

# Introducción a **La Ciencia**

Mauricio Wilches Zúñiga



Colección: Apuntes de Ciencias



**FONDO**  
**editorial**  
Universidad Católica de Oriente

# Introducción a **La Ciencia**

Mauricio Wilches Zúñiga



**Colección:** Apuntes de Ciencias

Facultad de Ingeniería  
Universidad Católica de Oriente

## CATALOGACIÓN EN LA FUENTE

Wilches Zúñiga, Mauricio

Introducción a la ciencia / Mauricio Wilches Zúñiga.— Rionegro:  
Fondo Editorial Universidad Católica de Oriente, 2017.

ISBN: 978-958-56159-1-5

88 p.; 23 x 15 cm.

1. Ciencia – Enseñanza. 2. Ciencia - Manuales. I. Wilches Zúñiga,  
Mauricio. II. Título.

507 CDD 21.a ed.

© Mauricio Wilches Zúñiga

© 2016 Universidad Católica de Oriente

**ISBN:** 978-958-56159-1-5

Primera edición: abril de 2017

### **Autor**

Mauricio Wilches Zúñiga

### **Corrección de textos**

Natalia Maya Ochoa

### **Diseño y diagramación**

Divegráficas Ltda.

### **Editado por**

Fondo Editorial Universidad Católica de Oriente

Sector 3, Carrera 46 n.º 40B-50

Rionegro-Antioquia

fondo.editorial@uco.edu.co



### **Impreso por**

Divegráficas Ltda.

Carrera 53 n.º 54-30 - PBX: 511 7616

Medellín-Antioquia

www.divegraficas.com

Impreso en Colombia – Printed in Colombia

Prohibida la reproducción total o parcial del libro, en cualquier medio o para cualquier propósito, sin la autorización escrita del autor o de la Universidad Católica de Oriente.

## **MAURICIO WILCHES ZÚÑIGA**

Nacido en Barranquilla (1949), es docente del programa de Ingeniería Electrónica de la Universidad Católica de Oriente. Obtuvo su título de ingeniero electrónico en la Universidad Distrital Francisco José de Caldas (Bogotá, 1974); magíster en Ingeniería Biomédica de la Universidad de Wisconsin (Madison, EE. UU., 1982). Ha sido también docente en la Universidad Pontificia Bolivariana (1974-1975) y la Universidad de Antioquia (1975-2005), donde fundó el pregrado en Bioingeniería. Es coeditor de la serie de libros *Bioingeniería* (6 vols.) editados por la Editorial Universidad de Antioquia.



# Contenido

<b>1. Introducción</b> .....	9
<b>2. ¿Qué es ciencia?</b> .....	11
<b>3. Clasificación de la ciencia</b> .....	21
<b>4. El conocimiento</b> .....	29
<b>5. El conocimiento científico</b> .....	33
5.1 La Matemática .....	34
5.2 La Física.....	38
5.3 La Química .....	42
5.4 La Biología .....	49
<b>6. Reflexiones acerca de la ciencia</b> .....	61
<b>7. Conclusiones</b> .....	69
<b>8. Referencias</b> .....	87



**A**preciado lector. La gran mayoría de personas, por diferentes medios y motivos, nos enteramos de que la geopolítica actual está marcada por enormes diferencias. Por un lado, nos encontramos países como Estados Unidos, Francia, Inglaterra, Alemania, China, Japón, Rusia, Italia y otros pocos, que pertenecen a un grupo selecto denominado *primer mundo*, caracterizado por un grado de desarrollo muy alto y un estilo de vida (salvo los casos de Rusia y China) bastante cómodo, aunque ello no significa que no existan desigualdades ni algunos cinturones de pobreza. Por otro, existen países como Holanda, España, Bélgica, Corea del Sur, Malasia, Suecia, Noruega, Dinamarca y algunos otros que conforman el denominado *segundo mundo*. El resto de los países conformamos el *tercer mundo*. Ello significa que el grado de desarrollo económico, científico, tecnológico y cultural está muy por debajo del de los otros dos grupos. No obstante, hay casos interesantes y ciertos países se tornan difíciles de clasificar, por ejemplo, los Emiratos Árabes o Kuwait. Estos dos países tienen unos ingresos económicos (derivados del petróleo) muy altos y poseen una calidad de vida envidiable (no hay analfabetismo, excelente seguridad social, excelente infraestructura, los índices de pobreza más bajos del planeta), pero ello no basta para colocarlos en el primer mundo porque su desarrollo tecnológico es muy pobre y su conocimiento científico y su producción en este campo son muy bajos. En estos dos países se importa casi todo lo que se consume.

Es importante tener claro que el desarrollo científico y el tecnológico van, generalmente, uno detrás del otro. La investigación científica ha permitido, en todos los países del *primer mundo*, generar condiciones para el advenimiento de una tecnología adecuada que empuje en la dirección correcta los aspectos económicos, culturales y sociales de las

sociedades que lo conforman. Por el contrario, la ausencia de conocimiento científico nos impide crear la tecnología que requerimos para nuestro desarrollo y nos hace fuertemente dependientes de la tecnología extranjera. Entre más tecno dependientes seamos, más condenados estamos a hundirnos en los infortunios del *tercer mundo*.

En los últimos tiempos, el denominado *grado de desarrollo* de un país se ha medido, más o menos, empleando los mismos indicadores cada año, pero el peso relativo de cada uno de ellos ha variado. Hoy día, el concepto de servicios, y el dinero que se mueve alrededor de ellos, ocupa el primer lugar en el conjunto de indicadores económicos. No obstante, a pesar de que en el orden económico mundial se mueva más dinero en la prestación de servicios que en la producción manufacturera, se considera que el verdadero eje del desarrollo es el conocimiento y, muy particularmente, el *conocimiento científico*. Países como Finlandia, Malasia y Corea del Sur, para poner solo tres ejemplos, que hace veinticinco años estaban en la lista del *tercer mundo*, le apostaron a la culturización de la población y al mejoramiento del conocimiento científico y hoy se encuentran en la privilegiada lista de países que conforman el *segundo mundo*.

De acuerdo con lo anterior, la Universidad Católica de Oriente está muy interesada en que el nivel cognitivo, y muy particularmente el conocimiento científico, de la población que se encuentra en su esfera de influencia, se incremente significativamente. Para ello, a través de su Programa de Ciencias Exactas y Naturales, ha querido preparar una serie de cartillas divulgativas de los diferentes temas de las ciencias exactas y naturales. Tales cartillas estarán escritas en un lenguaje sencillo y con un grado de dificultad muy bajo, de tal manera que puedan ser comprensibles para públicos de muy diferentes edades y saberes. Se quiere que abuelos, padres e hijos puedan disfrutar la lectura y comprensión de temas básicos de la Matemática, la Física, la Química y la Biología; que se vuelva cotidiano abordar temas de las ciencias (obviamente sin el rigor de los expertos) y que se inicie un proceso de desmitificación acerca de lo difícil y aburrido de los temas científicos. En ese orden de ideas, apreciado lector, lo animamos a que inicie la lectura de las mencionadas cartillas con la esperanza de que les resulten útiles y amenas.

# 1.

## Introducción

Se habló en el prefacio de la causa fundamental por la cual existían tremendas diferencias entre los países del primer mundo y los del tercero. Se dijo, desde lo primordial, que no era otra cosa que la diferencia en conocimientos y, muy particularmente, del *conocimiento científico*.

Vale aclarar que la razón de tales diferencias entre los mundos primero, segundo y tercero es multicausal, puesto que existen factores históricos, políticos, religiosos, filosóficos, económicos, geopolíticos y hasta geográficos. No obstante, trataremos de centrarnos en los científicos aunque, eventualmente, se mencionen otros.

Es común encontrarnos en un escenario del conocimiento en el cual mostramos interés por apropiarnos de algunos contenidos pero, generalmente, pretendemos hacerlo sin ninguna estructura. Se nos olvida, o no lo sabemos, que es el conocimiento estructurado el que realmente perdura y nos permite crear más conocimiento, con la excepción de algunas formas de conocimiento muy simples.

La Teoría del Conocimiento es uno de los campos más hermosos de la filosofía, la ciencia y de la pedagogía misma. El ser humano ha pensado en ello desde tiempos inmemoriales, pero todo parece indicar que no ha pensado lo suficiente porque frecuentemente aparecen interrogantes que cuestionan algunos conceptos que eran tenidos por

verdades. El problema principal que hoy tenemos para entender los nuevos problemas, o paradigmas si se quiere, que nos plantea la Teoría del Conocimiento es que se requiere una estructura formal, desde lo filosófico, y cognitiva, desde la ciencia, que no tenemos. Creemos, erradamente, que para aprender es suficiente la intención y la dedicación y ello solo es válido cuando se trata de temas muy básicos.

El aprendizaje es un proceso complejo que implica método, orden, intención, medios y entornos, entre otros. El aprendizaje de objetos científicos exige además un lenguaje y una estructura, características estas que solemos pasar por alto.

En la construcción del conocimiento científico los referentes son muy importantes. Cuando se quiere investigar sobre algún tema es de vital importancia averiguar cuánto se ha investigado sobre él, quiénes lo han hecho, dónde y cuándo, es decir, debe comprenderse que no se está solo, es en ese proceso de *crear* conocimiento, que hay personas que se han interesado y que, probablemente, algunas de ellas sepan mucho más que nosotros acerca del objeto de conocimiento. Esta búsqueda se conoce algunas veces como *revisión del estado del arte* dado que ello no constituye, en sí mismo, conocimiento científico alguno. Si se trata de validar una teoría, o al menos de verificarla, el método experimental empleado es de vital importancia, a no ser que se trate de un objeto o contenido matemático cuya verificación se hace por otros métodos.

En la presente cartilla, amable lector, encontrará unas cuantas líneas dedicadas a la definición de ciencia y su clasificación. Notará que no es un tema del todo simple dadas las diferencias importantes entre las distintas escuelas filosóficas y, todavía más, entre los objetos de estudio. Sin extenderse en el tema, se insinúan varias definiciones y, también, varias clasificaciones. Más adelante encontrará una pequeña disertación acerca del conocimiento y, muy particularmente, del conocimiento científico. Se plantea de una manera simple el origen de las principales ramas que conforman la Matemática, la Física, la Química y la Biología y se hace una mención de algunos de los científicos más famosos que les permitieron desarrollarlas. Por último, se hacen una serie de reflexiones dentro de las cuales se destaca el concepto de *magnitud* y la importancia de las *unidades* asociadas a cada magnitud.

# 2.

## ¿Qué es Ciencia?

Es relativamente común escuchar términos como *ciencia*, *pensamiento científico*, *conocimiento científico*, *actividad científica*, *objetivo científico*, *clasificación de la ciencia* y otros relacionados. Comencemos entonces por aproximarnos a un concepto razonable de lo que podemos entender por *ciencia*.

Según la Gran Enciclopedia Círculo (1984), la *ciencia* es:

forma de conocimiento que trata de formular en lo posible, mediante lenguajes apropiados y rigurosos (por ejemplo, el lenguaje matemático),- las leyes por las que se rigen los fenómenos, con el fin de obtener un conocimiento cierto de las cosas a través de sus principios y causas. Es por tanto, un cuerpo de doctrina metódicamente constituido y ordenado, que permite la subdivisión del saber humano en ramas particulares (ciencias). Todas las leyes formuladas de acuerdo con esta forma específica de conocimiento poseen elementos comunes, si bien pertenecen a órdenes diferentes (Pág. 829).

Según la Enciclopedia Temática Espasa (2003):

la ciencia (del latín *scientia*, conocimiento) es el conocimiento que deriva de la experiencia humana directamente verificable; es decir, que se basa en la observación directa de la naturaleza que nos circunda: su dominio se limitará, por tanto, a todo lo que puede ser

observado directa o indirectamente. Por lo demás, todas las observaciones científicas deben ser *repetibles*, esto es, ningún acontecimiento puede considerarse válido si no puede reproducirse en laboratorio, y deben estar sujetas a *experimentación*. Por consiguiente, una teoría científica solo puede valorarse mediante una verificación experimental (Pág. 32).

En la Enciclopedia Temática Time Life (2007), se lee:

las ramas del saber se denominan *ciencias* porque presentan un conocimiento sistemático de algún aspecto del mundo material, basado en la observación y en el razonamiento. Como la ciencia es demasiado amplia para ser estudiada y conocida desde una sola perspectiva se ha dividido en ramas (algunas relacionadas entre sí)” (Pág. 652).

Según el Súper Diccionario Ilustrado Color (2009), se define la *ciencia* como:

conjunto de conocimientos referentes a un determinado objeto que se tiende a organizar racional o sistemáticamente. Se divide en numerosas ramas o materias, cada una de las cuales tiene por objeto solo una parte de todo el saber adquirido a través de la experiencia y la investigación. Al mismo tiempo, la *ciencia* se relaciona con la *filosofía* en cuanto que de los principios por ella sustentados arrancan los distintos criterios sobre la ciencia en general, la crítica, la distinción y clasificación de las ciencias. De allí que exista una filosofía de la ciencia o *Epistemología* (Pág. 292).

En la Enciclopedia Temática Brújula (1998), encontramos una mirada de la *ciencia* que va más allá de una mera definición:

Nombres como los de Anaximandro, Tales, Epicuro, etc., se escriben en la historia de la ciencia por ser los primeros en alejarse de una explicación puramente religiosa de los fenómenos naturales. Sin embargo, el proceso iniciado por los griegos pasó desapercibido en la Edad Media y solo hasta finales de esta, la humanidad encontró un modo sistemático de preguntarse sobre el mundo. A dicho modo lo llamó *ciencia*, y como prototipo de esta el hombre encontró en la física el modelo por excelencia para entender el Universo perceptible. Pero la física no solo se limita a explicar los fenómenos naturales, con toda la importancia que estos tienen. También hace un

aporte fundamental al desarrollo de la cultura, porque con su idea de una naturaleza entendible y sujeta a leyes naturales que el hombre con el libre ejercicio de su razón puede abarcar y dominar, presenta una alternativa secular a las habituales explicaciones religiosas del Universo, en donde el hombre no es más que un objeto de los designios de una divinidad ininteligible e inexplicable (Pág.1).

Según Parra Escobar (2013):

Se entiende como *ciencia* todo 'esfuerzo organizado que tienda a un conocimiento' o más sencillamente, 'todo quehacer con el saber' cuando este saber es crítico o científico. Habría, sin embargo, dos sectores del saber científico no calificados como ciencia, que serían la Filosofía y la Técnica, los que por su carácter especial siguen mereciendo una consideración individual y separada, pese a que ambos son esfuerzos humanos dirigidos hacia la conquista de un conocimiento pero que no se realizan dentro de la misma atmósfera de rigor, de método y de verificabilidad en la que se cumple toda la investigación científica (Pág. 921).

Según Bunge (1983):

la *ciencia* es un estilo de pensamiento y de acción: precisamente el más reciente, el más universal y el más provechoso de todos los estilos. Como ante toda creación humana, tenemos que distinguir en la ciencia entre el trabajo-investigación y su producto final, el conocimiento (Pág. 19).

En el Diccionario de Filosofía de los Martínez Echeverri (1996), encontramos la siguiente definición acerca de la ciencia:

Sistema de conocimientos ordenados, que incluye una garantía de la propia validez o que se propone el grado máximo posible de certeza. Esta garantía puede consistir, en la demostración, o en la descripción, o en la corregibilidad, y el tipo de garantía que se utiliza es la que precisamente distingue las diferentes doctrinas sobre la *ciencia* (Pág.71).

En su Diccionario de Filosofía Ferrater Mora (2004), dice lo siguiente:

Es común considerar la ciencia como un modo de conocimiento que aspira a formular, mediante lenguajes rigurosos y apropiados –

en lo posible, con auxilio del lenguaje matemático-, leyes por medio de las cuales se rigen los fenómenos. Estas leyes son de diversos órdenes. Todas tienen, sin embargo, varios elementos en común: ser capaces de describir series de fenómenos; ser comprobables por medio de la observación de los hechos y de la experimentación; ser capaces de predecir –ya sea mediante predicción completa, ya mediante predicción estadística- acontecimientos futuros. La comprobación y la predicción no se efectúan siempre, por lo demás, de la misma manera, no solo en cada una de las ciencias, sino también en diversas esferas de la misma ciencia. En gran parte dependen del nivel de las correspondientes teorías. En general, puede decirse que una teoría científica más comprensiva obedece más fácilmente a requerimientos de naturaleza interna a la estructura de la propia teoría –simplicidad, armonía, coherencia, etcétera- que una teoría menos comprensiva “[...] La comprobación y precisión antedichas dependen asimismo de los métodos empleados los cuales son también diversos para cada ciencia y para partes diversas de la misma ciencia (Pág. 545).

Por último, y para no extendernos demasiado, revisemos estos párrafos de Russell (1975):

La filosofía se origina del esfuerzo inusitadamente obstinado por alcanzar el conocimiento verdadero. Lo que en nuestra vida ordinaria pasa por ser conocimiento padece de tres defectos: está demasiado seguro de sí mismo; es vago; es contradictorio. Existe además otra cualidad que deseamos para nuestro conocimiento, y es la comprensión: deseamos que el área del mismo abarque la mayor amplitud posible. Pero esto incumbe más a la ciencia que a la filosofía. Un individuo no es mejor filósofo porque conozca mayor número de hechos científicos; si es la filosofía lo que le interesa, serán los principios, los métodos y las concepciones generales lo que aprenderá de la ciencia. El trabajo del filósofo empieza, por decirlo así, donde acaban los toscos hechos. La ciencia los reúne en haces por medio de las leyes científicas; y son estas leyes, más que los hechos originales, las que constituyen la materia prima de la filosofía. Esta implica una crítica del conocimiento científico, no desde un punto de vista fundamental distinto del de la *ciencia*, sino desde un punto de vista menos interesado en la armonía del cuerpo total de las ciencias especiales.

Las ciencias especiales han nacido todas por el uso de las nociones derivadas del sentido común, tales como las cosas y sus cualidades, el tiempo y la causación. La misma ciencia ha venido a demostrar que ninguna de estas nociones del sentido común sirve por completo para explicar el mundo; pero apenas si puede considerarse cometido de ninguna de las ciencias especiales la necesaria reconstrucción de sus fundamentos. Esto es asunto que concierne a la filosofía (Págs.16-17).

Para Platón, la *ciencia* es por, su naturaleza, algo así como “un saber más válido que la recta opinión y difiere de ella por su conexión”.

Para Aristóteles, tal vez el primer científico de la historia, la *ciencia* es fundamentalmente conocimiento demostrativo que permite “conocer la causa de un objeto, esto es, conocer por qué el objeto no puede ser diferente de lo que es”.

Para Bergson, el hecho de que la *ciencia* tenga como órgano a la inteligencia hace que se detenga en las relaciones entre las cosas y las situaciones, y no en las cosas mismas; de esta forma reconoce el carácter convencional y económico de la ciencia.

Para Dewey, la tarea de la *ciencia* es la formulación de las leyes, que son, en esencia, la expresión de una relación; las relaciones son objeto de la investigación.

Para Cohen, lo esencial de la *ciencia* es que invita a la duda y, por tanto, es todo un *sistema auto correctivo*, que siempre estará buscando pruebas más adecuadas, pues de ninguna de sus pruebas se puede afirmar que es absolutamente cierta.

Peirce, para indicar que la *ciencia* no es infalible, que puede equivocarse, introduce el término *falibilismo* como algo inherente a todo el conocimiento humano.

Para Popper, la estructura de la *ciencia* se dirige hacia “la demostración de la falsedad de las proposiciones científicas” a las cuales califica como *prejuicios* toscos y prematuros. Según él, la exigencia de la objetividad científica hace inevitable que toda aserción científica sea siempre tan solo un intento.

Algunos grupos de científicos han intentado, durante el transcurrir del siglo xx, proporcionar definiciones muy valiosas de lo que es *ciencia* y a qué se dedica, pero generalmente, puede inferirse fácilmente que se trata del aporte de físicos, químicos y biólogos, con la posible colaboración de un epistemólogo. Algunos de tales aportes son:

Como un concepto general y logístico, la *ciencia* es la investigación metódica de las leyes naturales mediante la determinación y sistematización de las causas inherentes a un fenómeno o hecho determinado.

La *ciencia* es el conocimiento ordenado de los seres y sus propiedades mediante el estudio de sus causas. El saber científico pretende entenderlas porque de esa manera es más razonable comprender sus efectos. Se caracteriza por su metodología ordenada, su carácter sistémico y su posible inmediatez.

La *ciencia* es un conjunto de conceptos y propiedades que convergen en un objeto de investigación, y que contiene datos experimentales, explicaciones, principios generales y demostraciones acerca de dicho objeto. Es descriptiva y explicativa porque investiga lo que las cosas son, cómo actúan, cómo se relacionan, cuándo, dónde, cómo y por qué.

Las *ciencias* pretenden establecer leyes basadas en conceptos generales, en las características en común de las cosas y en lo que se repite en los fenómenos.

El gran motor de la ciencia es el deseo de explicaciones sistemáticas y controlables por la evidencia empírica. El propósito distintivo de la ciencia es el descubrimiento y la formulación, en términos generales, de las condiciones en las cuales ocurren sucesos o fenómenos de distintas clases y las proporciones generalizadas de tales condiciones determinantes que sirven como explicaciones de los sucesos correspondientes.

Hasta ahora, simplemente se ha hecho un pequeño recorrido en la búsqueda de una posible definición, suficientemente general y precisa de lo que es *ciencia*. Se intentó encontrarla en fuentes muy básicas (las enciclopedias) como en obras más estructuradas (diccionarios de filosofía) e, incluso, en libros de filosofía y de investigación científica. La conclusión podría ser que no es sencillo llegar a una definición simple y

universal, razón por la cual no nos vamos a empeñar en ello. Tal vez sea más interesante encontrar y señalar el conjunto de elementos que son recurrentes en las definiciones, los aportes individuales que dan claridad sobre la esencia de la ciencia y, por último, su conexión íntima con la filosofía. En ese orden de ideas podemos clasificar la información contenida en las citas anteriormente mencionadas en cuatro categorías, así:

1. Definición básica.
2. Propiedades.
3. Finalidad.
4. Relación con la filosofía.

Desde el punto de vista de una posible definición de lo que es *ciencia* encontramos lo siguiente:

- La ciencia es un saber más válido que la recta opinión y difiere de ella por su conexión.
- La ciencia es fundamentalmente conocimiento demostrativo.
- La ciencia es el conocimiento que se deriva de la experiencia humana directamente verificable.
- La ciencia es el conocimiento ordenado de los seres y sus propiedades, por medio de sus causas.
- La ciencia es la investigación de las leyes naturales por la determinación y sistematización de las causas de un fenómeno o hecho determinado.
- La ciencia es un cuerpo de doctrina metódicamente constituido y ordenado.
- La ciencia es descriptiva y explicativa porque investiga lo que las cosas son, cómo actúan, cómo se relacionan, cuándo, dónde y por qué.
- La ciencia es un conjunto de conocimientos referentes a un determinado objeto que se tiende a organizar racional o sistemáticamente.
- La ciencia es un conjunto de conceptos y propiedades que convergen en un objeto científico, y que contiene datos, explicaciones, principios generales y demostraciones acerca de dicho objeto.
- La ciencia es una forma de conocimiento que empleando lenguajes apropiados y rigurosos formula las leyes que rigen los fenómenos.

- La ciencia es un sistema de conocimientos ordenados, que incluye una garantía de la propia validez o que se propone el grado máximo posible de certeza.
- Al modo sistemático de preguntarse sobre el mundo en la Edad Media se le llamó ciencia.
- Se entiende como ciencia todo esfuerzo organizado que tienda a un conocimiento.
- Se entiende por ciencia todo el quehacer con el saber cuando este saber es crítico o científico.
- La ciencia es un modo de conocimiento que aspira a formular, mediante lenguajes rigurosos y apropiados, leyes por medio de las cuales se rigen los fenómenos.
- La ciencia es un estilo de pensamiento y de acción; precisamente el más reciente, el más universal y el más provechoso de todos los estilos.

Desde el punto de vista de las propiedades que se le atribuyen a la *ciencia* están las siguientes:

- La ciencia permite la subdivisión del saber humano en ramas particulares (ciencias).
- Las ramas del saber se denominan ciencias porque presentan un conocimiento sistemático de algún aspecto del mundo material basado en la observación y en el razonamiento.
- Las ciencias especiales han nacido todas por el uso de las nociones derivadas del sentido común, tales como las cosas y sus cualidades, el tiempo y la causación.
- La ciencia se basa en la observación directa de la naturaleza que nos circunda.
- El gran motor de la ciencia es el deseo de explicaciones sistemáticas y controlables por la evidencia empírica.
- El dominio de la ciencia se limita a todo lo que puede ser observado directa o indirectamente.
- Todas las observaciones científicas deben ser repetibles y sujetas a experimentación.
- Una teoría científica solo puede valorarse mediante una verificación experimental.
- El conocimiento científico debe ser comprensible.

- La ciencia se detiene en las relaciones entre las cosas y las situaciones, y no en las cosas mismas.
- La ciencia no es infalible.
- Las leyes derivadas de la ciencia son de diferentes órdenes pero tienen elementos comunes:
  - A. Ser capaces de describir series de fenómenos.
  - B. Ser comprobables por medio de la observación de los hechos y de la experimentación.
  - C. Ser capaces de predecir acontecimientos futuros.
  - D. La comprobación y precisión dependen de los métodos empleados, los cuales son diversos para cada ciencia y para partes diversas de la misma ciencia.

Desde el punto de vista de la finalidad de la *ciencia* se puede llegar al siguiente resumen:

- Un fin de la ciencia es obtener un conocimiento cierto de las cosas a través de sus principios y causas.
- El propósito distintivo de la ciencia es el descubrimiento y la formulación, en términos generales, de las condiciones en las cuales ocurren sucesos de diversas clases y las proposiciones generalizadas de tales condiciones determinantes que sirven como explicaciones de los sucesos correspondientes.
- El saber científico pretende entender las propiedades de los seres porque de esa manera es más razonable comprender sus efectos.
- Cada rama de la ciencia tiene por objeto solo una parte de todo el saber adquirido a través de la experiencia y la investigación.
- La ciencia permite conocer la causa de un objeto, esto es, conocer por qué el objeto no puede ser diferente de lo que es.
- La misma ciencia ha demostrado que ninguna de las nociones del sentido común sirve por completo para explicar el mundo.
- La tarea de la ciencia es la formulación, que es, en esencia, la expresión de una relación.
- La ciencia invita a la duda y, por tanto, es todo un sistema auto correctivo. De ninguna de sus pruebas se puede afirmar que es absolutamente cierta.
- La estructura de la ciencia se dirige hacia la demostración de la falsedad de las proposiciones científicas.

- Hay que distinguir en la ciencia entre el trabajo-investigación y el conocimiento.

Desde el punto de vista de la relación entre la filosofía y la *ciencia* se llega al siguiente resumen:

- La filosofía pretende alcanzar el conocimiento verdadero.
- Los primeros filósofos griegos (naturalistas) fueron los primeros en alejarse de una explicación puramente religiosa de los fenómenos naturales.
- La ciencia se relaciona con la filosofía en cuanto que de los principios por ella sustentados arrancan los distintos criterios sobre la ciencia en general, la crítica, la distinción y clasificación de las ciencias.
- La filosofía y la técnica no son ciencias.

Es claro que el ejercicio que se acaba de realizar de convertir un conjunto de párrafos sueltos, aunque referidos a la misma idea central, en un listado relativamente ordenado de conceptos acerca de la *ciencia* no constituye, en modo alguno, una definición de esta. No obstante, nos aporta un cierto número de elementos que nos permite entender lo que *es* ciencia, haciendo uso de toda nuestra imaginación, claro está. Incluso, hasta podríamos arriesgarnos a una definición propia:

La ciencia es el conjunto de conocimientos heterogéneos, sistémicos y verificables, obtenidos bajo investigación rigurosa, que dan origen a la formulación de las leyes y teorías razonables que explican los fenómenos que ocurren en el universo. La difusión de tal conocimiento requiere lenguajes adecuados (generalmente matemáticos) y su validez tiene que estar respaldada por una comunidad científica.

# 3.

## Clasificación de la Ciencia

La clasificación de las ciencias como hoy las entendemos es un hecho relativamente reciente en la historia del conocimiento, puesto que también lo es el reconocimiento generalizado de algunas ciencias particulares. No obstante, los filósofos griegos manifestaron desde una edad temprana su preocupación por la clasificación del conocimiento. Visto así, tal clasificación, y luego la de las ciencias, ha preocupado más a los filósofos que a los científicos. Así las cosas, las ciencias se han clasificado a través del tiempo de muchas maneras y, lo que es todavía mejor, se seguirán clasificando una y otra vez por siempre. Pero para que las clasificaciones sean razonables, deben tenerse en cuenta algunos criterios muy definidos que permitan mirarlas integralmente, por ejemplo:

- Su objeto.
- Su aplicación.
- Su intención.
- Su alcance.
- Su origen.
- Sus métodos.
- Su abstracción.
- Las facultades.
- Su utilidad.

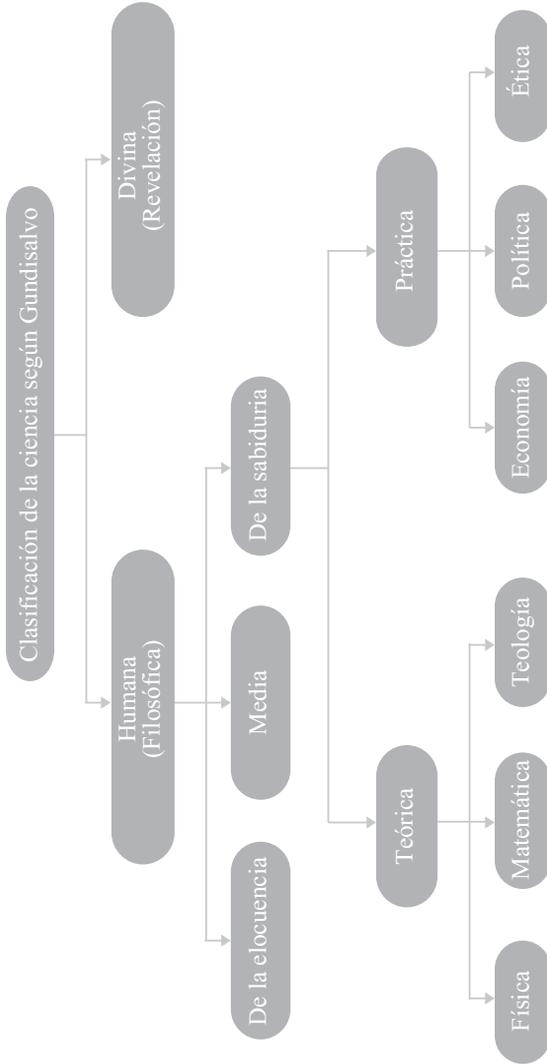
La primera, y más básica, división de los saberes la estableció Platón al distinguir entre la *opinión* y el *saber* propiamente dicho. Su discípulo

Aristóteles fue más lejos y clasificó el conocimiento (o saberes) en *teórico*, *práctico* y *poético* (o productivo). El objeto de los saberes teóricos es la verdad; el de los saberes prácticos, la acción encaminada a un fin; el de los saberes poéticos, un objeto exterior producido por un agente.

La clasificación que los estoicos le dieron a la filosofía, y con ello al conocimiento, y con la que hasta Kant estuvo de acuerdo, fue: *lógica*, *física* y *ética*.

La clasificación de Avicena, muy utilizada en la Baja Edad Media, dividió las ciencias en *especulativas* y *prácticas*. A su vez, las primeras las subdividió en ciencia superior (metafísica, filosofía primera o ciencia divina), ciencia media (matemática) y ciencia ínfima (física).

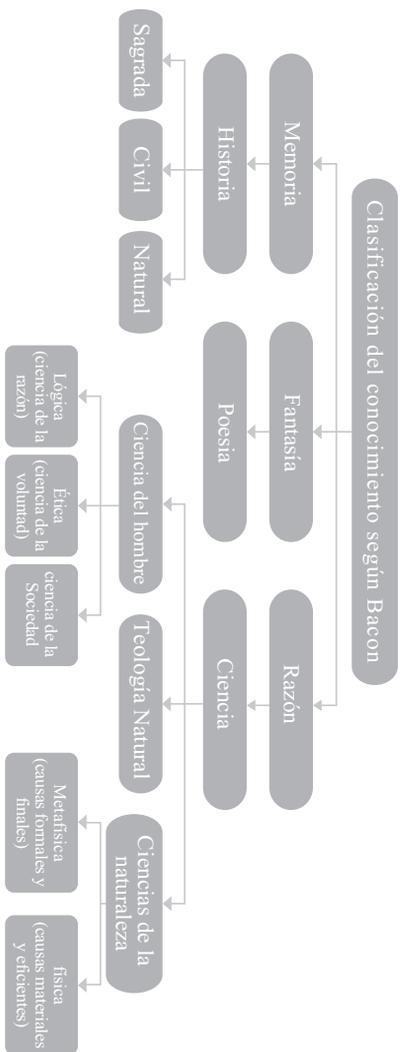
Domingo Gundisalvo dividió las ciencias en *ciencia humana* o filosófica y *ciencia divina* o de la revelación. La ciencia humana se subdividía en ciencia de la *elocuencia*, ciencia *media* y ciencia de la *sabiduría*. Esta última tenía dos aspectos: la filosofía teórica y la filosofía práctica. La filosofía teórica era subdividida en física, matemática y teología o filosofía primera. La filosofía práctica era subdividida en política (o arte del gobierno civil), economía (o arte del gobierno familiar) y ética. Todo esto queda representado, posiblemente, en el cuadro 1:



**Cuadro 1**

**Fuente:** elaboración propia con colaboración de Luis Reinel Castrillón Osorio.

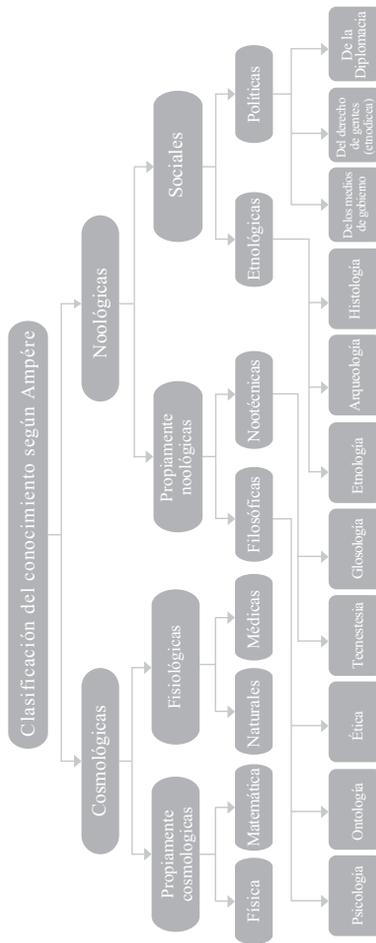
Dentro de muchas otras clasificaciones del conocimiento, en los comienzos de la Edad Moderna se destacó la de Francis Bacon, la cual se realizó teniendo en cuenta algunas de las facultades humanas. Se resumirán en el cuadro 2:



**Cuadro 2**

Fuente: elaboración propia con colaboración de Luis Reinel Casrillón Osorio.

La clasificación que Ampère hace de las ciencias es muy interesante, pero de entrada nos presenta dos problemas: lo que él entiende por cosmología y lo que entiende por *noología*. Al no tener certeza de ello, nos limitaremos a decir que la cosmología es el nombre que se le asigna a toda teoría o doctrina general que trata acerca del mundo o cosmos en su totalidad. Por otro lado, diremos que la noología es algo así como la ciencia de los principios (supremos), preferiblemente los relacionados con el conocimiento de la realidad. Dicho lo anterior, la clasificación propuesta por Ampère queda resumida en el cuadro 3:



**Cuadro 3**

**Fuente:** elaboración propia con colaboración de Luis Reinel Castrillón Osorio.

Dilthey, como buen filósofo, marcó la diferencia fundamental entre las ciencias que intentan conocer causalmente el objeto que permanece externo (las llamó ciencias naturales) y las que están dirigidas a comprender al sujeto (hombre) o ciencias del espíritu.

Comte clasificó las ciencias naturales en *abstractas* y *concretas* según estuvieran dirigidas a descubrir las leyes que regulan las diversas clases de fenómenos, o bien, consistieran en la aplicación de dichas leyes a la historia efectiva de los seres que existen. Spencer complementó esta clasificación resumiéndola de la siguiente manera: las ciencias *abstractas* dan cuenta de la lógica formal y de la matemática; las ciencias *abstracto-concretas* abarcan la física, la química y la mecánica; las ciencias *concretas* abarcan la psicología, la sociología, la biología, la astronomía, la geología y la mineralogía.

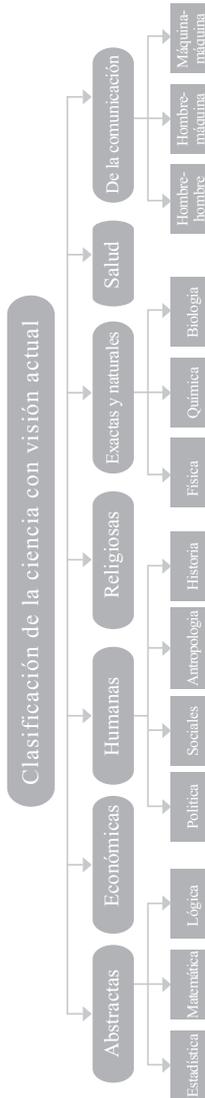
Engels clasifica las ciencias en tres grupos básicos: ciencias de la naturaleza, ciencias sociales y ciencias del pensar. El primer grupo incluye la mecánica, la física, la química y la biología; el segundo la historia y la antropología; el tercero la matemática, la lógica y otras disciplinas similares.

Para Wundt la clasificación de las ciencias se reduce a: *formales*, como la lógica y la matemática y *reales*, como las ciencias de la naturaleza y del espíritu.

Se podría agregar un número enorme de clasificaciones de las ciencias, pero ello no aportaría mucho dada la siguiente reflexión de Ferrater Mora (2004):

un rasgo común a todas las clasificaciones de la ciencia es su caducidad. Ello es comprensible: las ciencias están continuamente en formación; ciertos territorios límites dan lugar con frecuencia a ciencias nuevas; ciertas ciencias pueden insertarse en dos o más casilleros, etcétera. Ahora bien, tales inconvenientes no significan que las clasificaciones en cuestión sean inútiles; representan esfuerzos para sistematizar y ordenar cuerpos dispersos de conocimiento, luego pueden aceptarse siempre que quienes las propongan tengan presentes dos límites inevitables: el primero es su inagotabilidad; el segundo, su provisionalidad (Pág. 556).

Haciendo una consulta rigurosa podemos encontrar cientos de clasificaciones de la ciencia. No obstante, según se deduce del párrafo anterior, ninguna sería la *mejor*, porque no encontraríamos la que esté orientada bajo los lineamientos de la presente cartilla. Por tanto, humildemente construiremos una que nos ayude a llegar a nuestro destino (Ver cuadro 4).



**Cuadro 4**

**Fuente:** elaboración propia con colaboración de Luis Reinel Castrillón Osorio.



# 4.

## El conocimiento

El problema del conocimiento es casi tan antiguo como la humanidad misma. Es decir, el hombre lleva implícito, en su intento por la supervivencia, la necesidad de aprender. Son los objetos de aprendizaje los que van cambiando a través del tiempo, la geografía y la cultura, entre otros.

Es obvio que uno de los primeros *aprendizajes* significativos fue la capacidad de reconocerse y reconocer a sus congéneres. Ello permitió la creación de clanes y formas muy básicas de *sociedades*. Pero es en el seno de tales sociedades o comunidades en donde realmente se desarrolló el verdadero conocimiento. Vale decir que el *conocimiento* como tal es una construcción colectiva, así se alimenta de aportes individuales. El concepto de piedra, de árbol o de río solo queda validado cuando la mayoría de los miembros de esa comunidad entran en contacto con estos objetos y, eventualmente, se ponen de acuerdo en denominarlos con esos nombres. Podría decirse que el hombre aislado produce pensamientos, pero es necesario el aporte y crítica de la sociedad para que tales pensamientos se conviertan en conocimiento. La inmensa mayoría de nuestros pensamientos a través de nuestra vida son desechados por nuestra sociedad porque no los encuentra válidos, interesantes, aplicables, útiles, ciertos o por cualquier otro motivo. Queda entonces claro que pensamiento y conocimiento no son sinónimos.

El tema del conocimiento ha despertado curiosidad y controversia a través de la historia del hombre inteligente. Pero no podemos regresar tan atrás y acerquémonos a los griegos del período de oro de la Grecia Clásica (aproximadamente siglos VI al IV a.C.). Desde la aparición de las primeras escuelas filosóficas, el tema del *conocimiento* ha suscitado grandes polémicas, dado que las preguntas que se hicieron acerca de este parecían simples, pero resultaron no serlo:

- ¿Quién conoce?
- ¿Cómo se conoce?
- ¿Qué es susceptible de ser conocido?
- ¿Todo lo que existe es conocible?
- ¿Qué se requiere para poder conocer algo?
- ¿Adquirimos conocimiento de lo que queremos *conocer* siempre de la misma manera?
- ¿Influyen mi conocimiento anterior y mis prejuicios en la adquisición de nuevo conocimiento?
- ¿Existe una manera única de conocer?
- ¿Quién o qué garantiza que lo que creo conocer es cierto?

Y así, la lista de preguntas se hizo demasiado extensa. No es extraño entonces que estos escrupulosos filósofos griegos llegaran a la conclusión de que debía existir una rama de la filosofía que se ocupara de encontrar respuestas a las mencionadas preguntas y otras similares. Este fue el principio de la *Gnoseología*.

Muchos filósofos, desde la lejana Grecia Clásica hasta nuestros días, se han planteado el *problema del conocimiento* como eje central de su quehacer filosófico, es decir, su objeto de estudio. Para muchos, el conocimiento era algo así como *tener consciencia* de que algo existe definido a través de sus atributos: podemos saber que lo que está al frente es un burro por su forma, tamaño, color, su rebuzno y hasta por su olor. El problema que esto plantea es que tales atributos solo son perceptibles por medio de los sentidos. Así las cosas, cabe preguntarse si el *conocimiento* de burro que tiene un ciego coincide con el de un sordo o con el de una persona que tiene intactos todos sus sentidos. Para colmo de males, es muy posible que el burro tenga un conjunto de atributos que no son fácilmente detectados por los sentidos, por ejemplo, gran

sentido de orientación, detección precoz del peligro, gran capacidad de carga, capacidad de cruce con otras especies, terquedad, etcétera. Así las cosas, cabe preguntarse, ¿qué tanto sabemos del burro y, más aún, si lo podemos saber *todo*. ¿Será que alguien (el más experto burrólogo) lo sabe todo?

No es la intención de esta breve cartilla realizar un estudio juicioso, ni siquiera somero, acerca del *conocimiento*. La única intención es mostrar que no es simple definirlo, máxime si cambiamos el objeto de aprendizaje y ahora no es un burro sino un sentimiento. ¿Cómo describir, por ejemplo, de manera “precisa” el amor de acuerdo con sus atributos, si estos no pertenecen al mundo de los sentidos? Lo más probable es que existan tantas definiciones diferentes de amor como intentos realizados para lograrlo. Indudablemente, ponerse de acuerdo con una posible definición universal del amor es imposible dado que en cada individuo intervienen parámetros culturales, familiares, históricos, filosóficos, religiosos, etcétera. Una discusión juiciosa sobre el tema les corresponde a ustedes, amables lectores, como tarea.



# 5.

## El conocimiento científico

A través del tiempo el hombre ha ido aprendiendo cosas que le han facilitado su supervivencia. Por ejemplo, en una fase temprana de su evolución social aprendió a pescar, a cazar, a recoger frutos. Luego aprendió a fabricar recipientes y, como consecuencia directa, pudo cocinar y almacenar alimentos. Más tarde aprendió a sembrar y a domesticar animales, lo cual le permitió pasar de una vida nómada a una sedentaria. Cuando la población fue creciendo, y con ello las necesidades básicas, el hombre se acerca a la primera actividad científica: *contar*, pero ello implica primero el concepto de *unidad*. Se habló entonces de una manzana, un perro, un burro, una piedra, una vasija, etc. Todo lo anterior, aunque diferente, tiene en común una cosa: el hecho de ser *uno* (no dos ni tres). Este concepto de uno constituye claramente una realidad metafísica, dado que solo existe en la mente, pero sirve para *asociar* objetos y cantidades del mundo físico (el perceptible por los sentidos). Dar el nombre de *dos* a la reunión de una unidad con otra unidad, de *tres* a la agrupación de una unidad con otra unidad y con otra unidad (o de dos unidades con otra unidad), y así sucesivamente, permitió llegar al concepto más elaborado de *cantidad*, realidad metafísica que agrupa varias unidades, o por lo menos una (el concepto de cero como un número es completamente tardío en la historia de la matemática y nos ocuparemos de ello más tarde). Es posible que el proceso que se acaba de describir fuese a la inversa, es decir, primero se tuvo la noción de cantidad y luego la de número. Para el objeto de esta cartilla lo verdaderamente importante es que el hombre asoció objetos, cantidades y números.

## 5.1 La Matemática

*Contar* es la operación matemática más básica, pero también la más importante, como veremos. Sumar no es otra cosa que un atajo para contar hacia “arriba” más rápido. Restar no es otra cosa que contar hacia “abajo” más rápido. Multiplicar no es otra cosa que sumar de manera abreviada. La división es otra cosa, ya no es una cuenta sino una *partición*, el segundo concepto matemático más simple y también el segundo en importancia.

Si bien el concepto de número nació como una necesidad de asociar objetos con cantidades, es decir, nació como un *cuantificador*, pronto se le encontró otra aplicación: discriminador de prioridad o *cualificador*. Para una pareja que tenía cuatro hijos y los quería presentar en orden de nacimiento, dado que tampoco existían los conceptos lógicos “mayor que” y “menor que”, ello constituía una gran dificultad. La única opción oral razonable era: este nació, después este, luego este y después este. Hoy lo diríamos de una manera más simple y precisa: este es el primero, este el segundo, este otro el tercero y este el cuarto. Es decir, realizamos una nueva y adicional conceptualización del número uno (1): ahora queremos que signifique *primero*. El número dos (2) queremos que signifique *segundo*. El número tres (3) queremos que signifique *tercero*. El número cuatro (4) queremos que signifique *cuarto*. Así sucesivamente. Ahora los números también sirven para *ordenar*.

Pronto, los números adquieren una gran importancia en el desarrollo social y nace una rama de la Matemática denominada *Teoría de Números*. Ella se encarga de estudiar los diferentes sistemas numéricos (naturales, enteros, racionales, reales, complejos, etc.), sus propiedades y el conjunto de operaciones que es posible realizar en el dominio de cada uno de los sistemas conocidos. El número de operaciones que es posible implementar en los diferentes sistemas numéricos fue aumentando significativamente, aunque algunas con restricciones (como la resta y la división); tal es el caso de la potenciación ( $a^n$ ), mediante la cual al número  $a$  lo multiplico por sí mismo  $n$  veces, o la radicación ( $a^{1/n}$ ), por medio de la cual al número  $a$  se le extrae la raíz enésima. La potenciación es una multiplicación abreviada y la radicación una división también abreviada.

Mencionamos en el ejemplo de la pareja con cuatro hijos la dificultad que enfrentaron cuando intentaron presentar a sus hijos en un determinado orden (de mayor a menor). La dificultad se debió a la inexistencia (en ese momento) de un conjunto de criterios (ideas) que les permitieran realizar *comparaciones*. Después de contar, partir y ordenar, realizar comparaciones se tornó muy necesario. Poder decir que un árbol era más alto que otro, que una piedra era más pesada que otra, que una fruta era más dulce que otra, que un río era más estrecho que otro, que una colina era menos elevada que otra, que un gemelo era igual al otro requiere ejecutar una operación muy diferente a contar, partir u ordenar. Si quiero comparar dos árboles en particular (“elementos”) dentro de una arboleda (“conjunto”) se requiere conocer los conceptos “mayor que”, “menor que”, “igual a”; con ellos puedo realizar un número importante de comparaciones, pero no todas. Serán necesarios otros conceptos como “adentro”, “afuera”, “incluido”, “excluido”, “subconjunto”, “verdadero”, “falso”, “unión”, “intersección”, “nulo”, “contenido en” y muchos más. Todos estos conceptos y las operaciones que podemos realizar con ellos son bastante abstractos (solo existen en nuestra mente) y nos permiten construir una rama de la Matemática que se llama *Lógica*. Hoy en día, dicha lógica ha evolucionado a un grado de abstracción tal que solo se hace comprensible para un número limitado de personas con mentes muy entrenadas.

Otra rama muy antigua de la Matemática es la *Aritmética*. Ella arrastra todos los conceptos básicos de la Teoría de Números y algunos de la Lógica, pero introduce conceptos nuevos como “razón”, “proporción”, “regla de tres”, “igualdad”, “algoritmo”, “recta numérica”, etcétera. Es, tal vez, la rama de la Matemática con la cual estamos más familiarizados.

Casi simultáneamente con la Teoría de Números y con la Aritmética apareció la *Geometría*, otra rama de la Matemática con la cual estamos algo familiarizados. Conceptos como “punto”, “línea”, “distancia”, “recta”, “curva”, “ángulo”, “perímetro”, “área”, “volumen” y muchísimos más nos resultan necesarios para describir nuestra vida cotidiana, dando por seguro que también lo fueron para aquellas primeras civilizaciones que sentaron las bases de las ya mencionadas ramas de la Matemática. La evolución de la Geometría ha sido bien interesante. De la geometría euclidiana (llamada así en honor al gran geómetra Euclides) en un plano (dos dimensiones) se pasó a la geometría euclidiana espa-

cial (tres dimensiones), luego a la *Geometría Analítica* y a la *Geometría Vectorial* y, mucho más recientemente a las geometrías no euclídeas. Una parte especial de la Geometría la constituye la *Trigonometría*, rama esta que solo alcanza su independencia a partir del siglo XVI.

También es antigua otra rama de la Matemática denominada Álgebra. Con ayuda de la Teoría de Números estudiamos las operaciones con “polinomios”, incluida la “factorización”; el concepto de “función” que es tardío en el desarrollo de la Matemática (se introdujo en el siglo XVII); las funciones especiales como la exponencial, el logaritmo, el valor absoluto; los conceptos de “ecuación” e “inecuación” y sus métodos de solución; métodos para graficar funciones y muchos temas más. En asocio con la Geometría Vectorial se crea el Álgebra de Matrices.

El conjunto de la Teoría de Números, la Lógica, la Aritmética, la Geometría, la Geometría Vectorial, Geometría Analítica, la Trigonometría, el Álgebra y el Álgebra de Matrices es considerado por algunos matemáticos como la *Matemática Básica*. Pero el continuo desarrollo científico, y muy particularmente el de la Física, ha creado la necesidad de nuevas herramientas matemáticas que permitan modelar los nuevos fenómenos que se han ido descubriendo y las leyes que los rigen.

Si bien el mismo Arquímedes había hecho interesantes reflexiones acerca de las cantidades muy pequeñas, las tangentes de muchas curvas y las áreas (y volúmenes) formadas por la intersección de dos cuerpos, se requirió el talento de un Newton y un Leibniz para que desarrollaran como una disciplina matemática aparte el *Cálculo Integro-diferencial*, si bien en él podemos reconocer grandes aportes de la Matemática Básica, y en especial los de Fermat. Ahora, los sistemas que varían en el tiempo (sistemas dinámicos) pueden plantearse y resolverse fácilmente con el apoyo de este Cálculo y de otra herramienta derivada de él, conocida con el nombre de *Ecuaciones Diferenciales*. Uno de los matemáticos más importante que ha existido, Euler, tomó el cálculo diferencial y el método de fluxiones, que había empleado Newton, y otros más y los convirtió en parte de una rama más general de la Matemática, que desde siempre se ha conocido como *Análisis* (o el estudio de procesos infinitos). A veces, la solución de un sistema dinámico en el dominio del tiempo se vuelve muy tedioso y hasta engorroso; entonces, para

facilitar la solución se plantea la posibilidad de cambiar de dominio, por ejemplo, pasar del tiempo a la frecuencia (o viceversa) empleando una nueva herramienta llamada *Transformada* (o transformación). Las transformadas de Laplace, de Fourier, la Kalman, la Wavelet, la Z y otras más tienen gran aplicación en la solución de problemas de ingeniería. Para facilitar el manejo de variaciones en cantidades vectoriales se creó el *Cálculo Vectorial* (y el *Tensorial*). Una vez la Teoría de Números y el Álgebra crearon una plataforma amplia de trabajo con los números complejos, se hizo necesario poseer una herramienta adecuada para operar ampliamente con tales números, nace entonces la llamada *Variable Compleja*.

Desde que el hombre primitivo tuvo oportunidad de pensar en forma pausada y ordenada acerca del mundo que lo rodeaba, y de los fenómenos que allí ocurrían, descubrió que algunos eventos ocurrían siempre y otros de vez en cuando (o simplemente no siempre). Por ejemplo, todos los días sale el Sol pero no todos los días llueve; todos los días siento hambre pero no todos los días encuentro alimento; todo parto implica el nacimiento de (por lo menos) un niño pero no siempre nace vivo. Es decir, algunos eventos eran *seguros* mientras que otros solo eran *probables*. No es extraño entonces que se desarrollara una rama de la Matemática que se interesara por lo probable y, más aún, tratara de determinar el valor de la probabilidad. De esto se ocupa la *Teoría de la Probabilidad*. Más adelante, y con la ayuda de la Lógica y otras herramientas, nace una nueva disciplina que intenta analizar el comportamiento de un conjunto de datos, provenientes de un mismo tipo de actividad, que tienen el carácter de probables; tal disciplina o rama de la Matemática es la *Estadística*.

El conjunto formado por el Cálculo Integro-diferencial, el Análisis, las Ecuaciones Diferenciales, el Cálculo Vectorial, el Cálculo Tensorial, Las Transformadas de Laplace y de Fourier (y otras), la Variable Compleja, la Teoría de la Probabilidad y la Estadística conforman la Matemática Media.

A partir de las dos últimas décadas del siglo XVIII la Matemática ha evolucionado de una manera vertiginosa. En parte, porque el desarrollo de las ciencias exactas y naturales necesitaba nuevas herramientas ma-

temáticas para modelar los fenómenos que se iban descubriendo y, en parte también, a la independencia que estaba logrando la Matemática para plantearse y trabajar sus propios paradigmas sin preocuparse por la utilidad. Atrás quedaron los días en los cuales los matemáticos también eran excelentes físicos, químicos o filósofos. Producto de esta libertad en el pensar matemático se crearon un número muy importante de nuevas geometrías, nuevas álgebras, nuevos cálculos, nuevas lógicas, nuevos análisis, nuevas teorías y hasta una *Topología* y una *Física Matemática*. Al conjunto de todas estas nuevas herramientas lo conocemos con el nombre genérico de *Matemática Superior*.

Mencionar todos los matemáticos, que a través del tiempo han hecho contribuciones importantes a la Matemática es imposible, porque el aporte de muchos de ellos quedó anónimo. Sin embargo, y tomando como fuente el libro de Boyer y Merzbach *A History of Mathematics* (1991) (todo un clásico), se listarán solo algunos y la rama de la Matemática a la que más le aportaron (aunque muchos de ellos le aportaron a varias). Ver Anexo 1.

## 5.2 La Física

La Física, como intento de conocer la Naturaleza, es tan antigua como el hombre; como conjunto de teorías, modelos y métodos es relativamente moderna; como ciencia puede decirse que nace con Galileo Galilei (1564-1642), se fortalece con la contribución genial de Isaac Newton (1642-1727), quien logra dar forma matemática a las relaciones entre el movimiento y sus causas, el comportamiento de la luz y los fenómenos derivados; amplía sus horizontes en el siglo XVIII con el estudio del calor y en el XIX con el estudio del electromagnetismo, cerrando así lo que hoy se denomina *Física Clásica*. A partir del siglo XX, con la Teoría de la Relatividad de Albert Einstein y la Mecánica Cuántica de Max Planck, se abren las puertas para el estudio de la estructura atómica, los fenómenos de radiación (tanto natural como inducida), la fusión y fisión nuclear, la astrofísica y muchos otros. Todos estos temas son objetos de estudio de la llamada *Física Moderna*.

Los babilónicos, y mejor aún los egipcios, se especializaron en mover a distancias considerables grandes cantidades de agua, a través de

canales, para el riego de sus sembrados. Pero este conocimiento, que se fue perfeccionando a través del paso del tiempo, no constituía ciencia alguna, era solo arte, pues se desconocían por completo las leyes de la hidráulica. Fueron los conocimientos de Arquímedes (la fusión de los conocimientos físicos con los matemáticos) los que permitieron desarrollar la rama de la Física conocida como *Mecánica de los Fluidos*.

Con el entendimiento de las distintas formas de equilibrio (estable, inestable e indiferente); con el concepto de palanca y punto de apoyo, con los conceptos de movimiento, velocidad y desplazamiento; con los conceptos de piñón y de engranaje, con el desarrollo de inventos geniales como el tornillo sin fin y, además, con valiosa información que extrajo de la gran biblioteca de Alejandría en su fugaz paso por ella, también Arquímedes sentó las bases para el desarrollo de otra importantísima rama de la Física: la *Mecánica de los Sólidos*.

El aporte del conocimiento astronómico (todo lo relativo al comportamiento de los cuerpos celestes) adquirido por las diferentes culturas mesopotámicas, los egipcios, los griegos, los hindúes y los chinos, principalmente, y el trabajo clasificatorio del mismo, más el enorme aporte personal realizado por Claudio Ptolomeo, determinan el inicio de la rama de la Física conocida como *Mecánica Celeste*. Copérnico, Galilei, Kepler y Newton se encargarán de encumbrarla.

El estudio de la luz pensada como conjuntos de rayos (no como ondas, que es demasiado posterior) es antiquísimo. Casi la totalidad de las culturas que han existido, por sencillas que hubiesen sido, han dejado evidencia de su interés por los fenómenos luminosos a los cuales les atribuyeron diferentes causas. El arco iris, los arboles, las fases de la Luna, los eclipses, etcétera, son fenómenos fácilmente observables que nunca han pasado desapercibidos. Pero fueron los fenicios, con la invención del vidrio, los que permitieron que aparecieran las lentes (planas, cóncavas, convexas, convergentes, divergentes, etcétera) cuyo uso fue llevando poco a poco a la consolidación de otra rama de la Física llamada Óptica. Arquímedes también le aportó mucho. Comprender la naturaleza del color fue bastante tardío.

El *calor* ha preocupado a la humanidad desde sus inicios. En una fase muy primaria de la reflexión acerca del mismo, calor era lo opuesto al

*frío*. Los hombres y los animales tenían la capacidad de adaptarse al uno y al otro, pero dentro de ciertos rangos. El uso del vestido no es más que una respuesta para protegerse del frío. En los albores de la humanidad los conceptos de calor y frío estaban íntimamente ligados al clima. El advenimiento del fuego permitió muchas cosas: alumbrar de noche, cocer los alimentos, fundir metales, calentar el ambiente, entre otros. Poco a poco, el fuego y el calor se interrelacionaron más hasta ver en el segundo una consecuencia del primero. Tendrían que transcurrir millares de años antes de que el hombre entendiera realmente qué tipo de fenómeno es el fuego, qué tipo de fenómeno es el calor y qué tipo de fenómeno es la temperatura. Responder preguntas como: ¿qué es el calor?, ¿cómo se propaga?, ¿de qué depende?, ¿cómo clasificarlo?, ¿cómo medirlo?, ¿cómo afecta a los distintos materiales?, entre otras, requirieron la llegada de unos pocos físicos y químicos muy intuitivos a lo largo del siglo XVIII. La rama de la Física que estudia el calor y todos sus concomitantes se llama *Termodinámica*, y es absolutamente tardía en la evolución del pensamiento científico. Resulta algo complicado entender que el calor no es otra cosa que una manifestación de la energía, entre otras razones porque el mismo concepto de energía no es del todo simple.

Los fenómenos ondulatorios no pasaron desapercibidos para el hombre primitivo. Cuando amarraban una sogá a un árbol y perturbaban el extremo libre, la longitud de la sogá adquiría una forma caracterizada por la presencia de oscilaciones con puntos altos (máximos) y con puntos bajos (mínimos), por lo menos durante cierto intervalo de tiempo. Claramente, esta respuesta caprichosa de la sogá al estímulo inicial es un buen ejemplo de una *onda mecánica*. Si en una ponchera con agua reposada se deja caer un objeto pequeño (por ejemplo, una moneda), la masa de agua se perturba y presenta en su superficie un *frente de onda circular*. Este es otro ejemplo de onda mecánica. Una característica muy importante de tales ondas es que pueden verse si el medio en el cual se propagan es visible. Lo que llamamos *sonido* no es otra cosa que la generación, propagación y recepción de ondas sonoras (también mecánicas) que viajan a través del espacio, pero no las vemos porque el aire es invisible. Si en el camino de propagación de la onda (trayectoria) se colocan obstáculos, pueden presentarse fenómenos como reflexión, refracción, interferencia, etcétera. La rama de la Física que estudia el comportamiento de las ondas se conoce como *Física Ondulatoria* (aunque deberá completarse más adelante con otro tipo de ondas).

Desde la época de la Grecia clásica eran conocidos dos fenómenos bien definidos, aparentemente sin ningún nexo: la atracción que ciertos materiales previamente frotados con un trapo grueso ejercía sobre objetos pequeños (por ejemplo, un cabello) y la atracción o repulsión que un pedazo de magnetita ejercía sobre otro. En el primer caso se trata de un efecto debido a la presencia de un campo eléctrico y en el segundo a la presencia de un campo magnético. Como dichos campos son invisibles, tales fenómenos se tomaron como meras curiosidades y se convirtieron en objeto de estudio tardíamente. Solo a finales del siglo xvii, y durante los siglos xviii y xix, gracias al aporte de científicos como Volta, Galvani, Franklin, Coulomb, Ampère, Ohm, Biot, Savart, Hertz, Gauss, Oersted, Henry, Faraday, muy significativamente Maxwell, y otros más, que al sumar sus conocimientos y experiencias crearon una rama importantísima de la Física llamada *Electromagnetismo*. Los grandes aportes de Marconi y Tesla fueron posteriores. Los fenómenos electromagnéticos fueron clasificados como de naturaleza ondulatoria, aunque invisibles, con la excepción de aquellas ondas cuya frecuencia se encuentra en el espectro visible (370 a 740 nanómetros), es decir, aquellas que son capaces de impresionar en la retina los receptores que “reproducen” los diferentes colores. Las frecuencias que están por debajo de este rango se llaman infrarrojas y las que están por encima se denominan ultravioletas.

Tradicionalmente se han considerado como fenómenos físicos aquellos en los cuales no se modifica la sustancia de las cosas (esto marca una diferencia enorme con la Química, en la cual las sustancias se transforman). La Física estudia estos fenómenos mediante la observación y la experimentación. La observación nos dice, por ejemplo, que al calentar un material este aumenta su volumen, la experimentación lo confirma y por medio de pruebas repetidas se llega hasta la formulación de una expresión matemática que relaciona el aumento de volumen con el aumento de temperatura. Según Galilei: “La naturaleza está escrita en el lenguaje de la Matemática”.

Podemos decir ahora que la *Física Clásica* no es otra cosa que los conocimientos derivados de los aportes realizados por las Mecánicas (celeste, de los sólidos y de los fluidos), la Óptica, la Física de Ondas, la Termodinámica y el Electromagnetismo. Pero las postrimerías del siglo xix, y los albores del xx, traerían para los físicos una sorpresa: el des-

cubrimiento de lo muy pequeño y sus leyes, lo cual originó la llamada *Física Cuántica*. En ella se estudia la estructura del átomo, las propiedades de las partículas subatómicas y los fenómenos energéticos asociados, el carácter estadístico de ciertos procesos, la radiactividad natural y artificial, la fusión y la fisión nuclear y otros fenómenos corpusculares de alta complejidad experimental y de gran dificultad matemática en su modelación. No en vano los nombres de Einstein, Born, Pauli, Planck, De Broglie, Fermi, los esposos Curie, Röntgen, Becquerel y muchos otros, han deslumbrado al mundo con sus aportes. Ver Anexo 2.

## 5.3 La Química

La *Química* y la *Biología* son dos disciplinas científicas que se desarrollaron tardíamente, y la razón es simple: estuvieron, por siglos, inmersas en el dominio de lo que se consideró la *Física*. Los primeros filósofos griegos fueron definitivamente naturalistas. Preguntas como:

- ¿De qué están hechos todos los cuerpos que existen en la Naturaleza?
- ¿Por qué, si todos los cuerpos están compuestos por los mismos cuatro “elementos” (aire, agua tierra y fuego), existe tal diversidad de objetos, plantas, animales y personas?

Y otras similares pertenecen claramente a los dominios de la Química y de la Biología. No es de extrañarse entonces que a partir de la segunda mitad del siglo xvii, los primeros “químicos” fueran físicos de profesión y los primeros “biólogos” fueran también físicos o médicos (o las dos cosas).

Durante el siglo xviii, en buena parte como resultado del furor que despertó la *Alquimia* a partir del siglo xv (uno de cuyos máximos exponentes fue Paracelso, fundador de la Latroquímica o química medicinal), los científicos tenían el concepto de *elemento químico* (como aquello de lo que están hechas las cosas) y conocían algunos, sobre todo metales, por ejemplo: bronce, cobre, hierro, oro, plata, plomo, mercurio y otros. Pero pensaban que el aire y el agua también lo eran. Esto no debe extrañarnos, pues tanto el hidrógeno como el oxígeno y el nitrógeno son gases incoloros y, relativamente, carecen de olor. Pero estos primeros químicos de profesión tenían una ventaja importante y era el

gran conocimiento científico que habían adquirido como físicos y matemáticos. Ello permitió que las preguntas que se hicieron fueran, de entrada, muy profundas. Por ejemplo:

- ¿Qué tipo de fuerzas mantienen unidos a los elementos que conforman un determinado cuerpo?
- ¿Será que existe algún tipo de fuerza de cohesión muy débil entre los elementos que conforman una sustancia gaseosa, otra más fuerte entre los elementos que conforman una sustancia líquida, y otra todavía más fuerte entre los elementos de una sustancia sólida?
- ¿Por qué algunas sustancias pueden cambiar de fase y presentarse en forma gaseosa, líquida y sólida (por ejemplo, el agua) y otras no?
- Si a las partículas más pequeñas que conforman la materia las llamamos átomos, ¿qué distingue a un átomo de cobre de uno de hierro?
- ¿De qué depende que algunas sustancias sean buenas conductoras del calor y otras no?
- ¿Un átomo de un elemento se puede unir con otro átomo del mismo elemento en virtud de alguna ley?
- ¿Un átomo de un elemento se puede unir con un átomo de otro elemento en virtud de alguna ley?
- ¿Un átomo aislado presenta, siempre, las mismas propiedades que un “aglomerado” de átomos de un mismo elemento?
- Si un átomo es la menor cantidad que existe de un elemento, ¿cómo se llama la menor cantidad que existe de un compuesto?
- ¿Cada átomo de un elemento puede mezclarse con uno o más átomos de cualquier otro elemento o existen restricciones?
- ¿Qué papel juega la energía en el proceso de agrupamiento de átomos?
- ¿Por qué ciertas sustancias (como la madera) pueden arder a cierta temperatura y otras no?

Al principio. Lo que hasta entonces se llamaba *Química* (nombre acuñado por Robert Boyle), no era considerada propiamente como una ciencia, porque no se regía por parámetros cuantificables, sino que con ella se procuraba describir la Naturaleza, sin evidenciar en esta una correlación matemática. Fue el francés Antoine Laurent Lavoisier quien logró asignar a la Química reacciones numéricas consolidándole como ciencia (por ello se le considera el padre de la Química moderna). A él se le debe la famosa ley de la conservación de la materia: “la materia no se crea ni se destruye, simplemente se transforma”. Más adelante,

el también francés Joseph Louis Proust demostró que los compuestos estaban constituidos por *elementos* que siempre se relacionan entre sí en proporciones definidas según su peso y a ello lo denominó: *ley de las proporciones definidas*. Pero fue el británico John Dalton quien afinó un poco más el conocimiento químico cuando afirma (después de muchas verificaciones): “cada elemento está formado por una clase particular de átomos, estos se diferencian unos de otros por su peso; los átomos de un mismo elemento poseen el mismo peso; los átomos son partículas indivisibles y constitutivas de todo el universo”. Ahora, desde la ciencia, Dalton reivindicaba a Demócrito, Leucipo y demás filósofos atomistas greco-romanos.

El descubrimiento del hidrógeno por parte de Cavendish (1766) permitió dos cosas fundamentales: la primera, descartar al agua como un elemento y, la segunda, tomar el peso del hidrógeno (por ser el elemento más liviano) como el patrón para establecer, por comparación, el peso atómico de todos los demás elementos. De allí partió Dalton para la construcción de su *teoría atómica*. Pero la Química siguió su desarrollo vertiginoso y pronto otros químicos (y también algunos físicos) flexibilizaron la mencionada teoría permitiendo que átomos de un mismo elemento puedan tener pesos diferentes (denominados variedades isotópicas o, simplemente, *isótopos*), que los átomos son divisibles y están formados por partículas subatómicas (protones, neutrones y electrones) y estas, a su vez, también pueden subdividirse (mesones, leptones, neutrinos, quarks, etcétera). Ahora, lo que para los griegos era un elemento entendido como sustancia, para la Química actual, elemento es una sustancia formada por partículas (átomos) divisibles. Químicos y físicos se entregaron por completo a la tarea monumental de descubrir *cómo podría estar configurado un átomo*. El primer modelo atómico razonable lo propuso el mismo Dalton y le siguieron los de Joseph John Thomson, Ernest Rutherford y, por último, el de Niels Bohr. Podemos decir entonces que, en este momento de la Historia no solo había aparecido la Química como una disciplina científica independiente, sino que también existían ya algunas de sus ramas como: la *Química General*, la *Química de los Elementos* y la *Química Atómica*. Además, la Química adopta como propia una herramienta fundamental de la Física: la *Mecánica Cuántica* (sin su ayuda, el modelo de Bohr nunca se hubiese propuesto).

La Química general creció a pasos de gigante porque tuvo que ocuparse de resolver muchos problemas. Uno de ellos, y muy importante, es el establecer cómo se combinan los elementos entre sí para formar *compuestos*. Otro problema para resolver, relativamente complejo, es el de las *mezclas* (por ejemplo, sal o azúcar en agua); cuando estas son homogéneas las llamamos *soluciones* y cuando no, *coloides*. Para resolver estos y otros problemas, la Química se vale de una poderosa herramienta denominada *estequiometría*. Otro aspecto fundamental que debe enfrentar la Química General es el relacionado con los cambios de la materia: *cambios físicos* (con ellos no se alteran las propiedades de la materia), *cambios químicos* (las propiedades de la materia cambian) y *cambios nucleares* (la naturaleza misma de la materia cambia, es decir, se forman nuevos átomos). Algo muy básico, derivado de las propiedades atómicas de los elementos, es su clasificación en *metales* y *no metales*, porque a partir de ello podemos entender fácilmente las tendencias que ellos presentan a la formación de compuestos como: óxidos, sales, hidróxidos, ácidos, etcétera. Otros aspectos fundamentales de la Química General son los que tienen que ver con la asignación de fórmulas y con la nomenclatura.

Como resultado de los estados de la materia (gaseoso, líquido y sólido) la Química tuvo que crear una rama particular que se encargara del estudio detallado de los gases, dado que estos presentan un conjunto de propiedades inexistentes en líquidos y sólidos. Nace entonces la *Química de los Gases*.

Debido a que el calor ha servido para “moldear” todo lo que existe en la Naturaleza, es obvio que no podía ser ajeno a la Química. Por ende, la *Termodinámica* es una parte esencial de la Química y también lo es de Biología.

Una *reacción química* expresa un cambio químico y se puede simbolizar mediante una ecuación química que informa sobre las sustancias que reaccionan (*reactivos* o *reaccionantes*) y las sustancias producidas (*productos*); además, acerca de las cantidades de sustancias o estequiometría de la reacción y de las condiciones bajo las cuales se efectúa, como temperatura y presión. Toda reacción química tarda un tiempo en llevarse a cabo, es decir, se realiza a una determinada velocidad que puede depender de algunos de los siguientes parámetros: naturaleza química de los reactivos, estado de subdivisión de los

mismos, concentración de los reaccionantes, temperatura de la reacción (la velocidad de una reacción se aumenta con el incremento de temperatura) y la presencia de *catalizadores* (sustancias que agilizan las reacciones pero no intervienen en ellas). La parte de la Química que estudia el comportamiento de las reacciones se llama *Cinética Química*. Para algunos es una rama de la Química, para otros es una parte de la Química General.

La *Electroquímica* es la rama de la Química que estudia la interconversión entre energía eléctrica y energía química. El proceso más empleado suele ser la *electrólisis*, por el cual, mediante la corriente eléctrica, se pueden romper moléculas iónicas o soluciones con electrólitos.

Desde hace mucho tiempo, tres o cuatro siglos, se aceptó que la Química, en una primera subdivisión se escindía en dos grandes ramas: la *Química Inorgánica* y la *Química Orgánica*. Debido a la Metalurgia y a la Alquimia, los conocimientos que se han acumulado sobre los compuestos inorgánicos son bastantes y proceden de vieja data. Comparativamente hablando, la estructura de los compuestos inorgánicos es bastante simple y su comportamiento se hace muy predecible a partir de las leyes básicas de la Química General. No obstante, existen tratados enteros sobre el comportamiento de los óxidos, las sales, los hidróxidos (o bases), etcétera. Existen, aproximadamente, unos 70.000 compuestos inorgánicos.

La *Química Orgánica* es una rama de la Química que genera explicaciones acerca de la naturaleza, comportamiento y propiedades de los compuestos que contienen átomos de carbono en su estructura. Se estima que existen 2.500.000 de diferentes tipos de estos compuestos, lo cual es posible por la propiedad que poseen los átomos de carbono de formar enlaces covalentes entre sí mismos, es decir, formar cadenas cortas o extensas originando una cantidad enorme de compuestos. El término *cadena carbonada* se refiere a las cadenas que se pueden formar por la unión de átomos de carbono mediante enlaces covalentes, que pueden ser *sencillos* (si comparten solo un par de electrones), *dobles* (si comparten dos pares de electrones) y *triples* (si comparten tres pares de electrones). En la formación de compuestos el carbono siempre es *tetravalente*, lo cual implica que puede compartir enlaces hasta con cuatro átomos de carbono vecinos. A los compuestos formados por enlaces sencillos se les llama de

*cadena saturada* y a los compuestos formados por enlaces dobles y/o triples se les llama de *cadena insaturada*. Todos los compuestos orgánicos, sin importar el tipo de cadena y el tipo de enlace que posean, están formados por un *grupo funcional* (o función química), que es el sitio activo del compuesto y determina sus características químicas, y por un *radical*, que es el sitio inactivo del compuesto. *Sitio activo* se refiere a una zona de la molécula que puede reaccionar, es decir, originar cambios químicos. También es posible que los compuestos orgánicos se organicen formando cadenas cerradas con seis átomos de carbono, conteniendo tres dobles enlaces: son los del grupo del benceno y se les denomina *aromáticos*. La clasificación de los compuestos orgánicos es realmente generosa. En una primera aproximación los podemos clasificar como: alcanos, alquenos, alquinos, bencénicos, alcoholes, éteres, aldehídos, cetonas, ácidos carboxílicos, ésteres, anhídridos, haluros de ácidos, amidas, aminas, cianuros (o nitrilos), haluros de alquilo y mercaptanos (o tioles).

La *Bioquímica* estudia la estructura y composición de las moléculas que conforman los seres vivos (algunas veces llamados biocompuestos) y el tipo de reacciones que en ellos se llevan a cabo. Cuando las reacciones ocurren al interior de un individuo vivo decimos que son de tipo metabólico, de tal manera que cuando las biomoléculas se degradan (es decir, se convierten en otras más simples) hablamos de *catabolismo* y cuando las biomoléculas se convierten en otras más complejas hablamos de *anabolismo*. En ambos casos estamos hablando de procesos altamente energéticos. Es fácil entender que el estudio de la Bioquímica está altamente ligado al de la Biología Celular y al de la Biología Molecular. El número de compuestos bioquímicos de interés es bastante grande. Desde el punto de vista celular los más importantes son: a) los *Lípidos*, que a su vez se dividen en *simples o triglicéridos* (grasas y aceites), *saturados* y el *colesterol*; b) los *Carbohidratos*, que constituyen la fuente de energía primaria para los organismos y que básicamente los podemos clasificar en: *monosacáridos*, *oligosacáridos* y *polisacáridos*; c) *Aminoácidos* (existen veinte básicos comunes a todas las especies); d) *Proteínas*, que no son otra cosa que una sucesión (o cadena) de aminoácidos, que pueden o no ligar un grupo funcional, y que según su función se pueden dividir en: *estructurales* (como la hemoglobina), *catalíticas* o *enzimas* (como la pepsina) y *mensajeras* u *hormonas* (como la tiroxina), aunque no todas las hormonas son proteínas;

e) las *Vitaminas*, que son sustancias orgánicas de naturaleza variada indispensables para mantener los estados normales de salud, nutrición y crecimiento en muchos de los organismos vivos, suelen clasificarse en *hidrosolubles* y *liposolubles*. Al interior del núcleo celular hay dos tipos fundamentales de biomoléculas: las bases (adenina, citosina, guanina, timina y uracilo) y las moléculas reinas compuestas por estas bases: el ADN (ácido desoxirribonucleico) y ARN (ácido ribonucleico).

La *Química Nuclear* estudia los procesos que se efectúan en una *reacción* o *cambio nuclear*, es decir, en todos los cambios en los cuales se alteran los núcleos atómicos, formándose nuevos átomos. Los cambios nucleares son diferentes a los cambios físicos o químicos. Ellos se efectúan al interior de un núcleo atómico, que es una parte muy pequeña del átomo con un diámetro aproximado de  $1 \times 10^{-13}$  cm, y principal responsable de la masa atómica, pues la masa de los electrones se considera prácticamente despreciable. A veces, al núcleo atómico se le llama *núclido* y a sus partículas constitutivas (protones y neutrones), *nucleones*. La radiactividad es el proceso por el cual un núcleo inestable de un átomo se transforma en otro más estable. Si el proceso es espontáneo se denomina *radiactividad natural*, pero si se origina como consecuencia de un bombardeo sobre un núcleo estable se denomina *radiactividad inducida*. En principio, puede pensarse que el núcleo es responsable por la emisión de tres tipos de “rayos”: *rayos alfa* ( $\alpha$ ), que no son más que partículas positivas similares a los núcleos de helio con muy bajo poder de penetración; los *rayos beta* ( $\beta$ ), constituidos por partículas cargadas negativamente, cuyas características son idénticas a las de los electrones; y los *rayos gamma* ( $\gamma$ ) que son radiaciones electromagnéticas (ondas) de alto poder de penetración. El proceso de *fisión* se produce por el bombardeo de neutrones a núcleos pesados, produciendo fragmentos de menos masa, acompañados de la liberación de una alta cantidad de energía y de más neutrones. El proceso de *fusión* consiste en una emisión de núcleos pequeños para formar núcleos más grandes y más pesados. Para que una reacción de fusión se pueda realizar, se requiere la energía originada en un proceso de fisión nuclear.

Como puede intuirse fácilmente, arrancarle a la Naturaleza algunos de los misterios que ella entraña no es tarea fácil; el número de experimentos y mediciones que deben realizarse alcanzan una dimensión colosal y los instrumentos utilizados, salvo contadas excepciones, suelen

ser de altísima complejidad. Las ramas de la Química que se encargan de realizar las mediciones provenientes de los experimentos se llaman *Análisis Instrumental* y *Química Analítica*.

En el Anexo 3 aparece una lista de químicos que contribuyeron muy significativamente al desarrollo y consolidación de la Química como disciplina científica independiente. Se presentan sus nombres, nacionalidad y campo específico al cual le aportaron.

## 5.4 La Biología

Desde tiempos inmemoriales el hombre ha hecho uso de la Química y la Biología, pero no de una manera científica. Los antiguos (y también los actuales) chamanes, brujos y hechiceros de las comunidades primitivas utilizaban las hojas, unas veces, y extractos otras, de ciertas plantas que ejercían diferentes efectos en los humanos. Pero ni las plantas, ni las sustancias extraídas de ellas, habían sido objeto de un estudio riguroso de clasificación, dosificación y reconocimiento. Por los métodos más simples (de aproximación y error) se habían identificado los beneficios y perjuicios de ciertas sustancias sobre los humanos e, incluso, sobre animales. En ausencia de un conocimiento preciso acerca de cuál era el componente activo que producía el efecto, sobre cuál órgano actuaba, cuál era el mecanismo de acción, cuál era la dosis adecuada, durante cuánto tiempo debía suministrarse la sustancia, etcétera, no puede hablarse de conocimiento sistémico y menos aún de ciencia.

Es curioso que antes de Aristóteles existiesen pensadores que consideraban que los organismos podían evolucionar a través del tiempo, y que un tipo de organismo daba origen a otro tipo. Ellos fueron Anaximandro (611-547 a.C.), en Grecia, creador y orientador de una importante corriente filosófica, y Lucrecio (99-55 a.C.), en Roma, quien desarrolló una teoría atómica y otra de la evolución demasiado similar a la aceptada hoy.

Aristóteles fue el primer biólogo. Para él todos los seres vivos se podían ordenar bajo una jerarquía llamada *Escala de la Naturaleza*. Se trataba de una escalera en la cual se acomodaban todos los organismos según criterios de complejidad anatómica y las capacidades de cada ser

vivo; en dicha escala, las criaturas más simples ocupaban el peldaño más bajo; el hombre, el peldaño más alto, y el resto de las criaturas conocidas ocupaban peldaños intermedios según su complejidad. Pero Aristóteles, si bien consideraba importante su escala para explicar y ordenar la inmensidad natural, creía que *todos los organismos habían existido desde siempre*, y ello significaba, claramente, que no había posibilidad de cambio ni de vínculos entre organismos. La escala aristotélica se mantuvo hasta el siglo XIX y la mayoría de los naturalistas confiaban en ella o, al menos, la consideraban válida.

Como se acaba de mencionar, la primera clasificación sistemática de los animales y las plantas conocidos la realizó Aristóteles. También él hizo una clasificación de algunas plantas con efectos medicinales y de otras cuyo contacto debía evitarse debido a sus efectos tóxicos. Pero igual que antes, se desconocían las sustancias que realmente producían el efecto sanador, cómo actuaban, en dónde actuaban, y durante cuánto tiempo debían suministrarse. Claramente la clasificación realizada significó un gran paso hacia el conocimiento de animales y plantas, pero en modo alguno significó el nacimiento de la Zoología y la Botánica; al menos no como hoy las entendemos (dos muy importantes ramas de la Biología). Durante siglos, la Biología avanzó de la mano de la Medicina (que se entendía como el arte de curar) y la Química de la mano de la Física. Tendrían que pasar muchos siglos antes de que la Biología y la Química se convirtieran en ciencias independientes. Hablar de ciencias médicas es, igualmente, muy tardío.

La historia de la Biología es tan interesante como compleja porque, de alguna manera, la estudiamos de adelante hacia atrás. Al hombre primitivo, y también a la mayoría de los primeros científicos, le preocupó el *hoy*, lo que ahora vemos, lo que *ahora* existe. El conocimiento del hoy los llevó a preguntarse por el *ayer* (de dónde venimos) y por el *mañana* (para dónde vamos). Obviamente, el grado de profundidad con el cual se hacían las preguntas (y pretendían encontrar las respuestas) dependía en gran medida de cuánto se sabía del hoy.

La Tierra, por no hablar del Universo, tiene una historia muy larga en su conformación, estructura y relieve, y no siempre ha sido como la reconocemos hoy. Por ejemplo, hace 200 millones de años los continentes no se encontraban en el lugar actual, sino que conformaban un enorme

bloque continental denominado *pangea* (o toda la Tierra). Con el paso del tiempo, la Tierra se expandió, el bloque único se fragmentó y los actuales continentes empezaron a moverse relativamente a la deriva, a velocidades tan bajas como unos pocos centímetros por año. Hace aproximadamente unos 40 millones de años alcanzaron su ubicación actual.

Todos los cambios en la Tierra, desde sus inicios hasta nuestros días, se han caracterizado por una permanente aparición y extinción de organismos de los diferentes reinos (grosso modo, la Biología suele clasificar todo lo que existe en tres grandes *reinos* o *dominios*: mineral, vegetal y animal). Es decir, la historia de la evolución de los seres vivos va ligada a la historia de la formación de la Tierra y de las condiciones que en ella posibilitaron el inicio de la vida.

Una vez el hombre primitivo tuvo consciencia de su individualidad, de su necesidad de asociación, de su capacidad de organización y, muy particularmente, de su capacidad de transformar el entorno, sentó las bases para el surgimiento de pequeñas comunidades que mostraban ampliamente las ventajas de la supervivencia en comunidad. Es difícil establecer el momento exacto en el cual el hombre primitivo tuvo conocimiento del significado de la vida. Por instinto, los animales procrean y tratan de mantenerse vivos, pero muy probablemente no tienen una idea muy clara de lo que significa la muerte, más allá de no estar vivo. El comprender el significado de la vida implica un grado importante en la evolución del ser humano. Sería muy interesante saber cuáles fueron las primeras preguntas que se hicieron acerca de la vida, pero tal vez no tengamos forma de averiguarlo. Pero más allá de toda duda, y sin que sepamos el orden, se debieron hacer preguntas como estas: ¿qué debo comer para mantenerme vivo?, ¿qué debo beber para mantenerme vivo?, ¿dónde encuentro lo que debo comer y beber?, ¿cómo lograr que el alimento y el agua no escaseen?, ¿cómo transportar y almacenar el agua y los alimentos?, ¿cómo enfrentar los cambios climáticos?, ¿cómo protegerme de las fieras y de los demás animales peligrosos?, ¿cómo defenderme de mis enemigos? Y otras miles.

Muy posiblemente las primeras comunidades solo distinguían que en su entorno había tierra, agua y aire, y de pronto ni siquiera este último, aunque veían que por encima de sus cabezas los pájaros volaban. Notaban que ellos, los animales y las plantas *crecían*, es decir, aumenta-

ban de tamaño hacia arriba, pero probablemente no pensaban que fuese posible aumentar de tamaño hacia abajo (por ejemplo, el crecimiento de las raíces). Cuándo por fin comprendieron que bajo sus pies había un *abajo*, quisieron saber cómo era, qué había, cómo se conectaba e influenciaba al exterior (arriba) y otras muchas cosas más; con estas y otras preguntas ingenuas más le estaban dando origen a una rama fundamental de la *Biología*: la *Geología*.

Hoy sabemos que la edad del Universo es de 13.000 o 14.000 millones de años y la historia de la Tierra abarca los últimos 4.560 millones de años. También sabemos que no es homogénea, que su estructura es muy compleja y dicha estructura no siempre ha sido como la que presenta actualmente, dado que ha estado sometida a una permanente evolución. Transcurrieron varios miles de años antes de que el hombre tuviera respuestas, no míticas, a las preguntas que se formulaba. Saber, por ejemplo, que la energía que requiere el planeta proviene en gran parte del Sol, pero otra parte, no despreciable, proviene del núcleo mismo de la Tierra, siendo ambas de una naturaleza parecida, pues se trata de formas alternas de radiactividad. También hoy sabemos que desde el núcleo hacia afuera, la Tierra está conformada por diversas capas, como las llamadas tectónicas, que se superponen unas veces y, otras, dejan grandes fisuras entre ellas. No debe sorprendernos entonces que alteraciones del comportamiento energético del Sol o de nuestro propio núcleo, combinadas con actividades extraterrestres provenientes del espacio, por ejemplo, choques con meteoritos, sean en buena parte responsables de la evolución continua de nuestro planeta. Pero lo más interesante de esa continua evolución es que, a partir de su proceso de *solidificación*, en cada momento de ella se han generado condiciones importantes para la vida. Durante los primeros 560 millones de años la vida pertenecía exclusivamente al Reino Mineral; con el surgimiento de los océanos y luego de la masa continental, a partir de microorganismos evolucionados aparecieron plantas y animales, es decir, aparecieron el Reino Vegetal y el Reino Animal, y se fueron creando ambientes combinados que hoy denominamos ecosistemas, cuya perturbación simple y llanamente los destruye. Los ambientes de la Tierra han estado en constante cambio, ya que la actividad volcánica, los impactos de los meteoritos y los cambios climáticos, con frecuencia han hecho peligrar la vida y desencadenado catástrofes. Puede decirse entonces que el desarrollo de nuestro planeta ha estado repleto de sucesos y, todo parece

indicar que así seguirá, si es que los humanos no lo destruimos antes, durante otros 5.000 millones de años.

Si regresamos al momento en el cual el hombre primitivo se preguntó sobre las características del suelo sobre el cual estaba parado, y lo que había aún más *abajo*, muy posiblemente antes se había preocupado por lo que tenía *al frente* y lo que estaba *encima*. Ese hombre primitivo comprendió que a su alrededor había un conjunto de objetos que permanecían inmóviles, por ejemplo las cuevas formadas por grandes rocas; otro conjunto podía permanecer en reposo, pero debido a la acción del viento podían moverse, por ejemplo la arena, piedrecillas de poco tamaño y las ramas de los árboles; también notó un tercer conjunto en el cual estaban los animales y él mismo, que se movían más por *voluntad propia* que por la presencia del viento o de otro agente. También descubrió que todos los árboles y plantas no era iguales y que tampoco lo eran los animales e, inclusive, ni el mismo hombre. De esta observación primaria del entorno que lo rodea, probablemente surgieron preguntas como las siguientes:

- ¿Cómo se llama ese objeto que tengo al frente y de dónde provino?
- ¿Por qué algunos objetos mantienen su forma y demás *propiedades* todo el tiempo, mientras otros van cambiando hasta casi desaparecer?
- ¿Por qué algunos objetos huelen y otros no?
- ¿Por qué los objetos son de diferentes colores?
- ¿Por qué puedo comer algunos frutos y otros no?
- ¿Por qué todas las plantas no están presentes es todas partes?
- ¿Por qué todas las plantas no crecen hasta la misma altura?
- ¿Por qué no todos los animales pueden volar?
- ¿Por qué todos los animales no tienen cuatro extremidades, o cinco con la cola?
- ¿Por qué algunos animales pueden nadar y otros no?
- ¿Por qué la presencia de lluvias aumenta significativamente la presencia de animales y plantas en un determinado lugar?

Y en el mismo orden de ideas se hicieron muchas más. Pero lo verdaderamente importante no era ninguna pregunta en particular sino la totalidad de ellas. El hombre primitivo fue entendiendo, gradualmente, que el agua no solo era importante para su supervivencia, sino también para la de los animales y las plantas.

En cambio, parecía afectar muy poco a las rocas. En ese orden de ideas entendió que plantas, animales y hombres tenían, por lo menos, una cosa en común: la dependencia del agua. Pero también notó otra cosa más: el suelo producía plantas, los animales y el hombre se alimentaban de ellas; el hombre se alimentaba de algunos animales y también ciertos animales incluían en su dieta al hombre. Es decir, había un *sistema* relativamente bien definido que involucraba suelo, plantas, animales, lugar y al hombre. También pronto comprendió que el exceso o carencia de agua, la ausencia o presencia de vientos, las condiciones de frío o calor, todas ellas modificaban el comportamiento de plantas, animales y el hombre. Este conjunto de piso (suelo), agua, plantas, animales, hombre, sitio geográfico, temperatura, vientos y otros factores se llama, simplemente, un *ecosistema* y la rama de los Biología encargada de estudiarlo se llama *Ecología*.

Es claro que la idea de ecosistema que desarrolló el hombre primitivo era puramente intuitiva. En su fase de hombre recolector (nómada) su pensamiento ecológico era prácticamente inexistente. Pero cuando se volvió agricultor y combinó el agro con la caza y la pesca, su conocimiento sobre ello francamente mejoró. Pero vale aclarar que en este conocimiento no mediaba ciencia alguna, puesto que ninguna de las ciencias se había empezado a desarrollar. Puede decirse entonces que en las grandes culturas de la Antigüedad como las mesopotámicas, la egipcia, la persa, la china, la hindú, entre otras, existía un conocimiento rudimentario de algunas ramas de la Biología y, en particular, de la Ecología.

Se requirió, una vez, más el pensamiento ordenado y sistémico de los griegos de la Edad Clásica, para que el hombre se hiciera otro tipo de preguntas:

- ¿Es posible que todos los árboles estén hechos de la misma madera, alcancen la misma talla y, en general, se comporten de manera similar después del mismo tiempo de sembrado?
- ¿A qué se debe que existan diferentes tipos de árboles?
- ¿Cómo y cuándo empezaron a existir los árboles?
- ¿Por qué todas las plantas no producen flores y frutos?
- ¿Por qué dos plantas, aparentemente idénticas, una da flores amarillas y la otra rojas?

- ¿Por qué unas especies toleran más el frío, o el calor, que otras?
- ¿Por qué algunas especies toleran más la falta de agua que otras?
- ¿Cómo se reproducen las plantas?
- Si las plantas se enferman, ¿podrán curarse?
- ¿La naturaleza de las plantas es comparable con la de los animales y la del hombre?

Como este conjunto de preguntas, y otras similares, son bastante complejas, la búsqueda de las respuestas requiere estrategias muy refinadas para cada una de ellas. Además, y muy importante, de las respuestas obtenidas para una pregunta surgían las bases para la formulación de nuevas preguntas correlacionadas. Gracias queridos griegos, tal vez sin quererlo, crearon otra rama de la Biología llamada *Botánica*, o ciencia que estudia el comportamiento, clasificación y evolución de las plantas.

Acerca de los animales conocidos, también los griegos se plantearon preguntas muy interesantes:

- ¿Por qué algunos animales solo pueden vivir en el agua, otros en tierra y otros en ambos ambientes?
- ¿Por qué algunas aves pueden volar más tiempo, más alto o más rápido que otras?
- ¿Por qué todos los animales no se reproducen de la misma manera?
- ¿Por qué algunos animales son solitarios y otros viven en comunidades?
- ¿Por qué todos los animales no emiten el mismo sonido?
- ¿Será que todos los animales perciben el mundo exterior de la misma manera?
- ¿Por qué algunos animales son carnívoros, o herbívoros, y otros no?
- ¿Por qué dos caballos, por ejemplo, no tienen siempre la misma talla y el mismo color?
- ¿Por qué las aves tienen tamaños, color del plumaje y forma del pico tan diferentes?
- ¿Por qué algunos animales no tienen patas?
- ¿Por qué pueden existir animales tan pequeños como la pulga y tan grandes como el rinoceronte?
- ¿Por qué todos los animales no tienen dientes?

Y la lista de preguntas fue creciendo en forma muy significativa en la medida que se iban encontrando algunas respuestas. El conocimiento adquirido fue tan grande que no bastó con crear una rama de la Biología que se encargara del estudio de los animales, la *Zoología*, sino que prontamente esta se subdividió de una manera generosa. La *Ornitología*, por ejemplo, es la parte de la Zoología que se encarga del estudio de las aves.

Durante siglos, la cultura occidental estaba poco interesada en explorar la inteligencia animal, no así en Oriente en donde el contacto y la dependencia de la domesticación animal eran realmente notables. En oriente se domesticaban, además de caballos (y otros equinos), elefantes, camellos, simios, pájaros y otras especies, logrando especializarlos en tareas de cierta complejidad. Pero esto era arte. Durante la segunda mitad del siglo XIX apareció un verdadero interés por el estudio de la inteligencia y el comportamiento animal y se volvieron comunes preguntas de este tipo:

- ¿Por qué algunos animales son domesticables y otros no?
- ¿Por qué algunos animales son capaces de transformar su entorno (abejas, hormigas, termitas, castores, pájaros, algunos simios, por ejemplo) y otros no?
- ¿Por qué algunos animales pueden modificar sus patrones de conducta y otros no?
- ¿Qué grado de complejidad tienen los lenguajes de los animales al interior de sus comunidades?
- ¿Por qué en algunas especies animales los machos y las hembras no viven juntos?
- ¿Qué tipo de lazos afectivos existen en las comunidades animales?

Encontrarle respuestas a estas y otras preguntas similares implicó la realización de un esfuerzo colosal. Técnicas que podían emplearse ampliamente para caracterizar especies (animales o vegetales) desde el punto de vista morfológico (la apariencia), no resultaban útiles. Se requirieron entonces otras estrategias, otros métodos y otro conjunto de ensayos y de análisis. Nace así otra rama de la Biología llamada *Etología* (o ciencia del comportamiento).

Aunque parezca un poco extraño, hay ligera evidencia que muestra que nuestros muy lejanos ancestros se preocuparon más por los detalles

del suelo, de las plantas y de los animales que por sus congéneres. No obstante, en algún momento aparecieron un conjunto de preguntas como estas:

- ¿Por qué siento hambre, sed y frío?
- ¿Por qué siento cansancio y sueño?
- ¿Por qué puedo darle nombre a los objetos y descubrir para qué sirven?
- ¿Por qué puedo construir y utilizar herramientas?
- ¿Por qué puedo descubrir lo que hay en mi entorno y, eventualmente, transformarlo?
- ¿Por qué nazco, me desarrollo y muero?
- ¿Por qué puedo enfermar y luego sanar?
- ¿Por qué existen dos sexos?
- ¿Por qué todos los individuos no somos exactamente iguales?
- ¿Por qué podemos hablar o, incluso, entendernos por señas?

Al hacerse estas y otras preguntas el hombre primitivo fue adquiriendo consciencia de su propia existencia y que si bien en algunas características se parecía a los animales, y hasta las plantas, en otras era completamente diferente y claramente se hizo evidente la superioridad del hombre sobre las demás especies; nace así otra rama de la Biología que podemos llamar *Antropología*. Esta disciplina avanzó muy rápido porque el flujo de preguntas nunca se interrumpió. Poco a poco el hombre se hizo nuevas preguntas:

- ¿Por qué camino en dos patas y no en cuatro?
- ¿Por qué no puedo volar?
- ¿Para qué me sirve el pelo?
- ¿Por qué siento dolor?
- ¿Por qué puedo experimentar sensaciones?
- ¿Por qué puedo amar u odiar a mis congéneres?
- ¿Por qué me siento atraído por individuos del otro sexo?
- ¿Por qué siento curiosidad por saber cómo funcionan las cosas?
- ¿Por qué algunos alimentos me saben mejor si los cocino?
- ¿Por qué puedo pensar?
- ¿Por qué puedo aprender?
- ¿Por qué cada objeto de mi entorno se comporta de una manera precisa y bien definida?

- ¿Por qué hay día y noche?
- ¿Por qué puedo recordar algunos eventos y olvidar otros?
- ¿Quién puso las cosas en lugar en el que las encuentro?
- ¿Por qué los animales y las plantas no pueden hablar como nosotros si ellos también se alimentan?

Este conjunto de preguntas tan heterogéneas mostró prontamente que la Antropología tenía que subdividirse en muchas ramas, para que cada una de ellas pudiera estudiar con algún detalle las preguntas pertinentes. Nace la *Medicina* como la rama que se ocupa del desarrollo biológico integral del ser humano. Aparece la *Filosofía* como la rama que se ocupa del conocimiento como tal. Se perfila la *Psicología* como la rama que se interesa por las emociones y las respuestas que estas ocasionan. La lista es larga pero dejemos estas tres a manera de ejemplo. Pero lo más interesante es que la dinámica continúa. La Medicina sigue subdividiéndose y surgen la *Odontología*, la *Anatomía*, la *Fisiología*, la *Histología*, la *Patología*, la *Pediatría*, la *Ginecología*, la *Obstetricia*, la *Oftalmología*, la *Neurología* para nombrar solo unas pocas entre muchas.

La Filosofía, tal vez el aporte más maravilloso que nos hicieron los griegos, merece capítulo aparte. Ella se subdivide en un incontable número de sub-ramas: *Ontología*, *Gnoseología*, *Teología*, *Física*, *Metafísica*, *Dialéctica*, *Matemática*, *Lógica*, *Retórica*, *Oratoria*, *Astronomía*, *Política*, *Ética* y otras más. Los filósofos contemporáneos poco hablan de Gnoseología y prefieren hablar de *Teoría del Conocimiento*, refiriéndose exclusivamente al conocimiento científico.

Resulta algo extraño pensar que con el paso del tiempo la mayoría de las ramas de la Antropología se desarrollaron más que el tronco. Hoy, sería impensable que un médico se definiera primero como antropólogo, o que un filósofo se dijese antropólogo. El término Antropología ha sido visiblemente reducido a un campo importante, pero relativamente estrecho, de la realidad humana. Las ramas tomaron su propio impulso.

A pesar del invaluable aporte de los griegos acerca de la naturaleza de las cosas y de los elementos que las conforman, la introducción de ideas míticas para explicar los fenómenos naturales prevalecieron, por distintas circunstancias, durante casi quince siglos. Solamente a partir del siglo xvi aparecen en la sociedad europea las condiciones neces-

rias para enderezar el rumbo del conocimiento y abrirle las puertas a la verdadera ciencia. Pero sería injusto no reconocer que algunos siglos atrás se oyeron voces como la de Guillermo de Occam y la de Francis Bacon (y algunas otros) pidiendo a gritos el cambio. La figura de René Descartes adquiere una gran relevancia porque se atreve a proponer la transformación que se requiere advirtiendo la necesidad de emplear métodos adecuados y, además, la necesidad de la verificación. En otras palabras, se introduce un verdadero rigor en el estudio de los fenómenos naturales y en el tratamiento de las Matemáticas. No es pues extraño que surjan nuevas preguntas:

- Si las plantas, los animales y el hombre necesitan nutrientes y agua para sobrevivir, ¿será que están conformados por estructuras parecidas?
- Pero si las plantas, los animales y el hombre estamos conformados por estructuras parecidas, ¿por qué hay tanta diversidad?
- Si las plantas, los animales y el hombre estamos conformados por estructuras similares, ¿por qué nos reproducimos de maneras tan diferentes y nuestros ciclos de vidas son tan distintos?
- ¿Cómo es posible que estructuras supuestamente similares den origen a un conjunto tan variado de funciones observables en los seres vivos?

Las respuestas a estas preguntas de ninguna manera están a la vista. Los agentes responsables de tales respuestas no se ven con el “ojo pelado”, se llaman células y su variedad es extraordinaria. Se requirió el advenimiento del microscopio para poderlas estudiar con detalle en forma y función. Prontamente el hombre entendió que una célula es el organismo vivo más simple que existe y que todos los demás son agregados de algunas células o de trillones como el caso de los humanos. El hombre aprendió que una célula aislada tiene ciertas características pero que al juntarse con otras similares para formar un tejido conserva algunas, pierde otras y aparecen unas nuevas. El estudio comprensivo de todo lo relativo a la célula (estructura, ambiente, replicación, etcétera) se conoce como *Biología Celular*.

Una vez comprendida la estructura celular algunas de las preguntas formuladas permanecían sin respuesta o, al menos, sin alguna satisfactoria. En los organismos pluricelulares de alta complejidad, es decir, los

que realizan un elevado número de funciones y tienen que producir sus propias sustancias, por ejemplo, hormonas o neurotransmisores, ¿cómo hacen las células para producirlas? La Biología Celular nos enseña que las estructuras celulares son bastante semejantes de un tipo de células a otras, pero que pueden existir ciertas diferencias de acuerdo con el grado de especialización. Las células que conforman el hígado (tal vez el órgano más complicado) están altamente especializadas para cumplir muy diferentes tareas y grupos de ellas se especializan en producir muchas de las diferentes enzimas que se requieren para metabolizar los alimentos y otras sustancias como la bilis (que se sintetiza en ciertas células especializadas que a través de canales drenan en una subestructura del hígado llamada la vesícula biliar). ¿Cómo hacen las diferentes células del hígado para *saber* cuál debe ser la sustancia que se requiere *fabriquen* y en qué cantidad? La Biología Celular no tiene la respuesta. Ahora es necesario estudiar con todo detenimiento el comportamiento de ciertas moléculas orgánicas localizadas en el núcleo de la célula; nace así la llamada *Biología Molecular*.

Ahora, con el conocimiento derivado de la Biología Molecular, es posible replantearse algunas preguntas que tienen que ver con la manera como las especies van conservando ciertas propiedades y cambiando otras, es decir, por qué algunos hijos son muy parecidos (o idénticos) a sus padres, otros solo conservan algunas propiedades y otros se parecen poco o nada. Esta rama de la Biología se llama *Genética*. Esta disciplina apareció en el siglo XVIII con los interesantes aportes de Mendel, pero requirió el apoyo de las Biologías Celular y Molecular para llegar al grado de desarrollo que hoy día tiene. Hay procedimientos tan sofisticados y precisos que, a su vez, dieron origen a una sub-rama llamada *Ingeniería Genética*.

Una búsqueda razonable, pero de ninguna manera exhaustiva, de biólogos que han aportado significativamente al desarrollo de las distintas ramas de la Biología se presenta en el Anexo 4.

# 6.

## Reflexiones acerca de la ciencia

No todo el conocimiento que poseemos es de origen científico. Dependiendo de nuestra profesión u oficio, de nuestros gustos, de nuestras necesidades y de nuestro entorno socio-político-geográfico, entre otras causas, poseemos más o menos conocimiento de este tipo. Es más, para la inmensa mayoría de las personas el porcentaje de conocimiento científico es muy bajo o, peor aún, inexistente.

La ciencia es, entre otras muchas cosas como ya hemos visto, una forma ordenada de pensar y de evaluar el mundo que nos rodea (lo físico), en algunos casos, pero también de pensar y evaluar ciertos conceptos o realidades mentales (lo metafísico) en otros.

En la Antigüedad, culturas como la acadia (inventaron la escritura), la babilónica, la persa, la egipcia, entre otras, generaron una gran cantidad de conocimiento, incluso conocimiento matemático y físico. Pero no es posible hablar, todavía, de *conocimiento científico*. La ciencia, como ya vimos, tiene requisitos y uno de ellos es el procedimiento sistémico, el cual, indiscutiblemente, se lo debemos a los griegos, quienes entre el siglo VIII y el IV a.C. sentaron las bases de la filosofía, en general, y de las disciplinas científicas en particular. Solamente con la aparición de *escuelas de pensamiento*, es decir, grupo de personas interesadas

en explorar un conjunto de conceptos, principios o fenómenos afines, podemos pensar que están dadas las condiciones para la aparición de un conocimiento estructurado, primero, y científico después.

Los primeros filósofos griegos (Tales, Anaximandro, Anaxímenes, Heráclito, etc.), a quienes podemos llamar naturalistas, se hicieron preguntas de este tipo acerca de lo que existe en la naturaleza:

¿Qué es este objeto (piedra, por ejemplo)?

¿Qué características tiene?

- Olor
- Sabor
- Forma
- Color
- ¿De qué está hecha?
- ¿Para qué sirve?
- Dura o blanda
- Pesada o liviana
- Grande o pequeña
- Rugosa o lisa

¿Para qué sirve?

¿Cuál es su función en la naturaleza?

¿Para qué le sirve al hombre?

Es obvio que para poder formularse el conjunto de preguntas cuyas respuestas buscaban, previamente habían desarrollado un *lenguaje* en el cual los términos objeto, característica, olor, sabor, forma, color, utilidad, consistencia, peso, tamaño, textura, etcétera, eran aceptados y comprendidos por todos y cada uno de los miembros de la escuela. Es la aceptación colectiva de los atributos del objeto lo que crea el *conocimiento* acerca del mismo. Para responder a la pregunta “¿de qué está hecha?” tuvieron que suponer cosas y una de ellas fue que todos los cuerpos que existen están conformados por mezclas, en distintas proporciones, de cuatro (llamados por ellos) *elementos básicos*: tierra, aire, agua y fuego. Este tipo de suposiciones (que podríamos pensar que más adelante daría origen a la heurística) hace que la filosofía no pueda ser una ciencia, pero sí el motor de ella.

Si bien queda claro que cada rama del saber que pretenda ser reconocida como ciencia tiene que construir su propio lenguaje y, además, que los miembros de las respectivas comunidades científicas deben emplearlo como un medio para la comunicación y difusión de los saberes particulares de dicha ciencia, también debe quedar suficientemente claro que en la construcción de tal lenguaje deben estar muy bien definidos los conceptos abstractos que describen los fenómenos (físicos, químicos o biológicos) o las propiedades de los cuerpos que se pretenden estudiar, es decir, las *magnitudes*. La propiedad fundamental de una magnitud es su capacidad para ser medida y, a partir de ello, establecer las leyes que rigen los fenómenos. La longitud, el tiempo y la fuerza son magnitudes físicas puesto que tenemos medios para medirlas. El peso molecular, el grado de disociación y el pH son magnitudes químicas que, igualmente, pueden medirse con facilidad. El potencial eléctrico de una membrana nerviosa, la ósmosis a través de ciertas membranas celulares o la concentración de un determinado ion en el fluido intracelular son ejemplos de magnitudes biológicas, aunque, a diferencias de los casos anteriores, no son fácilmente medibles. El dolor, la alegría o la belleza son imposibles de medir y por ello no constituyen magnitudes.

Dado que existe un número elevado de magnitudes empleadas en ciencias, estas suelen dividirse en dos grandes grupos: *magnitudes fundamentales* y *magnitudes derivadas*. Las primeras son las que no se expresan en función de otras, es decir, por elección, están definidas por sí mismas y resultan esenciales, por ejemplo: la longitud, el tiempo y la masa. Las segundas (derivadas) son aquellas que se definen a partir de las magnitudes fundamentales y se expresan mediante fórmulas matemáticas, por ejemplo: la velocidad se expresa mediante el cociente entre la longitud y el tiempo, que son fundamentales. También es posible clasificar las magnitudes en dos tipos: *magnitudes escalares*, que son aquellas que quedan perfectamente definidas cuando conocemos su valor numérico, y *magnitudes vectoriales* que solo quedan determinadas cuando conocemos su valor numérico (módulo), la dirección y el sentido de aplicación.

*Medir* es comparar una magnitud con otra que tomamos como *unidad*. Esta unidad suele estar materializada y se le denomina *patrón*. Medir es una de las actividades básicas y recurrentes en el mundo de la ciencia.

Como las unidades son arbitrarias y las ha definido el ser humano, la forma de definir las ha variado en el tiempo. Hoy en día, todas las unidades están definidas con mucha precisión y se emplea el llamado Sistema Internacional de Unidades (SI). Dependiendo de las necesidades podemos escalar las unidades. Si bien la unidad de longitud es el metro, para referirse a una distancia bastante grande puedo emplear el término kilómetro (mil metros) o, por el contrario, si la distancia o longitud es muy pequeña, puedo hablar de milímetro (una milésima de metro).

Una característica fundamental de todas las ciencias es que requieren un número importante de conceptos básicos para, con ellos, entender fenómenos y, luego, modelarlos, experimentarlos y construir leyes o teorías. Desde tiempos inmemoriales el hombre habla de claro y oscuro, de caliente y frío, de rápido y lento, de pesado y liviano, de alto y bajo, de grueso y delgado, de duro y blando, etcétera. Estos *preconceptos* son fundamentales para entender los objetos de la ciencia. Por supuesto que algunos de ellos, sino todos, deben *afinarse* para estar seguros de que, cuando se empleen, todas las personas entendamos lo mismo. Otros conceptos intuitivos, pero algo más elaborados, pueden ser: movimiento y reposo, fuerte y débil, equilibrio y desequilibrio. Basados en estos preconceptos y en observaciones y mediciones, los científicos han elaborado un conjunto fundamental de conceptos, indispensables ellos para explicar, científicamente, lo que ocurre en el Universo. Así, hablamos de tiempo, distancia, velocidad, fuerza, potencia, energía, trabajo, calor, temperatura, gradiente de concentración, presión, flujo, humedad, deformación, densidad, campo, atracción etcétera. El hecho de ser medibles es lo que hace a estos conceptos verdaderamente útiles, pero ello implica dos cosas fundamentales: la primera, es que previamente se le haya asignado una unidad específica (segundo, metro, newton, vatio, julio, grado kelvin, etcétera) y; la segunda, que se disponga de un instrumento para medirlo.

Las ciencias exactas y naturales no son una simple colección de datos organizados; sino que involucran preguntas, observaciones, dudas sobre las mismas y elaboración de modelos explicativos (muchos de tipo matemático), sujetos a permanente revisión crítica, encausados a resolver una incógnita (o conjunto de ellas). Los científicos trabajan sobre la base de teorías ampliamente aceptadas por sus comunidades científicas, denominadas *paradigmas*, [véase a Thomas Kuhn (1992)],

aunque los matemáticos no siempre. Esto no significa que estas teorías no puedan ser refutables en la búsqueda de nuevos y más completos conocimientos. Cuando un científico ha reunido suficiente información sobre sus observaciones, plantea una hipótesis sobre el *fenómeno* estudiado y lo somete a consideración de otros científicos. Si la hipótesis y los datos son suficientemente importantes, los experimentos y las observaciones serán repetidos en un intento para su confirmación, negación o ampliación. Una hipótesis importante y fundamental, que ha soportado numerosas verificaciones, suele llamarse *teoría*.

Las teorías científicas no son el conjunto de una serie de conceptos y de fórmulas aisladas sino, al contrario, son el resultado de la relación lógica entre conceptos y las proposiciones que ligan esos conceptos. Un concepto por sí solo no dice nada si no se relaciona bien con otros para darle sentido. Igual sucede con una ecuación; no basta con aprender su formulismo si no se puede interpretar el significado que ella ofrece. Así, el concepto de *entropía*, por ejemplo, no se puede explicar sino desde la perspectiva de la segunda ley de la Termodinámica; a la inversa, esta segunda ley resulta ser un postulado árido si no se cuenta con una clarificación conceptual referente a la entropía

Como el punto central (o núcleo) de esta cartilla es la ciencia, entonces el principal objeto de interés para nosotros es el *conocimiento científico*, mucho más complejo que el denominado conocimiento común. Aristóteles fue, tal vez, la primera persona que tuvo suficientemente claro que el conocimiento y las maneras de acceder a él debían ser muy particulares y dependientes del objeto de estudio en concreto. Eso hizo que realizara una clasificación sistemática del conocimiento de la época y se convirtiera en el escritor más prolífero que hubiese conocido la humanidad. Su convicción absoluta de que una idea, o un conjunto de ellas, no significan necesariamente un conocimiento, lo hizo inventarse la Lógica como herramienta filosófica que le permitiera encontrar el grado de veracidad existente en alguna aseveración (siempre y cuando esta fuese expresable en forma de silogismo).

El problema grande que se le presentó a Aristóteles, desde el punto de vista del saber científico, fue la inexistencia de instrumentos adecuados (diferentes a la regla, el compás y el reloj de arena) que le permitieran observar con detalle el mundo que nos rodea. No es de extrañarse

entonces que una de las mentes más brillantes que ha producido la humanidad (sino la más) haya llegado a conclusiones tan erradas como: “la Tierra es el centro del universo y todos los planetas, el Sol y la Luna se mueven alrededor de ella”, o “si se sueltan simultáneamente y desde la misma altura dos cuerpos de diferente peso, cae primero el más pesado”, y otras más. Dos elementos esenciales le fallaron a Aristóteles en su Física: a) la ausencia de instrumentos científicos de precisión que pudieran aportar nuevos datos a lo observado con los sentidos y b) la ausencia de un método adecuado para proponer las preguntas correctas para el objeto de estudio. Muchos filósofos y científicos post-aristotélicos señalaron sus errores, unos los justificaron y otros no, pero todos plantearon, gradualmente, la necesidad de crear una disciplina propia que resolviera estos problemas, sobre todo el segundo elemento.

Con su aporte, y el de otros, Kant propone la Teoría del Conocimiento como la disciplina filosófica que ayuda a encontrar y a formular las preguntas correctas en objetos de conocimiento de carácter científico. Más adelante, y con distintos argumentos, filósofos y científicos post-moderanos de las ciencias exactas y naturales, consideran que las ideas kantianas se quedan cortas y declaran a la *Epistemología* como la verdadera filosofía de la ciencia, llegando a tal punto de aseverar, algunos, que solo lo objetos de estudio de interés para la epistemología son *verdadera* filosofía.

Separar lo filosófico de lo científico en el conocimiento de este tipo es tonto e imposible; están íntimamente relacionados y, además, se complementan. Lo verdaderamente importante es que ambos, con respecto al conocimiento, reclaman las mismas cosas:

- Claridad en el objeto de estudio.
- Identificación de los principales parámetros y propiedades del objeto de estudio.
- Identificación de los parámetros que pueden servir como indicadores para validar, o no, hipótesis sobre el objeto de estudio.
- Conformación de una hipótesis, empleando algunos de los parámetros identificados, que se asemeje a una ley, o por lo menos a un enunciado general, cuando se valide.
- Escogencia de un método experimental adecuado.
- Escogencia de los instrumentos y ambientes adecuados para adquirir la información (datos).

- Escogencia del método adecuado para analizar y validar los datos.
- Proposición de una ley, teoría o conclusión.

De lo anterior queda claro que el llamado *método científico* es extremadamente estricto en su forma, pero también lo es en su contenido dado que la validación de la ley, teoría o conclusión es realizada, en última instancia, por las comunidades científicas, aunque estas no siempre se ponen de acuerdo en la manera de interpretar los resultados o sobre la validez de la conclusión. Veamos algunos ejemplos.

Que se sepa, Galileo Galilei fue el primer científico que se interesó por averiguar la velocidad de la luz. Se ideó un método demasiado simple y llegó a un resultado poco confiable dado que cada vez que repetía el experimento obtenía un valor diferente. Bastó su autocrítica y el comentario de sus alumnos para concluir que, por ese método, era imposible llegar a un valor razonable de tal velocidad. Para el caso, Galilei y sus alumnos conformaban ellos mismos una sociedad científica no oficial pero sí muy reconocida. Por eso el valor obtenido nunca fue publicado.

Nicolás Copérnico, en contra del pensamiento aristotélico y del dogma religioso predominante, y de acuerdo con sus propias observaciones y conclusiones, postuló que el sistema geocéntrico era erróneo y que, al menos referidos a nuestro sistema solar, el Sol era el centro del sistema y los planetas giraban alrededor de él. Esta opinión fue desacreditada y combatida por la Iglesia de la época (que tenía total injerencia en la interpretación de los resultados de las investigaciones de los científicos) y, aparentemente, quedó en el olvido. Más adelante Galilei, con ayuda de instrumentos que él mismo inventó (por ejemplo, el telescopio) obtuvo nuevos datos y le dio la razón a Copérnico. La tesis de un científico (Copérnico) proveniente de observaciones y datos experimentales, era validada por otro científico (Galilei) al comprobar con sus propios datos y conclusiones lo sugerido por el primero. Una vez más la Iglesia de la época desacreditó a Galilei y lo hizo retractarse para no ser condenado por hereje. Tendrían que pasar algunos años antes de que el trabajo de Johannes Kepler demostrara con toda contundencia (dado que calculó las órbitas con las cuales cada uno de los planetas gira alrededor del Sol) la validez de dicha teoría. Ante tales pruebas la Iglesia guardó silencio y la comunidad científica adoptó el modelo heliocéntrico.

Durante toda la Edad Media, y buena parte de la Edad Moderna, se consideraba que la sangre permanecía estática en los vasos sanguíneos (venas y arterias). Miguel Servet realizó una serie de experimentos (con cadáveres unos y en vivo otros) que claramente demostraban que la sangre se movía al interior de tales vasos. Después de una álgida disputa con la Iglesia Protestante que lo regía, al no querer retractarse, fue acusado de hereje y quemado vivo.

Estas experiencias dolorosas dejaron una gran enseñanza: las diferentes iglesias tenían sus propios intereses y seguían ciertos caminos para alcanzarlos. Las ciencias exactas y naturales tenían otros y, por consiguiente, se valían de sus propias vías y métodos, entre los cuales no había espacio para dogmas. Algún tiempo después se fueron creando las diferentes sociedades científicas: La Real Sociedad de Ciencias, en Inglaterra; la Sociedad de Ciencias de Berlín, en Alemania; la Sociedad de Ciencias de París, en Francia y luego otras en Escocia, Irlanda, Dinamarca, Suecia, Noruega, Suiza, Holanda, Austria e Italia. Las de Portugal y España tardaron demasiado. Ahora, le correspondería a estas sociedades científicas opinar sobre el trabajo de los científicos y sus conclusiones. A partir de este feliz momento de la Historia, Teología y Ciencias Exactas y Naturales marcharon por caminos separados, respetándose profundamente, y sin inmischirse la una con las otras.

Pero el enemigo más grande que ha tenido la ciencia a través de la Historia es la indiferencia de la mayoría de la población, en las diferentes culturas, ante el quehacer y saber científico. Dicho de otra manera, *la ignorancia colectiva*, que es un fenómeno social claramente multicausal.

# 7.

## Conclusiones

Una vez realizada una lectura juiciosa de las diferentes secciones de las cuales consta la presente cartilla podemos identificar fácilmente varias conclusiones. Algunas de ellas son:

- Por el conocimiento científico que posea un país se puede medir su verdadero grado de desarrollo.
- En el proceso de formación escolar se debe privilegiar grandemente el uso de metodologías que potencien la formación en ciencias.
- Los países que tienen el mayor grado de desarrollo científico son también los más desarrollados tecnológicamente y económicamente.
- Es fundamental que los países posean comunidades científicas muy sólidas para lograr un rigor suficiente en el manejo de la ciencia local y, además, el reconocimiento internacional.
- Propiciar el trabajo interdisciplinario permite mejores resultados en el desarrollo de las investigaciones porque admite formulaciones más robustas.
- Una excelente formación matemática le permite al físico, al químico o al biólogo proponer modelos que se ajusten muy bien a los resultados experimentales obtenidos.
- La eliminación de las falsas fronteras entre los saberes de la ciencia potencia enormemente el manejo de paradigmas comunes a varias disciplinas.
- Una formación científica básica, pero rigurosa, potencia en los jóvenes el amor por las ciencias exactas y naturales.



# ANEXO 1

En el presente anexo encontrarán el nombre, nacionalidad y campo de la Matemática al cual le aportaron muchos de los más famosos matemáticos de todos los tiempos.

## **Teoría de Números:**

Nicómaco (griego). Vieta (francés). Fermat (francés). Euler (suizo). D'Alembert (francés). Gauss (alemán). Cantor (alemán). Dedekind (alemán).

## **Lógica:**

Aristóteles (griego). Leibniz (alemán). Wiener (estadounidense). Turing (británico). Von Newman (estadounidense). Heine (alemán). Bool (británico).

## **Aritmética:**

Nicómaco (griego). Filolao (griego). Pappus (griego). Ramanujan (hindú).

## **Geometría:**

Tales (griego). Pitágoras (griego). Anaxágoras (griego). Hipócrates (griego). Filolao (griego). Demócrito (griego). Platón (griego). Eudocio (griego). Euclides (griego). Arquímedes (griego). Apolonio (griego). Aryabhata (hindú). Brahmagupta (hindú). Thabit ibn-Qurra (árabe). Werner (alemán). Fermat (francés). Descartes (francés). Carnot (francés). Legendre (francés). Galois (francés). Hilbert (alemán). Klein (alemán). Monge (francés). Poncelet (francés). Steiner (suizo). Chebsch (alemán).

**Trigonometría:**

Aristarco (griego). Eratóstenes (griego). Hiparco (griego). Menelao (griego). Ptolomeo (griego). Herón (griego). Pappus (griego). Aryabhata (hindú). Thabit ibn-Qurra (árabe). Omar Jayam (persa). Vieta (francés). Napier (o Neper, británico).

**Álgebra:**

Diofanto (griego). Ptolomeo (griego). Li Yeh (chino). Brahmagupta (hindú). Broskara (hindú). Ramanujan (hindú). Al-Juarismi (persa). Omar Jayam (persa). Abd-al-Hamid ibn-Turk (turco). Fibonacci (italiano). Regiomontano (alemán). Luca Pacioli (italiano). Cardano (italiano). Bombelli (italiano). Vieta (francés). Fermat (francés). De Moivre (francés). Cramer (suizo). Lagrange (francés). Abel (noruego). Galois (francés). Jacobi (alemán). Wiener (estadounidense). Peacock (británico).

**Geometría Analítica:**

Fermat (francés). Descartes (francés). Herman (alemán). Lacroix (francés). Plücker (alemán).

**Cálculo Diferencial e Integral:**

Newton (británico). Leibniz (alemán). Euler (suizo). Condorcet (francés). Legendre (francés). Gauss (alemán). Taylor (británico). Bolzano (checo). Abel (noruego). Jacobi (alemán). Poisson (francés). Peacock (británico).

**Análisis:**

Fermat (francés). Euler (suizo). Lagrange (francés). Condorcet (francés). Laplace (francés). Cantor (alemán). Legendre (francés). Dedekind (alemán). Liouville (francés). Hilbert (alemán).

**Cálculo Vectorial:**

Gauss (alemán). Cauchy (francés). Stokes (británico). Green (británico).

**Ecuaciones Diferenciales:**

D'Alembert (francés). Ricatti (italiano). Laplace (francés). Bernoulli (suizo). Legendre (francés). Cauchy (francés). Poisson (francés). Poincaré (francés). Euler (suizo).

**Variable Compleja:**

Gauss (alemán). Cauchy (francés). Riemann (alemán). Poincaré (francés). Green (británico).

**Probabilidad y Estadística:**

Pascal (francés). De Moivre (francés). Euler (suizo). Bernoulli (suizo). D'Alembert (francés). Condorcet (francés). Laplace (francés). Poisson (francés). Wiener (estadounidense). Borel (estadounidense). Gibbs (estadounidense). Pearson (británico). Galton (británico). Poincaré (francés). Markov (ruso). Kolmogoroff (ruso). Boltzman (alemán). Einstein (alemán). Fermi (italiano). Dirac (británico). Von Neuman (estadounidense).

**Geometría Diferencial:**

Gauss (alemán). Ricci (alemán). Riemann (alemán). Van Laue (alemán). Weyl (alemán).

**Geometrías no-euclídeas:**

Gauss (alemán). Lobachevsky (ruso).

**Geometría Sintética:**

Steiner (suizo). Von Staudt (alemán).

**Geometría Riemanniana:**

Riemann (alemán).

**Geometría Algebraica:**

Dedekind (alemán). Weber (alemán).

Álgebras Asociativas Lineales:

Peirce (estadounidense). Kingdon (estadounidense).

**Álgebra Moderna (o Abstracta):**

Dickson (estadounidense). Moore (estadounidense). Wedderburn (australiano). Frobenius (alemán). Molien (estonio). Hensel (alemán). Krull (alemán). Noether (alemán). Hamilton (británico). Grassmann (alemán). Sylvester (estadounidense).

**Álgebra Homológica:**

Cartan (francés). Eilenberg (polaco). Mac Lane (estadounidense).

**Álgebra Booleana:**

Boole (británico). De Morgan (británico).

**Cálculo de Variaciones:**

Lagrange (francés). Lebesgue (francés). Denjoy (francés).

**Cálculo Operacional:**

Von Neumann (estadounidense). Haar (holandés). Stieltjes (holandés).

**Análisis Funcional:**

Fredholm (sueco). Von Koch (sueco).

**Teoría de Funciones:**

Heine (alemán). Borel (francés). Lebesgue (francés).

**Teoría de Grupos:**

Galois (francés), Wiener (estadounidense).

**Topología:**

Poincaré (francés). Fréchet (francés). Cantor (alemán). Brouwer (holandés). Hausdorff (alemán).

**Física Matemática:**

Hamilton (británico). Thomson (británico). Hill (británico).

De la anterior lista, más del 90% de los matemáticos son (fueron): griegos (pertenecientes a la época Clásica o al Helenismo), Italianos, franceses, alemanes y británicos; menos del 10% son suizos, hindúes, Islámicos (correspondientes a nuestra Edad Media), chinos, holandeses, noruegos, daneses, húngaros, rusos y estadounidenses. Esta relación refleja claramente cuáles son los países del primer mundo (exceptuando a Grecia, que su mérito es milenario), dado que los del tercero no aparecen ni por error.

# ANEXO 2

A continuación se presenta una lista significativa de algunos físicos que realizaron grandes aportes en diferentes campos de la Física. Además de los nombres, se tuvieron en cuenta la nacionalidad y el campo específico en el cual realizaron el aporte.

## **Astronomía:**

Claudio Ptolomeo (griego). Nicolás Copérnico (polaco). Thomas Digges (británico). Tycho Brahe (danés). Johannes Kepler (alemán). Galileo Galilei (italiano). Christian Huygens (holandés). Edmond Halley (británico). John Flamsteed (británico). Thomas Wright (británico). John Michell (británico). William y Caroline Herschel (británicos). Pierre Simon Laplace (francés). Pierre Jansen (francés). Norman Lockyer (británico). Urbain Leverrier (francés). John Couch Adams (británico). William Herschel (británico). Ludwig Pelgrim (alemán). Wladimir Köppen (alemán). Jean Richer (francés). Giovanni Cassini (italiano). James Gregory (británico). Thomas Henderson (británico). Friedrich von Struve (alemán). Ejnar Hertzsprung (danés). Karl Schwarzschild (alemán). Henry Norris Russel (estadounidense). Arthur Eddington (británico). Edward Pickering (estadounidense). Henrietta Swan Leavitt (estadounidense). John Goodricke (británico). Edwin Hubble (estadounidense). Milton Humason (estadounidense). Harlow Shapley (estadounidense). George Lemaitre (belga). Vesto Slipher (estadounidense). Fred Hoyle (estadounidense). Herman Bondi (estadounidense). Thomas Gold (estadounidense). Arno Penzia (estadounidense). Jim Peebles (estadounidense). Robert Wilson (estadounidense). Robert Atkinson (británico). Fritz Houtermans

(alemán). Cecilia Payne (británica). Albrecht Unsöld (alemán). William McCrea (británico). Hans Bethe (alemán). Carl von Weizsäcker (alemán). Fred Hoyle (británico). Willem de Sitter (holandés). William Clifford (estadounidense). Aleksandr Friedmann (ruso). George Gamow (ruso). Ralph Alpher (estadounidense). Robert Hermann (estadounidense).

### **Mecánica:**

Arquímedes (griego). Buridan Jean (francés). Galileo Galilei (italiano). Evangelista Torricelli (italiano). Edmé Mariotte (francés). Blaise Pascal (francés). Christian Huygens (holandés). Robert Hooke (británico). Isaac Newton (británico). Daniel Benoulli (suizo). Jean le Rond d'Alembert (francés). Henry Cavendish (británico). Pierre Simon Laplace (francés). Thomas Young (británico). Siméon Denis Poisson (francés). Gaspard Gustave de Coriolis (francés). William Hamilton (británico). Jean Bernard Foucault (francés). Hermann von Helmholtz (alemán). James Clerk Maxwell (británico). Hendrik Antoon Lorentz (holandés). Jules Henri Poincaré (francés). Hermann Minkowski (lituano).

### **Ondas:**

Christian Huygens (holandés). Robert Hook (británico). Thomas Young (británico). Agustin Fresnel (francés). Willebroed Snell van Roijen (holandés). James Clerk Maxwell (británico). Heinrich Hertz (alemán). Guglielmo Marconi (italiano). Nicolo Tesla (croata).

### **Óptica y espectroscopia:**

Arquímedes (griego). Ole Romer (danés). Francesco Grimaldi (italiano). Robert Hook (británico). Thomas Young (británico). Agustin Fresnel (francés). Francois Arago (francés). Hendrik Lorentz (danés). William Wollaston (británico). Josef van Fraunhofer (alemán). Robert Bunsen (alemán). Gustav Kirchhoff (alemán). Armand Fizeau (francés). Léon Foucault (francés). Albert Michelson (estadounidense). Edward Morley (estadounidense). George Fitzgerald (británico).

### **Termodinámica:**

Thomas Newcomen (británico). James Watt (británico). Benjamin Thompson (estadounidense). William Thomson (británico). Sadi Carnot (francés). Rudolf Clausius (alemán). Hermann von Helmholtz (alemán). Clausius Tyndall (alemán). James Joule (británico). James

Clerk Maxwell (británico). Willard Gibbs (estadounidense). Ludwig Boltzman (alemán). Ilya Prigogine (ruso).

### **Electromagnetismo:**

William Gilbert (británico). Henry Cavendish (británico). Stephen Gray (británico). Charles Du Fay (francés). Benjamin Franklin (estadounidense). Charles Coulomb (francés). Pieter van Musschenbroek (alemán). Luigi Galvani (italiano). Alessandro Volta (italiano). Pierre-Louis de Maupertuis (francés). Jean Baptista Biot (francés). Humphry Davy (británico). Michael Faraday. Hans Christian Oersted (danés). Peter Barlow (británico). Samuel Christie (británico). James Clerk Maxwell (británico). Gustav Kirchhoff (alemán). Heinrich Hertz (alemán). Daniel Nathans (estadounidense).

### **Física experimental:**

Charles Wheatstone (británico). Willy Foulmer (británico). Geoffrey Burbidge (británico). Margaret Burbidge (británica).

### **Estadística:**

Ludwig Boltzmann (alemán). Albert Einstein (alemán). Louis-Georges Gouy (francés). Enrico Fermi (italiano). Paul Dirac (británico). William Ransley (británico).

### **Física Atómica:**

Pierre Gasendi (italiano). Joseph John Thomson (británico). Ernest Rutherford (neo zelandés). Frederick Soddy (británico). Bertram Boltwood (británico). Hans Geiger (alemán). Ernest Marsden (británico). James Chadwick (británico). Francis Aston (británico). Walter Bothe (alemán). Frédéric Joliot (francés). Irène Curie (francesa). Robert Millikan (estadounidense). Walter Heitler (alemán). Fritz London (alemán). Linus Pauling (estadounidense). William Henry Bragg (británico). William Lawrence Bragg (británico). Max von Laue (alemán). Igor Vasilyevich Kurchator (ruso).

### **Relatividad y Física Cuántica:**

Albert Einstein (alemán). Max Planck (alemán). Philipp Lenard (alemán). Niels Bohr (danés). Louis De Broglie (francés). Clinton Davisson (estadounidense). Lester Germer (estadounidense). George

Thomson. Arthur Compton (estadounidense). Erwin Schrödinger (austriaco). Werner Heisenberg (alemán). Max Born (alemán). Pascual Jordan (alemán). Paul Dirac (británico). Carl Anderson (estadounidense). Wolfgang Pauli (austriaco). Enrico Fermi (italiano). Sin-itiro Tomonaga (japonés). Julian Schwinger (estadounidense). Richard Feynman (estadounidense).

**Física de Emisiones:**

Heinrich Geissler (alemán). Julius Plüker (alemán). Johann Hittorf (alemán). Eugene Goldstain (británico). Hermann Helmholtz (alemán). Wilhelm Röntgen (alemán). Henri Becquerel (francés). Antoine Becquerel (francés). Pierre Curie (francés). Marie Curie (polaca).

# ANEXO 3

A continuación se listarán algunos de los nombres de químicos que, durante la historia de la ciencia, con sus aportes, lograron la consolidación de la Química como ciencia independiente. Se anotan también la nacionalidad y el área en el cual desarrollaron su mayor aporte.

## **Química Natural:**

Anaxágoras (griego). Leucipo (griego). Demócrito (griego). Aristóteles (griego). Epicuro (romano). Lucrecio (romano). John Ray (británico). Francis Willughby (británico). Antoine Laurent Lavoisier (francés).

## **Química General:**

Philippus Aureolus Theophrastus Bombast von Hohenheim (Paracelso) (Suizo). Mijail Vasilievich Lomonosov (ruso). John Dalton (británico). Joseph Louis Proust (francés). Claussius Tyndall (alemán). Henry Le Chatelier (francés). Robert Brown (británico). Jacobus Henriens Van't Hoff (holandés). Cato Guldberg (noruego). Peeter Waage (noruego). Svante Arrhenius (sueco). Friedrich August Kekulé von Stradonitz (alemán). Johannes Nielaus Bronsted (alemán). Thomas Lowry (estadounidense). Gilbert Newton Lewis (norteamericano).

## **Química de los elementos:**

Johann Wolfgang Döbereiner (alemán). Alexandre Berthier de Chancourtois (francés). Edward Frankland (británico). Jöns Berzelius (sueco). John Newlands (británico). Dimitri Mendeleev (ruso). Lothar Meyer alemán). Henry Moseley (británico).

### **Química de los Gases:**

Joseph Priestley (británico). George Stahl (alemán). Carl Scheele (sueco). Humphry Davy (británico). Joseph Louis Gay-Lussac (francés). Robert Boyle (británico). Edmé Mariotte (francés). Jacques Alexandre Charles (francés). John Dalton (británico). Thomas Graham (británico). Johannes Diderik Van Deer Waal (holandés). Claude Louis Berthollet (francés). Ludwig Boltzman (alemán). James Clerk Maxwell (británico). Rudolf Clausius (alemán).

### **Química Inorgánica:**

Friedrich Wöhler (alemán). Robert Boyle (británico). René Antoine de Réaumur (francés). Joseph Black (británico). Georg Brandt (sueco). Joseph Louis Proust (francés). Julius Lothar Meyer (alemán). Francois Marie Raoult (francés). Pierre-Louis Dulong (francés).

### **Química Orgánica:**

Stanislao Cannizzaro (italiano). Fiedrich Wöhler (alemán). Felix Hoppe-Seyler (alemán). Gilbert Lowis (estadounidense). August Wilhelm von Hofmann (alemán). Ernst Otto Fischer (alemán). Johann Friedrich Baeyer (alemán). Fredrich August Kekulé. Alfred Bernhard Nobel (sueco).

### **Electroquímica:**

Humphry Davy (británico). Michael Faraday (británico). Alessandro Volta (italiano). Luis Galvani (italiano). Hermann von Helmholtz (alemán). Svante Arrhenius (sueco). Johannes Nicolaus Brönsted (danés). Peter Joseph Debye (estadounidense). Arne Wilhelm Tiselius (sueco). Rudolph Marcus (canadiense).

### **Química Molecular:**

Johann Loschmidt (austriaco). Gilbert Newton Lewis (estadounidense). Irving Lagmuir (estadounidense). Albrecht Kossel (alemán).

### **Química Atómica:**

Joseph Louis Proust (francés). John Dalton (británico). Amadeo Avogadro (italiano). William Prout (británico). Edward Frankland (británico). Archibald Couper (británico). Henry Cavendish (británico). Friedrich August Kekulé (alemán). Stanislao Cannizzaro (italiano). Joseph John Thomson (británico). Ernest Rutherford (británico). Michael Faraday

(británico). Eugene Goldstein (alemán). Henry Moseley (británico). James Chadwick (británico). Niels Bohr (danés). Wolfgang Pauli (alemán).

**Química Radiactiva (o Nuclear):**

Antoine Henri Becquerel (francés). Ernest Rutherford (neo zelandés). Pierre Curie (francés). Marie Curie (polaca).

**Bioquímica:**

Max Perutz (británico). Alfred Missky (estadounidense). John Randall (británico). Maurice Wilkins (británico). Rosalyn Franklin (británica). Linus Pauling (estadounidense). Richard Kuhn (austriaco). Albrecht Kossel (alemán). Edwin Krebs (estadounidense). Joshua Lederberg (estadounidense).



# ANEXO 4

A continuación aparecen los nombres, nacionalidades y campos de la Biología en los cuales, a través de la historia, hicieron sus aportes distinguidos científicos.

## **GEOLOGÍA:**

George Simpson (británico). James Hutton (británico). Charles Lyell (británico). Gideon Mantell (británico). William Smith (británico). James Croll (británico). James Dana (estadounidense). Edward Suess (estadounidense). Osmond Fisher (estadounidense). Alfred Wegener (alemán). Arthur Holmes (británico). Bertran Boltwood (estadounidense). Walter Elsasses (alemán). Edward Bullard (británico). Harry Hess (estadounidense). Dan McKenzi (estadounidense). Frederick Vine (estadounidense). Drummond Mathews (estadounidense). Tuzo Wilson (canadiense). Robert Parker (estadounidense). Jason Morgan (estadounidense). Alfred Russell Wallace (británico). Bernard Kuhn (suizo). Jean Esmark (noruego). German Reinhard Bernhardi (alemán). Jean Pierre Perradian (suizo). Johann von Charpentier (alemán). Louis Agassiz (suizo). Roderick Murchison (británico). William Buckland (británico). Joseph Adhémar Francés.

## **Naturalismo:**

Aristóteles (griego). Hipócrates (griego). Galeno (griego). Lucrecio (romano). Plinio (romano). Varrón (romano). Carl Linnaeus (sueco). Georges Louis Leclerk, conde de Buffon (francés). Jean Baptista Lamarck (francés). Geoges Cuvier (francés). Geoffroy Saint-Hillaire

(francés). Alfred Russell Wallace (británico). Georges Jackson Mirart. Alexander von Humboldt (alemán). José Celestino Mutis (español). Charles Darwin (británico). Jean André Peyssonel (francés). Karl Ernst von Baer (estonio).

#### **Evolucionismo:**

Charles Darwin (británico). Roger Lewin (británico). Teodosius Dobzhansky (estadounidense).

#### **Botánica:**

Aristóteles (griego). Teofrasto (griego). Sébastian Vaillant (francés). John Ray (británico). Hugo de Vries (holandés). Lediard Stebbius (holandés). Robert Brown (británico).

#### **Zoología:**

Aristóteles (griego). Plinio el Viejo (romano). Jean Baptista Lamarck (francés). Ernst Mayr (alemán). Jane Goodall (británica). Charles Doolittle Walcott (canadiense). Nikolaas Tinbergen (holandés). Karl Ritter von Frisch (austriaco). Konrad von Gessner (alemán). Francesco Redi (italiano). René Antoine de Réamur (francés). Georges Cuvier (francés). Karl Ernst von Baer (estonio). Jean Louis Agassiz (francés). Julian Sorell Huxley (francés).

#### **Morfofisiología:**

Aristóteles (griego). Leonardo Da Vinci (italiano). Andreas Vesalius (belga). William Harvey (británico). Gabriele Falapio (italiano). Girolano Fabrizio (italiano). Miguel Serveto (español). Marcelo Malpighi (italiano). Giovanni Borelli (italiano). Luigi Galvani (italiano). Edward Tyson (británico). Claude Bernard (francés). Ivan Petrovich Pávlov (ruso).

#### **Etología:**

Konrad Lorenz (austriaco). Nikolaas Tinbergen (holandés). Karl von Frisch (austriaco). John Watson (estadounidense). Edward Lee Thorndike (estadounidense). Burrhus Frederick Skinner (estadounidense).

#### **Biología Molecular:**

Linus Pauling (estadounidense). Francis Crick (británico). James Dewey Watson (estadounidense). Rosalind Franklin (británica). Max

Perutz (alemán). Francois Jacob (francés). Severo Ochoa (español). Christiane Nüsslein-Volhard (alemana). Albert Kornblihtt (alemán). Robert Sinshheimen (estadounidense).

### **Genética:**

Gregor Mendel (moravio). Hugo de Vries (holandés). Thomas Hunt Morgan (estadounidense). William Bateson (británico). Karl Correns (alemán). Erich Tschermak (austriaco). Friedrich Miescher (suizo). Oskar Hertwig (estadounidense). Edmon Wilson (estadounidense). Phoebus Levene (estadounidense). Barbara McClintock (estadounidense). Frederick Griffith (británico). Oswald Theodore Avery (estadounidense). George Wells Beadle (estadounidense). Alfred Day Hershey (estadounidense). Martha Chase (estadounidense). Edward Lawrie Tatum (estadounidense). Stanley Cohen (estadounidense). Herbert Boyer (estadounidense). Jacques Monod (francés). Francois Jacob (francés). André Lwoff (francés). Paul Berg (estadounidense).

### **Biología Celular:**

Anton van Leeuwenhoek (holandés). David Frye (estadounidense). Michael Ediden (estadounidense). Michael Stuart Brown (norteamericano). Joseph Goldstein (estadounidense). Günter Blobel (alemán). Christian René de Duve (belga). Robert Hooke (británico). Robert Horvitz (británico). Peter Dennis Mitchel. Theodore Schwann (alemán). Camilo Golgi (italiano). Albert Claude (belga). George Emil Palade (estadounidense). Hugo von Mohl (alemán). Karl Wilhelm von Nägeli (suizo). Bert Sokmann (alemana). Erwin Neher (alemán).

### **Microbiología:**

Anton van Leeuwenhoek (holandés). Alexander Fleming (británico). Lazzaro Spallanzani (italiano). Edward Anthony Jenner (británico). Christian Gottfried Ehrenberg (Alemania). Louis Pasteur (francés). Joseph Lister (británico). Ferdinand Julius Cohn (polaco). Carl Joseph Eberth (Alemania). Heinrich Hermann Robert Koch (alemán). Charles Louis Alphonse Laveran (francés). Walther Hesse (alemán). Walter Reed (estadounidense). Jaume Ferran Clua (español). Martinus Willem Beijerinck (holandés). Julius Richard Petri (alemán). Shibusaburo Kitasato (japonés). Hans Christian Joachim Gram (danés). Pierre Paul Émile Rour (francés). Emil Adolf von Behring (alemán). Paul Ehrlich

(alemán). Theobald Smith (estadounidense). Alexandre Emile John Yersin (suizo). Dmitri Iósifovich Ivanovski (ruso). Jean-Marie Camille Guérin (francés). Alice Catherine Evans (estadounidense). Rudolf Stefan Weigi (polaco). Rebecca Craighill Lancefield (estadounidense). Salvador Edward Luria (italiano). Jonas Edward Salk (estadounidense). Lynn Margulis (estadounidense). Ignaz Semmelweis (húngaro). Carlos Justiniano Ribeiro Chagas (brasileiro). Fred Griffith (británico). Oswald Avery (estadounidense). Maclyn McCarthy (estadounidense). Colin Macleod (canadiense). Erwin Chargaff (austriaco). Hamilton Othanel Smith (estadounidense).

# 8.

## Referencias

Boyer, Carl y C. Merzbach. (1991). *A History of Mathematics*. New York. John Wiley & Sons, Inc.

Bunge, M. (1983). *La investigación científica*. Barcelona. Editorial Ariel, S. A.

Enciclopedia Temática Brújula. (1998). Bogotá. Editorial Norma.

Enciclopedia Temática Espasa. (2003). Barcelona. Espasa Calpé.

Enciclopedia Temática Time Life. (2007). México D. F. Ediciones Culturales Internacionales.

Ferrater M., J. (2004). *Diccionario de Filosofía I*. Barcelona. Editorial Ariel, S. A.

Gran Enciclopedia Círculo. (1984). Vol. 3. Barcelona. Plaza & Janés S. A, Editores.

Kuhn, T. (1992). *La estructura de las revoluciones científicas*. México D. F. Fondo de Cultura Económica.

Martínez E., L. y Martínez H. (1996). *Diccionario de Filosofía*. Bogotá D. E. Panamericana Editorial Ltda.

Parra E., N. (2013). *Educación y desarrollo humano*. Obras Selectas 3. Ibagué. Universidad de Ibagué.

Russell, B. (1975). *Fundamentos de filosofía*. Barcelona. Plaza & Janés, S. A., Editores.

Súper Diccionario Ilustrado Color. (2009). Bogotá D. C. Zamora Editores.



La Teoría del Conocimiento es uno de los campos más hermosos de la filosofía, la ciencia y de la pedagogía misma. El ser humano ha pensado en ello desde tiempos inmemoriales, pero todo parece indicar que no ha pensado lo suficiente porque frecuentemente aparecen interrogantes que cuestionan algunos conceptos que eran tenidos por verdades. El problema principal que hoy tenemos para entender los nuevos problemas, o paradigmas si se quiere, que nos plantea la Teoría del Conocimiento es que se requiere una estructura formal, desde lo filosófico, y cognitiva, desde la ciencia, que no tenemos. Creemos, erradamente, que para aprender es suficiente la intención y la dedicación y ello solo es válido cuando se trata de temas muy básicos. El aprendizaje es un proceso complejo que implica método, orden, intención, medios y entornos, entre otros. El aprendizaje de objetos científicos exige además un lenguaje y una estructura, características estas que solemos pasar por alto.

ISBN: 978-958-56159-1-5



9 789585 615915