth Sciences*, ed. por Peter J. Bowler y Fohn V. Pickstone (Cambridge: Cambridge University Press, 2009), 524-538.

²⁸ Bud, «History of Biotechnology», 534.

vivos para beneficio de la sociedad. Entre las áreas de aplicación específicas se incluyen la salud y el bienestar humanos, las energías renovables, la alimentación y la agricultura, los recursos naturales y la producción de productos químicos.

Para poder tratar de biotecnología la investigación debe trascender la escala de laboratorio, y tratar la aplicación, la ampliación y las implicaciones a escala económica y social. Por ejemplo, trasladar o comercializar la biología experimental aplicada a productos, plataformas industriales, terapias o dispositivos. Por ejemplo, instrumentos que han sido comercializados y están presentes en hospitales y en distintos laboratorios de biomedicina son los contadores de células y los secuenciadores de genes que hacen posible el procesamiento masivo de enormes cantidades de muestras.

Otro ejemplo lo tenemos en las fermentaciones microbianas, cuya función en la economía doméstica es muy antigua, empezaron como una técnica precientífica, y en la actualidad representan una proporción importante de los procesos biotecnológicos con la utilización de bacterias, levaduras, mohos, algas y células animales y vegetales en cultivo, cuyo metabolismo y capacidad de biosíntesis se orienta a la producción de sustancias de interés económico. En este caso podemos referirnos a tecnología ya que se realiza el perfeccionamiento, la intensificación y la automatización de técnicas implementadas con el conocimiento científico.

Una potente bioindustria empezó, en los inicios de los años 80 del siglo xx con un prometedor futuro en la producción de materias plásticas y fibras para la industria textil; producción de metanol, biogás e hidrógeno; extracción de ciertos elementos metálicos, sustancias aromáticas y condimentos²⁹.

Las revistas científicas más importantes en biotecnología son aquellas que publican investigaciones de vanguardia en campos como el bioprocesamiento, las ómicas, nuevos materiales, terapéutica y agroambiente (tabla 1). Organizaciones profesionales como el Colegio de Biólogos suele enfatizar la importancia de la ética y la seguridad en la aplicación de las biotecnologías, garantizando que los avances sean sostenibles y beneficiosos para la sociedad. También participan activamente en la regulación y normativas relacionadas con la biotecnología, contribuyendo a que se cumplan los estándares científicos y éticos necesarios.

²⁹ Albert Sasson, *Las biotecnologías: desafíos y promesas* (París: UNESCO, 1984).

Tabla 1. Los principales temas que son tendencia en las revistas de biotecnología

Área biotecnológica	Temas desarrollados
Biología sintética	Piezas intercambiables de la biología natural para ensamblarlas en sistemas que actúen de forma no natural.
Terapéutica	Terapias génicas (tratamiento de enfermedades raras), inmunoterapia (anticuerpos monoclonales, CART-T, inhibidores de puntos de control inmunológicos), terapias de células madre, CRISPR y edición genética, trasplante de microbiota.
Ingeniería de tejidos y biofabricación	Estructuras celulares complejas que imitan órganos y tejidos humanos. Posibilidad de trasplantes personalizados, la cura de lesiones y la reparación de órganos dañados. Mejora del tratamiento de enfermedades crónicas y discapacidades mediante la regeneración de órganos y tejidos dañados.
Ingeniería metabólica	Procesos más rentables con menos derroche de materiales y energía.
Ingeniería microbiana y celular	Microorganismos y células modificados para mejorar sus funciones naturales o conferirles nuevas capacidades con aplicaciones en salud, industria, energía y medio ambiente.
Ingeniería agrícola	Restauración de la calidad del suelo, agua o aire mediante la degradación, transformación o eliminación de contaminantes utilizando organismos vivos o enzimas derivadas de estos.
Biomateriales	Prótesis, implantes, dispositivos médicos. Reducción de costes en salud con materiales más sostenibles.
Biosensores y bionanotecnología	Aplicaciones de ámbito molecular. A través de nanopartículas y nanosensores, detectar enfermedades en etapas tempranas y administrar tratamientos más efectivos con menos efectos secundarios.
Bioenergía: biofuels	Reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero. Fuente renovable de energía y diversificación de fuentes de energía.
Agricultura celular	Alimentos y otros productos agrícolas generados a partir de cultivos celulares, en lugar de utilizar organismos completos como plantas o animales.

Fuente: esta y todas las tablas son de elaboración propia realizadas para la asignatura de Historia, Enseñanza y Difusión de la Biología.

En cuanto a las implicaciones ético-jurídicas de las patentes biotecnológicas debemos indicar que las patentes biotecnológicas son de gran trascendencia, tanto por sus efectos económicos, su impacto en la investigación y social. La posibilidad de patentar las invenciones biotecnológicas han sido objeto de gran debate³⁰.

³⁰ María Casado, «Implicaciones ético-jurídicas de las patentes biotecnológicas», en *Gen-Ética*, ed. por Federico Mayor Zaragoza y Carlos Alonso Bedate (Barcelona: Editorial Ariel, 2003), 123.

Una patente es un título que reconoce el derecho exclusivo de explotación de una invención, impidiendo que terceros fabriquen, vendan o utilicen la invención sin el consentimiento del titular. No se consideran patentables las hipótesis, los descubrimientos y las teorías científicas, los métodos y pautas para el tratamiento médico, veterinario o fitosanitario, las variedades animales y vegetales, ni el cuerpo humano o cualquiera de sus partes.

Sí son patentables aquellas invenciones que van más allá del «estado de la técnica», resultan de una actividad inventiva y son susceptibles de aplicación industrial. Por ejemplo, un microorganismo que, tras ser aislado, haya sufrido una mejora genética destinada a optimizar su uso industrial. Además de microorganismos, también existen patentes sobre plantas y semillas modificadas genéticamente. A finales de la década de 1980, la patentabilidad se amplió a los animales transgénicos, siendo un ejemplo destacado el onco-ratón desarrollado por la Universidad de Harvard³¹.

Otro ejemplo relevante es la patente que protege un método para llevar a cabo la replicación, amplificación o secuenciación de un ácido desoxirribonucleico mediante una ADN polimerasa del tipo $\phi 29$, así como un kit diseñado para aplicar dicho método. Esta patente pertenece al Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), y entre sus inventores figuran Margarita Salas, Luis Blanco y Antonio Bernad³².

También se consideran invenciones objeto de patente los productos nuevos de índole material, o compuestos químicos, farmacéuticos, procedimientos de fabricación novedosos, aparatos, herramientas o dispositivos nuevos.

1.6. La ética de los científicos

Merton habló del concepto de *ethos* (comportamiento ético) del científico, unas directrices o principios que debería seguir un profesional dedicado a la ciencia para fomentar el progreso de la humanidad. Este conjunto de normas, para Merton, está definido por cuatro principios: universalismo, comunalismo, desinterés y escepticismo organizado.

³¹ El *OncoMouse*, ratón modificado genéticamente susceptible de desarrollar tumores, fue desarrollado en los años 80 por investigadores de Harvard y fue el primer animal genéticamente modificado patentado en la historia (patente de 1988).

³² Este avance representó un hito científico y económico, ya que la patente generó más ingresos para el CSIC que cualquier otra en su historia.

1.6.1. Universalismo

El universalismo explica que los principios científicos deben ser sometidos a criterios impersonales preestablecidos. No deben estar asociados a atributos personales o sociales de sus autores sesgados por motivo de raza, nacionalidad, religión, clase, cualidades personales o sociales. La objetividad excluye el particularismo³³.

Por ejemplo, Alemania había sido líder internacional en bioquímica hasta la década de 1930, muchos de estos científicos eran de origen judío. Con el ascenso del nazismo y las leyes que apartaban de la investigación y de la docencia a los científicos con origen judío la bioquímica se vio muy afectada. La acogida de los científicos que tuvieron que huir de Alemania varía en función de su campo de investigación y de la competencia en los países de acogida. Así, los bioquímicos y fisicoquímicos fueron aceptados en las universidades estadounidenses y británicas.

También fue un ataque al universalismo el caso de la segregación racial en Estados Unidos, en las universidades o la cuestión del *apartheid* en Sudáfrica. Una consecuencia que el universalismo tiene es la apertura al conjunto de la sociedad de la carrera científica, en ese sentido Merton planteaba la necesidad de un sistema político capaz de poner en práctica los valores democráticos y mantener el imperativo del universalismo.

El universalismo halla expresión adicional en la exigencia de que se abran las carreras a los talentos. El fin institucional brinda la justificación, restringir las carreras científicas por otras razones que la falta de competencia es obstaculizar la promoción del conocimiento. El libre acceso a las actividades científicas es un imperativo funcional. La conveniencia y la moralidad coinciden³⁴.

Dentro del universalismo de Merton no estaba contemplado, todavía, el caso de la cuestión de la exclusión de las mujeres de la vida científica. En este caso no estaríamos tratando de la exclusión de una minoría sino de la exclusión del 50% de la humanidad. A lo largo del texto podremos analizar algunos casos de injusticia e invisibilización. Planteamos aquí el conocido efecto Matilda, entendido como un prejuicio en contra de reconocer los logros de las mujeres

³³ Robert K. Merton, *La sociología de la ciencia 2. Investigaciones teóricas y empíricas* (Madrid: Alianza Editorial, 1977), 359.

³⁴ Merton, *La sociología de la ciencia 2*, 361.

científicas, cuyo trabajo a menudo se atribuye o a colegas masculinos. Este fenómeno fue descrito por primera vez por la sufragista y abolicionista estadounidense Matilda Joslyn Gage (1826-1898) en su ensayo *La mujer como inventora*. Sin embargo, el término «efecto Matilda» fue acuñado en 1993 por la historiadora de la ciencia Margaret W. Rossiter en el artículo *The Matthew Matilda effect in science*³⁵.

Rossiter puso de ejemplo el caso de Frieda Robscheit-Robbins, asociada durante treinta años al patólogo George Hoyt Whipple y coautora de casi todas sus publicaciones. Cuando este ganó el Premio Nobel de Medicina en 1934 no fue premiada por el comité que otorga los galardones, sin embargo, dos hombres de otras instituciones sí lo hicieron. Whipple, consciente de su deuda con ella, la elogió generosamente e incluso compartió el premio y el dinero con ella y otras dos asistentes. Otro caso más conocido de denegación de crédito fue el de la cristalógrafa Rosalind Franklin, que trataremos con amplitud en el tema de bioquímica y biología molecular.

Antes de continuar con los siguientes principios que postuló Merton, mencionaremos el llamado «efecto Mateo», acuñado por Merton en 1968, con relación a la cita de la Biblia de san Mateo 13:12: «Porque al que tiene, se le dará, y tendrá en abundancia; pero a quien no tenga, se le quitará hasta lo que tiene». Merton hacía referencia al reconocimiento excesivo de los ya prominentes o prominentemente colocados. Como comentó Rossiter, el efecto Mateo es una especie de «efecto halo» que experimentan los científicos conocidos que se atribuyen trabajos que no han hecho (o que no han hecho totalmente solos), con el reconocimiento excesivo de los que están en la cima de la profesión científica. Pero para Rossiter la segunda parte de la parábola de que a quien no tenga, se le quitará hasta lo que tiene puede ser aplicada de forma amplia entre los marginados de la historia de la ciencia, incluidas especialmente las mujeres investigadoras³⁶.

1.6.2. El comunalismo científico

Según Merton los derechos de propiedad en la ciencia deberían ser reducidos a su mínima expresión. La valoración del científico queda restringida al

³⁵ Margaret W. Rossiter, «The Matthew Matilda Effect in Science», *Social Studies of Science* 23 n.º 2 (May, 1993): 325-341.

³⁶ Rossiter, «The Matthew Matilda Effect in Science», 326.

reconocimiento y a la estima con la eponimia que es el máximo reconocimiento posible en el campo de la ciencia, como, por ejemplo: a ciertos científicos se les ha dedicado nombres de especies o descubrimientos como la corriente de Humboldt, la línea de Wallace o las células de Purkinje³⁷. La cita de predecesores no es solo un mecanismo para contrastar y cimentar los propios planteamientos, también una forma de satisfacer este imperativo ético. Por ejemplo, la famosa frase atribuida a Bernardo de Chartres (c. 1070-1126) y utilizada por Isaac Newton en 1675: «Si he visto más lejos, es poniéndome sobre los hombros de Gigantes», que hace referencia al reconocimiento al trabajo realizado por otros anteriormente. En el caso de Charles Darwin, este mencionó en sus escritos a Aristóteles o a Félix de Azara, no como homenaje sino como apoyo a su argumentación, como parte del estado de la cuestión.

No obstante, hay conflictos referentes a este principio, por ejemplo, en lo que atañe a la aplicación tecnológica, ya que está basada en la propiedad privada, y al establecimiento de patentes, lo que supone una tensión con el comunalismo. Se hace necesario un equilibrio entre este principio y la obtención de beneficios, como en el caso de los fármacos y las aplicaciones genéticas. Según los organismos internacionales, los Estados y las comunidades científicas deben velar porque el equilibrio entre lo restringido de esas premisas de aplicación y el bien común. Sobre este aspecto ampliaremos más cuando tratemos de bioética.

Por ejemplo, un caso ideal de comunalismo de la propiedad sobre una invención es la actitud del físico alemán Wilhelm Conrad Röntgen (1845-1923), que no patentó los rayos X. Por su descubrimiento recibió el primer Premio Nobel de Física en 1901 en reconocimiento de los extraordinarios servicios que había brindado a la humanidad con el descubrimiento de los notables rayos (figura 1). Röntgen donó la recompensa monetaria a su Universidad en un doble gesto de generosidad. Hoy con el nombre de Röntgen se conoce a las radiografías en los países germanoparlantes y a la unidad de medida para la exposición de rayos X y rayos gamma, además de denominar con su nombre a un cráter en la Luna y a un meteorito.

Otro caso es el de la bioquímica Margarita Salas (1938-2019), una de las científicas españolas más destacadas del siglo xx. Fue investigadora del Centro Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) en el Centro de Biología Molecular Severo Ochoa, en Madrid, fue galardonada en 2019 en Viena con el

³⁷ En honor de Jan Evangelist Purkinje (1787-1869).

premio Inventor Europeo concedido por la Oficina Europea de Patentes y Marcas. El descubrimiento de la ADN polimerasa del virus bacteriófago $\phi 29$, con grandes aplicaciones en biotecnología: permitió amplificar el ADN de manera sencilla, rápida y fiable³⁸. Esta tecnología se utiliza en muchas áreas como la medicina forense, la oncología y arqueología, y ha sido, además, la patente más rentable del CSIC.

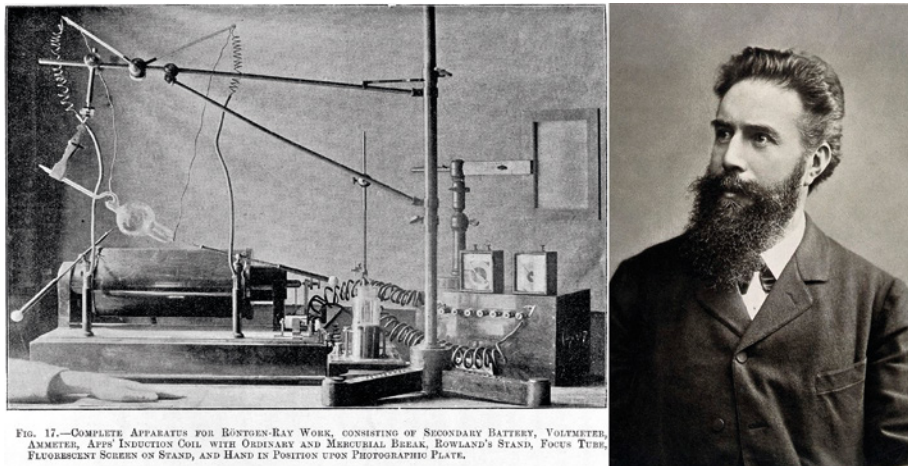


Figura 1. A la izquierda, aparato para trabajar con rayos X. A la derecha, el retrato de W. C. Röntgen. Fuente: Wellcome Collection.

1.6.3. El desinterés

El desinterés de los científicos es otro de los principios éticos postulados por Merton, este principio está muy relacionado con el del comunalismo, y es que el científico no debe tener un interés económico directo en su investigación. La ciencia, como en el caso de toda profesión en general, incluye el desinterés como elemento institucional básico. El desinterés no debe ser identificado con el altruismo, ni la acción interesada con el egoísmo, pero sí con la integridad, y relacionado con el nivel motivacional. Se ha atribuido al científico la pasión del conocimiento, una ociosa curiosidad o la preocupación altruista por el bienestar de la humanidad.

³⁸ Margarita Salas, «A passion for research», *Cell. Mol. Life Sci.* 66 (2009): 3827-3830.

1.6.4. El escepticismo organizado

El «escepticismo organizado», es un examen crítico e independiente de toda conclusión y está relacionado con la objetividad de la ciencia. Se plasma en los comités de evaluación, pero también en una actitud personal. El escepticismo organizado está relacionado, de varias maneras, con los otros elementos del *ethos* científico. Es un mandato metodológico e institucional.

Ese escepticismo organizado colectivo tiene varios niveles, en primer lugar, la evaluación por terceras personas (por los «pares») de forma anónima, expertos que no conozcan al autor y que evalúen el trabajo. Luego cada uno de los lectores debe llegar a sus propias conclusiones concretas, de forma que cada uno establezca su propio criterio sobre una investigación. Este principio genera debate, pero es una actitud necesaria para el crecimiento de la ciencia.

De modo que nada en ciencia es sagrado y nada debe ser aceptado como dogma o como dado por una autoridad que defienda algo, ya sea importante o creador de influencia. Todo tiene que ser susceptible de ser razonado y analizado por instituciones, revistas, y por la comunidad científica. De nuevo es una indicación de carácter general y no una realidad perfecta.

Este conjunto de valores propuestos por Merton limita mucho el prestigio individual, obligan a los científicos a ser humildes, colaborativos, desinteresados, críticos con su trabajo y el de los demás, honestos y a favor del beneficio común. Merton pensaba que la institución de la ciencia incluye valores potencialmente incompatibles. Por un lado, incorpora la originalidad y conduce a que los científicos quieran que se reconozca su prioridad de los descubrimientos. Y, por otro, que el científico sea consciente de la limitación de sus aportaciones. La ciencia es tan compleja que tiene esas características contradictorias, al igual que la naturaleza humana.

1.7. La bioética

La bioética ha centrado tradicionalmente su actividad en la regulación de la relación médico-paciente, especialmente a partir de la Declaración de la Asociación Médica Mundial (WMA) de Helsinki de 1964, un documento clave para la autorregulación de la profesión médica. Esta declaración estableció principios éticos para proteger a los participantes en la investigación, asegurando su seguridad, privacidad y consentimiento voluntario. Inicialmente enfocada en la protección del ser humano en ensayos clínicos, la bioética comenzó a abordar

en los años 1960 otras cuestiones, como las limitaciones ambientales del planeta y los avances tecnológicos en biomedicina. Esto dio paso a reflexiones sobre los estadios de la vida, el respeto a la vida no humana y la salud individual, además de proponer políticas institucionales orientadas a la equidad.

La bioética emergente se vio superada por los avances tecnológicos en biomedicina, lo que generó reflexiones sobre los diferentes estadios de la vida y sus implicaciones éticas. Además, surgieron debates sobre el respeto a la vida no humana y el cuidado de la salud individual, llevando a la propuesta de políticas institucionales para promover la equidad en la implementación de estas actividades.

El Convenio del Consejo de Europa para la protección de los derechos humanos y la dignidad del ser humano en relación con las aplicaciones de la biología y la medicina, suscrito en Oviedo en 1997, fue un tratado impulsado por el Consejo de Europa con el objetivo de prevenir el abuso del desarrollo biotecnológico. Para profundizar en algunos de sus elementos, se aprobaron cuatro protocolos adicionales: el protocolo sobre la prohibición de la clonación de seres humanos (1998), el protocolo sobre el trasplante de órganos y tejidos de origen humano (2002), el protocolo sobre la investigación biomédica (2005) y el protocolo sobre los análisis genéticos con fines médicos (2008). España ratificó el protocolo sobre la clonación humana en 2000 y el protocolo sobre el trasplante de órganos en 2014. No obstante, los otros dos protocolos no han sido firmados ni ratificados por España, aunque ambos temas están regulados en la Ley de Investigación Biomédica de 2007.

Los rápidos avances de la biología y la medicina hacen necesario este tipo de convenios que tienen como premisa respetar al ser humano, a la vez como persona y como perteneciente a la especie humana, ante las acciones de práctica inadecuada de la biomedicina; y conscientes de la necesidad de que los progresos en la biología y la medicina deben ser aprovechados en favor de las generaciones presentes y futuras, estableciendo la cooperación internacional³⁹. Como vemos hay muchos elementos comunes entre estas políticas y los principios éticos que postulaba Merton para los científicos.

Resumiendo, la bioética abarca diversos ámbitos de aplicación, como los análisis genéticos predictivos, la medicina preventiva y regenerativa, los ensayos clínicos, el uso de materiales biológicos humanos en investigaciones y los temas relacionados con la reproducción humana. Además, sus campos de reflexión incluyen cuestiones como los hallazgos accidentales en investigación clínica, la

³⁹ Carlos Alonso Bedate, «Investigación y Bioética en el contexto de la biomedicina», *Revista de la Sociedad Internacional de Bioética. SIBI*. 10, 2003: 7-26.

discriminación genética, la alteración de la línea germinal, los organismos modificados genéticamente, la investigación con células madre, la determinación y diferenciación celular para tratar patologías, la donación de órganos y el acceso equitativo a los servicios de salud, abordando tanto el cuidado de la salud como el de la muerte. En opinión del experto en bioética Carlos Alonso Bedate, uno de los temas más debatidos en la actualidad y cuya repercusión en biomedicina probablemente tendrá más impacto poblacional que el de la terapia genética será la posibilidad de identificar, determinar y diferenciar mediante señalizaciones las células troncales provenientes de tejidos o de células embrionarias⁴⁰.

Por otro lado, la bioética se ocupa también de la protección de la calidad de la investigación, no solo en seres humanos, sino también en el ámbito de la vida animal no humana. En este sentido, existen tanto leyes como normativas específicas en centros de investigación y universidades. Un ejemplo de ello es la normativa de la Universidad Complutense, que en el artículo 180.1 de sus Estatutos establece que el rector «creará un Comité de Experimentación Animal». Esta disposición rectoral parece estar inspirada en el real decreto 223/1988, de 14 de marzo (BOE, 18/03/1988), sobre la protección de los animales utilizados en experimentación y otros fines científicos. Este real decreto, a su vez, tiene como objetivo adaptar la legislación española a la Directiva 86/609 del Consejo de la Comunidad Económica Europea, que establece las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas para la protección de los animales utilizados en experimentación en los Estados miembros.

El real decreto prohíbe el uso de especies en peligro de extinción, como gorilas, chimpancés y orangutanes, para investigación o docencia. También establece que no se puedan utilizar animales capturados en la naturaleza, salvo con autorización expresa, que solo se concede si se justifica científicamente el procedimiento. En caso de captura, esta debe realizarse por personal competente y con métodos que no causen sufrimiento o daño al animal. Esta normativa marca un cambio respecto a las prácticas anteriores de captura de animales para colecciones de historia natural.

1.7.1. Principios bioéticos

Aunque se pueda situar el nacimiento de la bioética en la década de los 1960, algunos hacen coincidir en el tiempo el nacimiento de la bioética con los abu-

⁴⁰ Bedate, «Investigación y Bioética en el contexto de la biomedicina»: 24.

tos en la investigación científica con sujetos humanos en la segunda mitad de siglo XX.

Los principios fundamentales de la bioética, que son ampliamente reconocidos en la ética médica y en la investigación biomédica, se atribuyen principalmente a los filósofos Tom Beauchamp y James Childress. Ellos desarrollaron el modelo de los cuatro principios de la bioética, que se presentan en su obra *Principles of Biomedical Ethics* de 1979: autonomía, no maleficencia, beneficencia y justicia.

El principio de autonomía respeta la capacidad de los individuos para tomar decisiones informadas, libres y voluntarias sobre su propia vida y cuerpo. En el contexto de la investigación biológica se debe garantizar que los participantes reciban toda la información sobre los objetivos, riesgos, beneficios y posibilidades que se abran tras el estudio. Hay algunas cuestiones complejas como son la competencia para entender y decidir⁴¹. Este principio es crucial a la hora de abordar el régimen de obtención, conservación, uso y cesión de muestras biológicas ya que se requiere del consentimiento del sujeto fuente de la muestra y a la información previa que a este respecto debe serle suministrada.

El principio de no maleficencia afirma la obligación de no causar daño a los demás. En ética médica se ha asociado estrechamente con la máxima *primum non nocere*: «Ante todo [o primero] no hacer daño», atribuida a la escuela hipocrática, se aplica en el campo de la medicina, fisioterapia, enfermería y otras ciencias de la salud⁴².

Beneficencia se refiere a una acción realizada en beneficio de otros; benevolencia alude al rasgo de carácter o virtud de estar dispuesto a actuar en beneficio de otros; y el principio de beneficencia postulado por Beauchamp y Childress atiende a una obligación moral de actuar en beneficio de otros. Muchos actos de beneficencia no son obligatorios, pero el postulado «principio de beneficencia» establece la obligación de ayudar a otros a promover sus intereses legítimos⁴³.

En cuanto a la justicia, por un lado, está el debate sobre el acceso universal a la sanidad y la distribución de los servicios sanitarios. Y en cuanto a la ética de la investigación, la justicia aborda cuestiones como la selección justa de

⁴¹ Tom L. Beauchamp y James F. Childress, *Principles of Biomedical Ethics* (Oxford University Press, 2001), 57.

⁴² Beauchamp y Childress, *Principles of Biomedical Ethics*, 113.

⁴³ Beauchamp y Childress, *Principles of Biomedical Ethics*, 166.

participantes en ensayos clínicos, evitar la explotación de poblaciones vulnerables y garantizar que los beneficios de la investigación se distribuyan equitativamente.

1.7.2. Algunos problemas bioéticos a lo largo de la historia

Como veremos antes de la existencia de estos principios se dieron situaciones en los que algunos de ellos no se cumplieron, de ahí la necesidad de su implementación.

Uno de los primeros conflictos éticos en la historia de la biomedicina se produjo en 1796, cuando Edward Jenner inmunizó al niño James Phipps contra la viruela humana (figura 2). Basándose en las informaciones de que las personas en contacto con vacas infectadas no contraían la viruela humana, consideró infectar con pus de una pústula de vaca con viruela a una persona sana, y luego, esperar que el niño no enfermara de viruela al inocularle pus de una persona enferma de viruela. Al observar que no enfermaba se comprobó su hipótesis y la efectividad de la vacuna, debido a una reactividad cruzada entre la viruela de vacas y humanos.



Figura 2. A la izquierda, pintura de Edward Jenner vacunando a un niño, obra de E. E. Hillemecher, 1884. A la derecha, una ubre de vaca con pústulas de viruela y brazos humanos con distintas reacciones a la vacuna. Grabado coloreado de J. Pass, 1811. Fuente: Wellcome Collection.

El problema ético que podríamos plantear con la vacuna de Jenner era que, de forma consciente, se inculcaba a un ser humano un agente infeccioso procedente de un animal y que a un niño sano se le administraba un agente infec-

cioso humano. En este caso se percibía que el médico actuaba deseando lo mejor para el paciente, cumpliéndose así el principio de beneficencia.

Los experimentos realizados en el siglo xx con claros abusos en seres humanos fueron infinitamente más graves que este caso paradigmático, violando derechos humanos sin ningún beneficio para el paciente, incluso llevando a los sujetos de estudio a la tortura y la muerte. En la primera mitad del siglo xx, los objetivos eugenésicos se fusionaron con interpretaciones erróneas de la nueva ciencia de la genética para contribuir a producir resultados sociales cruelmente opresivos y, en la época de auge del nazismo, llevadas a su máxima expresión de crueldad y genocidio.

Uno de los casos más terroríficos fue el de la eutanasia⁴⁴ de niños de la clínica *Am Spiegelgrund* en Viena. Esta clínica se fundó en julio de 1940 como una extensión del hospital psiquiátrico Steinhof de Viena, después de que unos 3200 pacientes fueran enviados a unas instalaciones para ser exterminados en Hartheim. El nuevo centro se convirtió en un punto de recogida de niños que no se ajustaban a los criterios del régimen de «valía hereditaria» y de «pureza racial». De 1940 a 1945, casi 800 niños perecieron en la institución; algunos murieron por inyección letal y envenenamiento por gas; otros por enfermedad, hambre, exposición a los elementos y accidentes relacionados con sus condiciones. Los cerebros de centenares de víctimas se conservaron en frascos y se alojaron en el hospital durante décadas.

Recientes publicaciones sobre el médico austriaco Hans Asperger, conocido por ser pionero y dar nombre al síndrome que lleva su nombre, ponen de relieve su participación en el programa nacionalsocialista de eutanasia infantil, remitiendo pacientes al hogar infantil de *Am Spiegelgrund* de Viena. Según el estudio del historiador de la medicina Herwig Czech, en la revista *Molecular Autism*, se concluye que la idílica visión de Asperger como un opositor al nacionalsocialismo y un valiente defensor de sus pacientes contra la «eutanasia» y otras medidas de higiene racial, no se sostiene ante las pruebas históricas. Y que surge la evidencia de un papel oscuro desempeñado por este pionero de la investigación del autismo. Este hecho lleva a plantearse el futuro del epónimo ya que se debería reflejar el inquietante contexto de dicha investigación en la Viena de la época nazi⁴⁵.

⁴⁴ Entender aquí el término eutanasia como muerte provocada de forma artificial sin consentimiento del paciente.

⁴⁵ Herwig Czech, «Hans Asperger, National Socialism, and “race hygiene” in Nazi-era Vienna», *Molecular Autism* 9 (2018): 1-43.

En los casos de Spiegelgrund como, en los experimentos eugenésicos, se violaron los principios de dignidad y autonomía, y sobre todo la protección al menor, y el de no controlar apropiadamente el riesgo.

Otro de los principios fundamentales el de la autonomía incluye el consentimiento informado tanto en el tratamiento e investigación con seres humanos. En 1951, los médicos del Hospital Johns Hopkins trataron a la paciente Henrietta Lacks (1920-1951), a la que se le practicaba una biopsia recogiendo células de cáncer de cuello de útero para determinar la malignidad de su tumor. Sus células fueron enviadas, sin su consentimiento, al laboratorio de George Gey creando la línea celular HeLa (bautizada con las dos primeras letras de su nombre y apellido), dicha línea celular fue utilizada en varios descubrimientos médicos revolucionarios y aún siguen siendo utilizadas. Destaca, por ejemplo, el rol que cumplieron en el desarrollo de la vacuna de la polio o de la del virus del papiloma humano (VPH)⁴⁶. Pese a fallecer de forma prematura a causa del cáncer de cuello uterino en 1951, las células inmortales de Henrietta Lacks siguen existiendo y han salvado innumerables vidas.

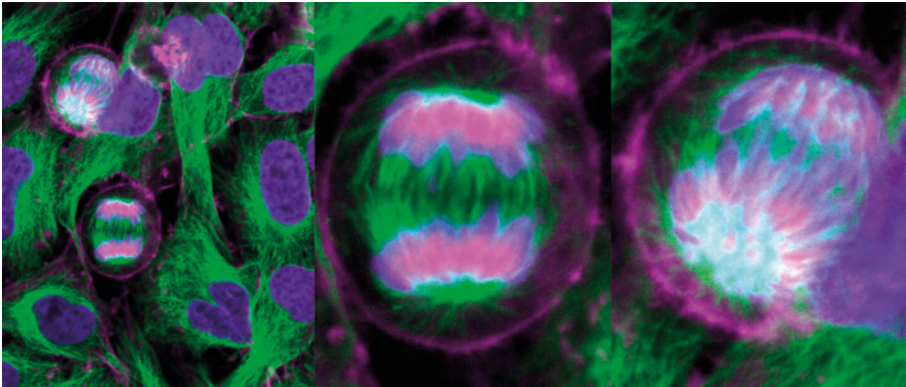


Figura 3. Micrografía óptica de células HeLa en división. En ella se aprecian los cromosomas del núcleo celular (púrpura), los microtúbulos del citoesqueleto celular (tubulina; verde). En la célula del centro de la imagen, los cromosomas condensados (púrpura) se han alineado y unido al huso (verde). Durante la anafase (una de las etapas de la división nuclear en la mitosis), el huso tira de los cromosomas condensados hacia polos opuestos de la célula. Autor: Kevin Mackenzie, Universidad de Aberdeen. Fuente: Wellcome Collection.

⁴⁶ Además de la vacuna contra el VPH, las células HeLa permitieron desarrollar la vacuna contra la poliomielitis; fármacos contra el VIH, la hemofilia, la leucemia y la enfermedad de Parkinson; avances en salud reproductiva, incluida la fecundación *in vitro*; e investigaciones sobre las afecciones cromosómicas, el cáncer, el mapeo de genes y la medicina de precisión.

La falta de consentimiento informado, la exposición de información médica y la comercialización de estas células con fines lucrativos son algunas de las profundas consideraciones éticas que hacen de este uno de los casos más controvertidos de la historia de investigación biomédica. Aunque sus células se recogieron antes de la Declaración de Helsinki, la familia Lacks sigue luchando por defender los derechos de Henrietta. En 2013 hubo un acuerdo con la familia Lacks para permitir a los investigadores biomédicos el acceso controlado a los datos del genoma completo de las células HeLa (figura 3). En 2022 la Organización Mundial de la Salud nombró a los miembros de la familia Lacks como Embajadores de Buena Voluntad de la OMS, reconociendo sus esfuerzos por defender la prevención del cáncer y preservar la memoria de Henrietta.