Capítulo Uno

Introducción a la ciencia

1.1. ANIMALES CURIOSOS

Isaac Asimov comienza su "Introducción a la ciencia"[2], uno de los mejores libros sobre divulgación científica que se han escrito en mi opinión, con la observación de que mientras más complejo es un organismo, más necesidad tiene de explorar y de conocer. De entre todas las criaturas que habitan la Tierra, el hombre se puede distinguir por su preocupación por conocer cosas que no afectan de manera inmediata a su subsistencia. Probablemente, la serpiente tuvo la tarea más fácil del mundo para convencer a Eva de probar la manzana del pecado, y Pandora estaba condenada a abrir su caja antes de que se la dieran.

Somos animales curiosos, y es una cualidad principal que uno debe de potenciar y no reprimir. Si uno busca en el diccionario el significado de curiosidad, según la RAE[1], se encuentra con una definición negativa: deseo de saber o averiguar lo que no nos concierne, vicio que nos lleva a inquirir lo que no debiera importarnos. Quizá la causa de esas acepciones peyorativas sea debida a la capacidad que posee el cerebro para adquirir, organizar y almacenar información. Esa capacidad cuando no se usa adecuadamente puede generar una desagradable enfermedad: el aburrimiento, e incluso degenerar en trastornos más graves como apatía, depresión, etc. Los griegos llamaron Filosofía a la actividad de conocer o saber: "amor a la sabiduría" o en su traducción más libre "deseo de conocer".

La Ciencia es el equivalente contemporáneo de lo que solía conocerse como Filosofía Natural. La Filosofía Natural trataba del estudio de las preguntas sobre la naturaleza que aún no tenían respuestas. Su inicio seguramente se remonte a cuando el hombre co-

[1]Diccionario de la Lengua Española, Real Academia Española, Vigésima Primera Edición.

menzó a descubrir relaciones periódicas en los sucesos que ocurrían a su alrededor.

1.2. EL MÉTODO CIENTÍFICO

Una de las principales lecciones que estudiar ciencia nos enseña es a aplicar el método científico. Este método no sólo puede ser de valor en un ámbito estrictamente científico, sino también en otros ámbitos como en economía, sociología, política o relaciones internacionales. Luego hablaremos más sobre estas aplicaciones y sus consecuencias.

Un científico es una especie de detective de la Naturaleza. Se trata de buscar respuestas a cuestiones y soluciones a problemas empleando un procedimiento llamado el método científico. Este procedimiento consiste en hacer observaciones, formular hipótesis, diseñar experimentos, que normalmente llevan a nuevas observaciones, y a repetir el procedimiento en una especie de ciclo sin fin cada vez más refinado y preciso. Es en cierta manera un proceso de sucesivas aproximaciones.

Las observaciones pueden ser cualitativas o cuantitativas. Las observaciones *cualitativas* describen propiedades no necesariamente expresadas con números. Por ejemplo que la sal de mesa es blanca, o que un cuerpo negro se calienta más que uno blanco, son observaciones cualitativas. Las observaciones *cuantitativas* son medidas que por definición involucran un número y una unidad. Decir que el agua hierve a 100 °C o que un piso tiene 98 m^2 son observaciones cuantitativas.

Si uno decide ir un poco más lejos e intentar explicar las causas de una serie de observaciones, entonces normalmente se formula una hipótesis, o una explicación tentativa. La hipótesis puede no ser correcta pero normalmente ayuda a comprender un poco mejor lo observado. Por ejemplo, la observación de que experimentamos periodos de día y noche se puede explicar con dos hipótesis: que el Sol da una vuelta completa a la Tierra cada 24 horas o que la Tierra rota alrededor de su eje cada 24 horas exponiendo partes diferentes de la misma al Sol.

Depués de que una hipótesis haya sido formulada, hace falta comprobar si es correcta mediante experimentos. Los experimentos son observaciones o medidas sistemáticas, preferiblemente hechas bajo condiciones controladas, en donde lo que se quiere medir se

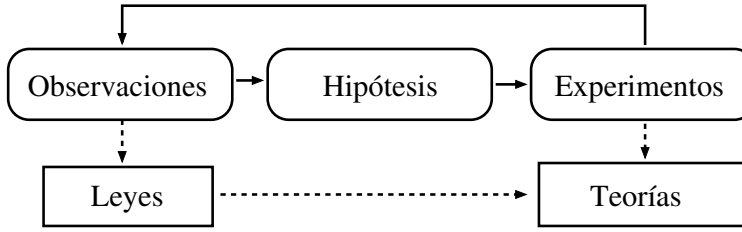

Figura 1.1: La receta para hacer ciencia.

puede distinguir claramente de otros parámetros que podrían afectar también. Un buen experimento normalmente es capaz de ayudar a los científicos a decidir si la hipótesis de partida era correcta o no. A veces demuestran que la hipótesis era incorrecta, con lo que hay que buscar otra. Mientras esto ocurre, más observaciones ayudan a comprender mejor qué está pasando.

Probablemente este punto fue la principal contribución al método científico de los filósofos del renacimiento, tales como Roger Bacon, fraile franciscano inglés, Francis Bacon, que popularizó el método inductivo, y el por todos conocido Galileo Galilei. Galileo era aparte de un genial científico un magnífico publicista, que describía sus experimentos de manera tan clara y espectacular que la comunidad erudita europea cayó rendida a sus pies, a excepción de algunos gobernantes de la curia romana. En cierta manera, estos hombres hicieron respetable la experimentación a los ojos de los filósofos que desde los griegos habían considerado poco interesante probar una teoría perfecta con instrumentos imperfectos.

Si los resultados de los experimentos u observaciones bajo determinadas condiciones siempre dan lo mismo, esto se suele resumir mediante una ley. Una ley simplemente dice qué es lo que pasa en determinadas circunstancias. Por ejemplo: la ley de la termodinámica que dice que el calor pasa de manera espontánea de un cuerpo de mayor temperatura a uno de menos temperatura, y no al revés. Las hipótesis que parecen resistir el test de los experimentos son las que adquieren el estatus de una teoría científica o modelo.

1.3. HONESTIDAD Y FALSABILIDAD

El método científico son las reglas que resumen de manera muy amplia la actividad de lo que hoy conocemos como hacer ciencia. Sin embargo esta receta de cocina que nos proporciona el método científico no siempre se ha aplicado en su totalidad, ni ha sido clave para los descubrimientos y adelantos de la ciencia. Uno no se levanta por la mañana y dice: "Voy a identificar un problema". En muchas ocasiones, cualquiera de estas etapas requiere el esfuerzo de muchas personas e incluso generaciones. A veces algunos pasos se dan de manera fortuita.

En realidad, la victoria de la ciencia moderna no fue completa hasta que se estableció un principio más esencial: el intercambio de información libre y la cooperación entre todos los científicos. De hecho, un descubrimiento científico no se considera tal si se mantiene en secreto. Una de las primeras instituciones que se creó para discutir abiertamente los experimentos y hallazgos fue la Royal Society en Londres. Surgió allá por el año 1645, a partir de reuniones informales de un grupo de caballeros interesados en los nuevos métodos científicos introducidos por Galileo.

El éxito logrado por la ciencia se debe en cierta manera más a una especie de honestidad, común de los científicos cuando hacen ciencia, que al método en sí. Si un científico sostiene una idea como verdadera y encuentra cualquier evidencia contradictoria, la idea debe ser abandonada o modificada. Además todas las ideas tienen que ser cuestionadas sin importar la reputación de la persona que la defienda. Por ejemplo, Aristóteles (384-322 a. C.) afirmaba que los objetos caían a una velocidad proporcional a su peso y que su estado natural era de reposo. Esta idea falsa se consideró como verdadera durante 2000 años debido al gran respeto que se le tenía. Seguramente Aristóteles no tuvo la culpa de esto, pero no hubo progreso hasta que por medio de experimentos se demostró que independientemente del peso, los objetos caen de la misma manera. Quizá no verídica, pero ilustrativa, es la historia de Galileo subido a la Torre de Pisa tirando desde lo alto dos bolas de distinto peso, para demostrar que caían a la vez. Moraleja: en ciencia no existe el principio de autoridad, y si los hechos contradicen lo que pensamos debemos de ser honestos y abandonar nuestras ideas.

Los científicos deben de aceptar los hechos aun cuando quisieran que fueran diferentes. Deben de esforzarse para distinguir entre lo

que ven y lo que desean ver, dado que la capacidad del ser humano para el autoengaño es infinita. Tradicionalmente los hombres han tendido a adoptar pareceres, creencias e ideas sin hacer un cuestionamiento cabal de su validez, y los han retenido durante mucho tiempo después de demostrarse su carencia de sentido. Mientras que en otros ámbitos, el cambiar de idea puede resultar un signo de debilidad, en ciencia es casi una virtud, pero este cambio de opinión ha de justificarse.

Fuera de su profesión, los científicos no son más honestos que otras personas, pero dentro de ella las reglas de juego están más o menos bien establecidas. Karl Popper formuló la siguiente regla o principio de falsabilidad. Esta regla resume la actitud de la que estamos hablando y nos da una receta para ver si algo se trata de ciencia o no. No es que sea la única manera de catalogar algo como científico, y puede ser discutible, pero conviene tenerla siempre presente. Dice así:

> *Todas las afirmaciones científicas deben ser comprobables o al menos susceptibles de que se demuestre su falsedad dado el caso.*

Según esta regla, para distinguir entre afirmaciones pseudocientíficas, que son aquellas que pretenden pasar como científicas, y las verdaderamente científicas, hágase la siguiente pregunta: si una afirmación no es verdadera, ¿cómo podríamos saberlo?

Veamos un pequeño ejercicio. Se trata de ver si las siguientes afirmaciones son científicas según el criterio de Popper o no lo son:

1. La luna está hecha de queso verde.
2. Es probable que exista vida inteligente en alguna otra parte del Universo.
3. Albert Einstein es el físico más grande del siglo XX.
4. La tierra no se mueve y es plana.

La primera afirmación es científica. Sabemos que no es cierta, que es falsa, pero es científica, porque uno se puede imaginar alguna manera de probarla. Por ejemplo, programando un viaje a la luna, o cogiendo queso y dejándolo al sol para ver si se derrite. La segunda afirmación puede que sea cierta, pero no es científica, porque uno no puede visitar todo el universo. A lo mejor a alguien se

le ocurre un método de probar esa afirmación. Entonces pasaría a ser una afirmación científica. La tercera afirmación sobre Einstein definitivamente no es científica. Es una opinión que no se puede demostrar que sea falsa (ni verdadera). La última sí es una afirmación científica pero falsa. Colón la pudo refutar en persona.

Que una frase o afirmación no sea científica no quiere decir que sea falsa, mala o inútil. Simplemente que no tiene el respaldo del experimento o la posibilidad de poder comprobar si es verdad. El problema es que los hombres queremos que nos crean más diciendo que algo es científico. La ciencia ha dado tantos éxitos que la invocamos para tener más autoridad, para justificar acciones y para mentir, algo de lo que en política se hace un arte.

1.4. CIENCIA, ARTE Y TECNOLOGÍA

La actividad intelectual humana se puede dividir en tres grandes grupos: las artes, las ciencias y las tecnologías. Hemos empezado hablando de la actividad científica, de cómo se hace ciencia. A continuación veremos brevemente que relación tiene la ciencia con el arte y con la tecnología.

Empecemos con las artes. Seguramente nacieron de la necesidad de evitar el aburrimiento del que ya hemos hablado, aunque se podrían hallar unos motivos más pragmáticos, como representar la realidad, etc. De cualquier manera, los principales valores de la ciencia y de las artes son bastante parecidos. Así por ejemplo, en la literatura uno puede encontrar lo que es factible en la experiencia humana, incluso si uno no ha vivido personalmente una determinada experiencia. El conocimiento de la ciencia nos dice de manera similar lo que es posible en la naturaleza. En cuanto a la búsqueda de la belleza, hay algo también común. En la actividad científica hay algo de búsqueda de simetría, de proporción, de simpleza, aunque de manera mucho menos explícita y más sutil que en las artes plásticas. Algunas artes también resultan útiles para el hombre, para organizar su sociedad, sus leyes, etc. Una sociedad no puede considerarse avanzada si el desarrollo de las artes y de las ciencias no está equilibrado y no va parejo. Aplicar el método científico a la organización de la sociedad puede ayudar a su desarrollo, aunque hemos visto que pueden haber cuestiones que no tengan respuestas científicas.

En cuanto a la tecnología, la ciencia y la tecnología son diferentes entre sí. La ciencia tiene que ver con el descubrimiento de hechos que ocurren en fenómenos naturales y con el establecimiento de teorías que sirven para organizar estos hechos. La tecnología tiene que ver con la aplicación práctica de este conocimiento y con el desarrollo de las herramientas técnicas y procedimientos necesarios para facilitar la actividad humana. A diferencia de la ciencia, el progreso y la tecnología se deben medir en términos del factor humano. La tecnología debe de estar sometida a un juicio ético, el conocimiento no. La tecnología debe ser nuestra esclava y no al revés. Cuando no tenemos la opción de evitar respirar aire contaminado, ni de vivir en una era nuclear, es cuando uno debe darse cuenta de la esclavitud en la que vive y cuestionarse el uso de la tecnología. El propósito legítimo de la tecnología ha de ser el de servir a todas las personas y generaciones futuras, no sólo a algunas. El progreso tecnológico es una de las maneras en las que el método científico puede contribuir a mejorar el mundo en que vivimos, pero también a destruirlo.

1.5. LAS CIENCIAS NATURALES

Mientras la filosofía natural fue "deductiva", ésta podía formar parte del conocimiento de cualquier hombre educado, pero cuando se volvió "inductiva", basada en la observación, análisis y experimentación, dejó de ser un juego de aficionados y su complejidad se incrementó rápidamente, así que se fue compartimentando en actividades más específicas. En lo que resta, vamos a considerar algo como ciencia natural cuando el experimento sea una prueba de su validez. Por ejemplo, las matemáticas no las consideríamos una ciencia natural porque no entrarían dentro de la definición que hemos adoptado, aunque las relaciones entre observaciones, leyes, hipótesis y consecuencias de las mismas se expresen mediante el lenguaje que proporcionan las matemáticas. Uno no suele hacer experimentos para demostrar la validez de un teorema matemático.

En primer término podemos dividir la ciencia en el estudio de los seres vivos y en el estudio de las cosas inanimadas. Las ciencias de la vida se pueden subdividir en biología, zoología y botánica, y las ciencias que se refieren a cosas sin vida en astronomía, química y física. Si uno se para a pensar, definir el concepto de vida es más sutil de lo que parece, y por tanto esta división no es tan fácil en

algunos casos. Es fácil pensar que una piedra no es materia viva, pero afirmar que una semilla de trigo es materia viva no resulta tan trivial antes de plantarla, regarla y ver como nace la espiga.

Veremos a continuación la relación entre las diferentes ciencias para hacernos una idea de las actividades a las que se dedican los científicos. En este libro, las principales ideas que se desarrollarán pertenecen al ámbito de la física, por lo que conforme avancemos en la exposición irá quedando más claro en qué consiste hacer física.

La química es quizás la ciencia más profundamente relacionada con la física. En su comienzo, la química trataba casi enteramente de lo que ahora llamamos química inorgánica, es decir, el estudio de las sustancias que no están asociadas con los objetos vivientes. Esta química primitiva fue muy importante para la física, ya que la teoría de los átomos surgió motivada por experimentos de química. La teoría de la química y de las reacciones entre sustancias fue resumida por Mendeléyev en la tabla periódica. La tabla periódica establece relaciones entre diversos elementos, y son estas reglas o relaciones las que en última instancia determinan con cuáles y cómo se combinan las sustancias unas con otras. Todas estas reglas a su vez se explicaron al final mediante la mecánica cuántica, de manera que la química teórica es en realidad física o eso al menos les gusta pensar a los físicos.

Hay una rama de la física y la química que ambas ciencias desarrollaron conjuntamente: la mecánica estadística. Consiste en aplicar el método estadístico a situaciones gobernadas por las leyes de la mecánica (la mecánica es la descripción del movimiento). En muchas situaciones están implicados tal número de átomos que, aún sabiendo qué leyes gobiernan sus movimientos, resulta imposible seguirlos a todos de manera individual. La mecánica estadística proporciona una descripción promedio del movimiento de los átomos, y así es capaz de explicar los fenómenos como el calor y la temperatura de los cuerpos. El estudio de los fenómenos del calor, de la temperatura, del trabajo y de la energía se conoce como termodinámica.

Hay otra parte de la química, la química orgánica, que está asociada con la cosas vivientes. Se creía que las cosas vivas no podrían estar hechas con los mismos materiales que las inanimadas, pero esto es falso. Son exactamente lo mismo, incluso están compuestas por un conjunto de sólo unos pocos átomos, principalmente carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno. La diferencia son unas com-

binaciones extremadamente complicadas de estos pocos átomos, en relación a las combinaciones que presenta la materia inorgánica. El poder sintetizar en el laboratorio compuestos presentes en la materia viva lo demuestra. Esto conduce hacia la bioquímica o a la biología en sí.

La biología se dedica al estudio de las cosas vivas. En los primeros días los biólogos tenían que tratar con problemas puramente descriptivos, buscar qué cosas vivas había y clasificarlas. Después, los biólogos empezaron a estudiar más detenidamente la maquinaria interior de los seres vivos. Observaciones realizadas por Mayer en conexión con la cantidad de calor que recibe y cede una criatura viva ayudaron a la física en el descubrimiento de la conservación de la energía. También al mirar más cerca los procesos biológicos se empezaron a observar muchos otros fenómenos físicos: bombas y tuberías en la circulación de la sangre, transmisiones de impulsos eléctricos por los nervios, etc. Estudiando aún más profundamente el interior de los seres vivos podemos ver rasgos cada vez más comunes entre ellos. Hay muchas reacciones químicas en las cuales un compuesto se transforma en otro. Esto ocurre porque la célula es capaz de manipular átomos, cosa que es muy complicada de hacer como se puede imaginar. Dentro de la célula existen *enzimas* que permiten la construcción de otras sustancias específicas. Las enzimas son proteínas grandes y complicadas, y las proteínas a su vez son cadenas de elementos fundamentales o átomos, aunque no todas las proteínas son enzimas. Las enzimas también se rigen por las leyes de la física.

Muchas técnicas experimentales, de gran importancia para el estudio de la biología a nivel microscópico, son proporcionadas por la física. Por ejemplo, si queremos saber qué camino sigue un átomo por el interior de una célula, tendríamos que marcar de alguna manera ese átomo, y luego detectar su presencia de alguna forma. Esto se consiguió cuando se pudo entender el fenómeno de la radiactividad.

1.6. EL UNIVERSO EN UN VASO DE VINO

Después de todo este capítulo introductorio, en donde hemos presentado una idea general del método científico y de la actividad científica, acabo citando textualmente a Richard Feynman. No sería

fácil resumir mejor todo lo expuesto hasta ahora. En sus "Lectures on Physics"[9] escribe Feynman:

> Decía alguna vez el poeta: "El Universo entero está en un vaso de vino". Probablemente nunca sabremos lo que quería decir, pues los poetas no escriben para ser comprendidos. Pero es cierto que si miramos un vaso de vino lo suficientemente cerca vemos el universo entero. Ahí están las cosas de la física: el líquido que se arremolina y se evapora dependiendo del viento y del tiempo, las reflexiones en el vidrio, y nuestra imaginación agrega los átomos. El vidrio es un destilado de las rocas terrestres, y en su composición vemos los secretos de la edad del universo y la evolución de las estrellas. ¿Qué extraño arreglo de elementos químicos hay en el vino? ¿Cómo llegaron a ser? Están los fermentos, las enzimas, los sustratos y los productos. Allí en el vino se encuentra la gran generalización: toda vida es fermentación. Nadie puede descubrir la química del vino sin descubrir, como lo hizo Louis Pasteur, la causa de muchas enfermedades. ¡Cuán vivido es el vino tinto que imprime su existencia dentro del conocimiento de quien lo observa! ¡Si nuestras pequeñas mentes, por alguna conveniencia, dividen este vaso de vino, este universo, en partes – física, biología, geología, astronomía, psicología, etc –, recuerden que la naturaleza no lo sabe! Así que reunamos todo de nuevo sin olvidar en última instancia para qué sirve. Dejemos que nos de un placer final más: ¡bébanlo y olvídense de todo!

Bueno, olvídense de todo menos de poner en duda cualquier afirmación que quieran venderles como científica. En ciencia no existe más principio de autoridad que el que la Naturaleza dicta. Nosotros los humanos hemos aprendido mucho. Hemos avanzado en la comprensión de la naturaleza y en el mundo que nos rodea. Ya no tenemos que morir cuando se nos diagnostica una infección, ni acusamos de brujería a otras personas, ni vivimos con el miedo a los demonios, ni hacemos casos a charlatanes en una esquina que prometen remedio para todo, ¿o sí?

La impresión de que la ciencia es algo mágico e incomprensible, alcanzable sólo por unos cuantos elegidos, sospechosamente distin-