

# Unidad 0. Aproximación al trabajo científico

Las cuestiones relacionadas con los fenómenos naturales, como la fuerza, el movimiento, los planetas, las estrellas, las mareas y muchos otros fenómenos, ya eran abordados por la civilización griega unos VI siglos antes de Cristo. Sin embargo los métodos de exploración se basaban fundamentalmente en el razonamiento, en lugar del experimento.

Hasta el Renacimiento la mayor influencia la tuvo Aristóteles, en cuyos escritos y autoridad, basaban los escolásticos principalmente su saber. Las propiedades de la materia inanimada y el comportamiento de los seres vivos estaban dirigidos hacia un fin, de modo que los distintos cuerpos tenían sus lugares naturales en el orden del Universo y tendían hacia ellos.

Es con Galileo Galilei (1564-1642), con quien se empiezan a imponer unos nuevos procedimientos para estudiar los fenómenos naturales, basados en las hipótesis y la experimentación. Galileo trata de simplificar los fenómenos para su análisis y de reproducirlos en el laboratorio, controlando y modificando sus variables. En la figura podemos observar su laboratorio, con el plano inclinado para el estudio de los movimientos con aceleración

- **En la fotografía aparece el laboratorio de Galileo. ¿Qué importancia tiene el trabajo experimental, tanto en la Física como en la Química?**
- **¿Basta con un buen razonamiento lógico para establecer que una teoría científica se pueda dar por válida?**
- **Cuál es el criterio definitivo para que una teoría científica resulte aceptable?**
- **En qué consiste el método científico? ¿Tiene alguna aplicación en la vida diaria?**
- **Tanto la Física como la Química son ciencias cuantitativas. Las medidas que se realizan ¿son siempre exactas?**
- **¿Tiene sentido que toda medida experimental se dé siempre acompañada por su error?**
- **¿Hay alguna diferencia entre medidas directas e indirectas?**
- **¿Influye el aparato utilizado en el error de la medida?**
- **En el trabajo experimental ¿puede hacerse alguna estimación del error cometido?**
- **¿Cómo se presenta un trabajo científico? ¿En qué forma se comunican los científicos entre sí?**
- **Todas las magnitudes físicas ¿se pueden representar simplemente con un valor numérico y una unidad?**

## 0.1 ¿QUÉ ES LA CIENCIA?.

Una respuesta simple pero acertada a la pregunta sería, la actividad que hacen los científicos, sin embargo tal contestación, nos deja en el mismo estado de desconocimiento que teníamos antes.

La Ciencia moderna es una de las actividades humanas, que se ocupa de descubrir el comportamiento de muchos de los fenómenos que ocurren en nuestro mundo, ¿para qué?:

a) Para satisfacer la curiosidad que tenemos los seres humanos de conocer los fenómenos naturales, pero, a diferencia de otros saberes, para la adquisición de este conocimiento, se utiliza un procedimiento particular, conocido como "el método científico". Con él, los científicos realizan en general, el descubrimiento y la descripción de los

fenómenos, utilizando como principal medio de trabajo la experimentación. Además se emiten hipótesis, y se desarrollan leyes y teorías, que tienen generalmente un carácter temporal.

Los conocimientos designados como teorías científicas, no tienen naturaleza eterna e inmutable, y están sometidos de continuo, a revisión, lo que permite su confirmación, remodelación o sustitución. En ocasiones, para que una teoría de una respuesta suficiente a ciertas observaciones, es necesario ampliarla con algunos ajustes. Cuando ya no pueda responder a los nuevos datos experimentales, ha de ser sustituida por otra teoría más amplia, que incluye como caso particular a la anterior. *La Ciencia es como un edificio, en continua y perpetua construcción, donde las nuevas teorías se van asentando encima de las anteriores, que le van sirviendo de soporte.*

b) Para emplear el conocimiento científico adquirido, en beneficio de la humanidad, como una fuente de riqueza, mejorando nuestra salud, calidad de vida y disminuir el esfuerzo en el trabajo. Esta finalidad se realiza mediante la aplicación de los conocimientos científicos a fines prácticos, a través de la Tecnología.

En este apartado cabe señalar, que en la actualidad y a lo largo de la Historia, se encuentran ejemplos que muestran, como los conocimientos científicos no siempre han sido aplicados para el bien de la humanidad. Este uso desafortunado, generalmente no es responsabilidad de los científicos, sino de ciertos grupos de presión, que en ocasiones obligan a determinados científicos a realizar aplicaciones tecnológicas, con finalidades poco deseables. Existen numerosos ejemplos en la Historia de la Ciencia, de científicos que se han negado a realizar aplicaciones prácticas de su saber, que pudieran contribuir a la destrucción de los seres humanos.

c) Para seguir proporcionando un mayor y mejor conocimiento del universo, -consideramos con esta palabra el estudio de cualquier objeto, sea grande o pequeño, próximo o lejano-. Se conoce esta actividad, como investigación básica, operación que nunca debería detenerse, aunque necesite inversiones económicas importantes, pues sin duda es la herramienta que nos seguirá abriendo el progreso en el futuro.

Finalmente queremos señalar, que aunque el trabajo científico debe ser una actividad libre, pues sin libertad no hay creación, sin embargo, la sociedad tiene el derecho de conocer y la obligación de opinar sobre el trabajo científico, por varias razones: por ser el soporte económico de las investigaciones, y por motivos mucho más profundas de índole ético, ya que no se puede dejar en manos de un colectivo, por importante que éste sea, la realización de actividades que puedan dañar o comprometer, la dignidad de los seres humanos.

## **0.2 EL MÉTODO CIENTÍFICO**

Es el procedimiento por el que los científicos procuran construir con precisión, las representaciones de los fenómenos que observamos en la naturaleza. En él se tienen en cuenta las influencias que pueden tener los prejuicios, las predilecciones personales y la cultura, en nuestra percepción e interpretación del mundo. El método científico utiliza procedimientos establecidos para minimizar estas inclinaciones del experimentador, cuando ensaya hipótesis o teorías.

### **0.2.1 Etapas del método científico**

Se compone de varios pasos. Sin embargo, hay una gran libertad tanto es su aplicación, como en su número. Aquí vamos a considerar cuatro etapas:

0. Observación y descripción del fenómeno o fenómenos que se quieren llegar a interpretar.
1. Formulación de una hipótesis para explicarlo.
2. Empleo de la hipótesis para predecir la existencia de nuevos fenómenos o los resultados de nuevas observaciones.
3. Realización de pruebas experimentales para verificar las predicciones, por varios experimentadores y mediante procedimientos distintos.

Si experimentalmente se confirman las hipótesis, pueden ser consideradas como una teoría o ley de la naturaleza. Si el experimento no confirma las hipótesis, deberán ser modificadas o abandonadas.

Una clave del método científico, es su poder predictivo, sin embargo estas predicciones deben ser comprobadas por el experimento. Se suele decir con frecuencia “que las teorías nunca son probadas, solo desaprobadas”. Siempre hay la posibilidad de que una nueva observación, entre en conflicto con una teoría planamente establecida.

## 0.2.2 Comprobación de las hipótesis

Está rigurosamente establecido, que las pruebas experimentales tienen la primacía sobre cualquier otra, para la confirmación de las hipótesis, o en la decisión sobre una cierta hipótesis. El método científico requiere que una hipótesis sea plenamente confirmada por otros experimentadores, y cuando sucede que las predicciones son incompatibles con las pruebas experimentales, ésta hipótesis debe ser modificada. Los experimentadores pueden verificar directamente la teoría, o confirmarla a través de consecuencias derivadas de ella, usando las matemáticas y la lógica.

En Física, como en todas las ciencias empíricas, el experimento es el juez supremo, siendo de absoluta necesidad para la verificación de las hipótesis. Aquellas teorías que no puedan ser probadas mediante observaciones medibles, no pueden ser calificadas como científicas.

Cuando con una teoría bien establecida, como por ejemplo la mecánica clásica, desarrollada por Newton en la segunda mitad del siglo XVII, se realizan unas predicciones que están en desacuerdo con nuevos resultados experimentales, la teoría debe ser descartada como una descripción completa de la realidad, pero puede continuar aplicándose dentro de ciertos límites.

Así, las leyes de la mecánica clásica son válidas cuando las velocidades son mucho menores que la de la luz en el vacío, y, en ese caso, que coincide con la mayor parte de nuestras experiencias dichas leyes se utilizan ampliamente, tanto en la ciencia como en la tecnología. Sin embargo, cuando las velocidades se aproximan a la de la luz, los fenómenos se describen mejor mediante la Teoría de la Relatividad, desarrollada por Einstein a comienzos del siglo XX, de la que se encontraron pruebas experimentales con posterioridad. Similarmente, la física clásica solo es válida, para distancias mayores que las escalas atómicas, con valores mayores de  $10^{-8}$  m, y una descripción que es válida a todas las escalas, viene proporcionada por la Mecánica Cuántica.

**Un nuevo ejemplo tomado de la astronomía**, sobre teorías que han sido desechadas como consecuencia de las evidencias experimentales, lo proporcionan los modelos planetarios. El modelo de Tolomeo siglo II, situaba a la Tierra en el centro del universo y con él se describían las posiciones de los planetas a través de complicadas trayectorias, más tarde Copérnico simplifica el esquema, situando al Sol en el centro, y a la Tierra como un planeta más, que gira en una órbita circular alrededor del mismo. Posteriormente, esta teoría era modificada gracias a las medidas de las posiciones de los planetas, que resultaban compatibles con órbitas elípticas y no circulares, por Ticho Brahe y Kepler, para que finalmente fuese Newton quien las dedujera de las leyes de la mecánica.

## 0.2.3 Factores que influyen en las medidas experimentales

Las hipótesis y las teorías científicas, deben ser comprobadas experimentalmente, y en esta verificación, influyen tanto el experimentador, como los instrumentos de medida. De un modo general, se determina el grado de confianza en una medida, mediante el cálculo de los errores experimentales.

Los errores experimentales tienen varias fuentes. Así está el error intrínseco del instrumento de medida, que tiene igual probabilidad de producirse con valores más altos y bajos, del valor verdadero (que es desconocido) y el error sistemático, debido a factores, que desvían los datos en un sentido.

En ciencia, se disponen de procedimientos establecidos de estimación de errores, lo que resulta imprescindible para calcular la precisión de una medida particular, y cuando se determinan resultados cuantitativos, para acotarla. Una medida sin una cota de error resulta inaceptable.

## 0.2.4 Errores comunes en la aplicación del método científico

El método científico intenta minimizar la influencia sesgada de los propios científicos en los resultados de los experimentos, porque cuando comprueban una hipótesis, pueden tener cierta preferencia por un resultado u otro, y es importante que estas no condicionen el resultado o su interpretación.

Un error especialmente grave consiste en la no elaboración de una hipótesis para la explicación de un fenómeno, cuando se realizan pruebas experimentales, pensando que se trata de un paso innecesario, porque los resultados deben ser los que predicen el sentido común o la lógica..

Otro error muy común es ignorar o buscar alguna explicación no comprobada para eliminar aquellos datos que no se adaptan a la hipótesis.

Durante muchos años han existido diversas teorías sobre la naturaleza de los cometas. Aunque la más aceptada era el modelo de "bola de nieve sucia". Sin embargo no pudo ser confirmada hasta 1986, en que fue fotografiado el cometa Halley por las cámaras instaladas a bordo de las sondas espaciales Vega-1, Vega-2 y Giotto, en su aproximación al cometa. Mostraron que en el centro del cometa tiene un bloque sólido, constituido por hielo y polvo.

El modelo ya había sido propuesto en 1950 por el norteamericano Fred Whipple, pero estaba pendiente de su ratificación.

En todo experimento, la hipótesis inicial puede ser correcta o incorrecta. Pero, a veces, los científicos tienen una gran confianza en que una hipótesis es verdadera o falsa, o se sienten presionados para conseguir determinados resultados. En estos casos, puede haber una predisposición a encontrar justificaciones y aceptar datos que coincidan con las expectativas deseadas, con posibles efectos sistemáticos. *Para evitarlo, todos los datos deben ser tratados de la misma forma.*

Hay ejemplos de descubrimientos, desechados por los experimentadores, con información de nuevos fenómenos, pero que únicamente fueron considerados en último término, y a la inversa, existen casos de pretendidos nuevos descubrimientos, que más tarde se comprobó que provenían de errores sistemáticos, no contemplados por sus descubridores. En los campos en que hay una experimentación activa y comunicación entre los científicos, los sesgos individuales o de un grupo, se cancelan, porque los experimentos son realizados por personas distintas y con medios diferentes, que como es de esperar tendrán distintas tendencias.

### 0.3 HIPÓTESIS, MODELOS, TEORÍAS Y LEYES

**Una hipótesis** es una explicación limitada, que contempla una causa y su efecto, en situaciones muy concretas, siendo emitida con nuestro conocimiento del fenómeno, antes de que el trabajo experimental haya sido ejecutado. Tomando un ejemplo de la vida diaria, supón que la lámpara de estudiar no luce. Una primera hipótesis sería, "la bombilla está fundida" y puedes comprobar si es cierta o no, cambiándola por otra nueva. Si continúa sin lucir, tu hipótesis no era cierta, y tendrás que plantearte una segunda hipótesis; "el interruptor está averiado". Para comprobarla debes cambiar el interruptor por otro, o verificarlo con un aparato de medidas eléctricas (polímetro). Así, poco a poco, emitiendo hipótesis y rechazando aquellas que no sean certeras, conseguirías emitir una que te permita solucionar el problema.

Una ley puramente empírica, llamada ley de Hooke, confirma una hipótesis previa: los alargamientos producidos al estirar un muelle, son proporcionales a las fuerzas aplicadas al mismo (Figura 0.5). Otras medidas experimentales confirman que esta ley solo es válida, para alargamientos pequeños y falla cuando el muelle es alargado por encima del límite elástico, e inclusive puede romper. La ley de Hooke gobierna sin embargo el movimiento armónico simple, y ha sido muy versátil y de gran utilidad en numerosas aplicaciones (Figura 0.6).

**Un modelo** es una representación más sencilla y asequible a nuestro conocimiento, de un fenómeno real. A partir de un modelo se elaboran las teorías científicas o leyes, cuya validez se corresponde con la del modelo elegido. Así por ejemplo en el modelo de Bohr para el átomo de hidrógeno (Figura 0.7), los electrones describen órbitas circulares alrededor del núcleo, y ésta no es una correcta descripción del átomo, sin embargo es sencillo matemáticamente, y explica razonablemente muchas características de este átomo.

**Una teoría científica o ley**, representa una hipótesis o un grupo de hipótesis relacionadas, las cuales se han visto confirmadas repetidas veces mediante pruebas experimentales. Las teorías físicas son normalmente formuladas con un reducido número de conceptos y ecuaciones, las cuales son consideradas como leyes de la naturaleza, insinuándose su aplicación universal. Una vez aceptadas, se convierten en herramientas para mejorar nuestro conocimiento del universo, permitiendo explorar áreas desconocidas situadas en la frontera de nuestro saber.

Las teorías no son fáciles de descartar, de forma que los nuevos descubrimientos tratan de encajarse dentro de la teoría existente, y solo si después de repetidas pruebas experimentales, el nuevo fenómeno no puede ser acomodado, los científicos cuestionan seriamente la teoría e intentan su modificación.

La validez que atribuimos a las teorías científicas, como representación de la realidad del mundo físico, reposa, en las posibilidades que ofrecen de ser contrastadas y en su posible invalidación, cuando ya no respondan a las nuevas observaciones y además no permitan ser actualizadas.

Los cambios en la Ciencia y en las teorías ocurren por supuesto, dando paso a teorías nuevas, que modifican nuestra visión del mundo. Nuevamente “la fuerza para el cambio” la proporcionan el método científico y la experimentación.

## **0.4 ¿ES DE UTILIDAD EL MÉTODO CIENTÍFICO EN LA VIDA DIARIA?**

Aún cuando el método científico es necesario para el desarrollo de los conocimientos en la ciencia, resulta también útil en los problemas de cada día. ¿Qué haces si no te funciona el teléfono?. Está el problema en tu aparato, en la línea de tu casa, en la línea exterior, en la central de la compañía telefónica. El proceso que puedes seguir para solucionar el problema, puede involucrar una reflexión científica y los resultados pueden ser contradictorios con tus hipótesis iniciales.

Podrías comenzar aislando mentalmente, las distintas partes que pueden intervenir en tu problema, y admitir como primera hipótesis, de que el fallo es de tu propio teléfono. Para comprobarla, podrías conectar en su lugar el teléfono de un vecino y tratar de hacer una llamada, lo que te permitiría verificar o no, la citada hipótesis. Si no has resuelto el problema y dispones de varias líneas interiores en tu casa, una nueva hipótesis sería, que esta línea está cortada, y para verificarla conecta ese teléfono que con seguridad funciona, en las otras tomas que lleva cada línea. Así podrías o no, confirmar la hipótesis.

Si todavía persiste la avería, una nueva hipótesis estaría en considerar, que la avería es producida por algún fallo de la compañía telefónica, de modo que tendrías que avisarla para que confirme o no tu hipótesis, y solucione finalmente el problema.

### **¿Se puede aplicar siempre el método científico?**

El método científico no puede aplicarse siempre. En aquellos casos en los que no sea posible aislar los fenómenos, para verificar las hipótesis, o cuando las medidas no puedan ser repetidas nuevamente, el método científico no es de aplicación.

Piensa por ejemplo en la bolsa de valores. Habrás oído que sube y baja sin unas causas claras que lo justifiquen, aquí el método científico (por desgracia para los científicos pues ganarían mucho dinero) no es de aplicación. Existen innumerables causas que influyen en la cotización de las acciones, que no pueden ser aisladas una por una, además no se puede experimentar con los valores, haciéndolos subir y bajar a voluntad, para conocer la respuesta de los inversores y así deducir leyes que controlen el comportamiento de las acciones. Algo análogo ocurre en los juicios, los abogados no pueden repetir el delito, delante del juez o del jurado, para que juzguen a la vista de las pruebas.

## **0,5 LA COMUNICACIÓN CIENTÍFICA**

La ciencia actual tiene un pilar muy importante en la comunicación y la publicidad. Todos los científicos que realizan un trabajo de interés, tanto teórico como experimental, lo difunden, mediante su publicación en alguna de las revistas especializadas que existen. Solo de esta forma, se hace posible que otros verifiquen la validez de sus resultados o de las hipótesis y teorías propuestas.

Se considera como verdad científica, siempre provisional, la que, una vez publicada, resulta aceptada por un número suficiente de expertos en el tema. Los contenidos de los libros de texto se ajustan a teorías bien establecidas que también fueron publicadas en su momento, y que sufrieron adaptaciones con las aportaciones de otros científicos. Convenientemente adaptadas según el nivel educativo a que se destinan, aparecen explicadas en vuestros libros. Por otra parte, la etapa previa a todo trabajo científico consiste en revisar lo publicado en determinadas revistas científicas especializadas en el tema.

Excepto en casos poco frecuentes, como proyectos de investigación militar, la información científica está abierta a todos los que puedan estar interesados. Naturalmente, para la comprensión de un tema científico con cierta profundidad es necesaria una formación previa, pues sin ella puede resultar imposible de entender.

En consecuencia la Ciencia es pública y universal, y no existe expresión más contradictoria y anticientífica, que la de "Ciencias Ocultas".

HEUREMA-HQ