cer ordenadamente las cosas, o procedimientos para tratar un conjunto de problemas, podemos definir al método científico como el orden que se sigue en las ciencias para investigar y buscar la verdad. ¿ Significa ésto que en la aplicación del método científico se garantizan por anticipado el descubrimiento de nuevos hechos y la invención de nuevas teorías, asegurando así el éxito de la investigación científica ? Antes de responder a esta cuestión analicemos los siguientes casos:

En el siglo XVIII uno de los problemas que más apasionaba e intrigaba a los químicos de esa época era la determinación de la estructura del benceno (compuesto orgánico); éstos habían fracasado en todos sus intentos por resolver esta cuestión. Uno de los investigadores que más interés demostraba en resolver este problema era Augusto Kekulé, químico alemán. Este, al igual que muchos de sus contemporáneos, sabía que el benceno constaba de seis átomos de carbono y seis de hidrógeno, más ¿cuál era la forma en que éstos se combinaban, acomodaban y unían en el espacio? Kekulé dio con la solución de una manera poco común. Pero dejemos que sea él mismo quien nos la refiere: "(...) Estuve en mi mesa escribiendo un manual, pero el trabajo se estancó, mis pensamientos estaban muy lejos; los átomos saltaban ante mis ojos, con mi vista mental distinguía sus largas series retorciéndose cual serpientes; de pronto, una de las serpientes se agarró de su propia cola y en esa postura empezó a voltear ante mis ojos como si me lanzara un reto. Me sentí como despertado por la fulguración de un rayo (...)".

Una imagen "eventual", surgida en la conciencia de Kekulé, le ayudó a hacer la deducción de que los átomos de carbono son capaces de cerrarse y formar anillos tal fué la solución a este problema.

Otro caso similar al anterior es el de Huyghens (siglo XVIII), quien al observar el movimiento de las olas concibió la Teoría Ondulatoria de la Luz.

Podríamos concluir (respondiendo a nuestra pregunta) que el método científico no es un patrón infalible para lograr descubrimientos. Entonces, ¿queremos dar a entender que todos los descubrimientos e investigaciones realizadas por los científicos son cuestión de suerte o del azar? La respuesta a esta pregunta es un *no* rotundo; esta clase de "suerte" se presenta en aquellos que poseen una cierta actitud científica, consistente en: comprensión profunda del problema, una mayor intuición, un pensamiento disciplinado y creativo y sagaz, dispuesto a sacar provecho de las situaciones imprevistas. Estos factores, en mayor o menor grado, juegan un papel importante en el éxito de la investigación. Indudablemente que cada investigador (incluso los antes mencionados) siguieron y siguen durante sus investigaciones ciertas pautas generales que marca el método científico. Estas, de manera general, nos indican la manera de plantear problemas y poner a prueba (comprobar) la solución propuesta. El seguir estas pautas evita perderse en el caos aparente de los fenómenos. Podemos enunciarlas de la siguiente manera:

1.- Identificar el problema y enunciar preguntas bien formuladas; desechar los aspectos no esenciales del mismo y recopilar todos los datos posibles relacionados con éste.

2.- Formular hipótesis que traten de explicar, en forma general y simple, el problema; es decir, enunciar conjeturas que den respuesta al problema.

3.- Seleccionar o diseñar las técnicas con que había de comprobarse o verificarse la hipótesis, previa comprobación de la confiabilidad de éstas.

4.- LLevar a cabo la comprobación.

5.- Análisis de los resultados y conclusiones.

Si la comprobación resulta positiva la hipótesis queda reforzada; si es cierta para una gran cantidad de casos puede constituirse en Teoría o Ley. Si es negada la hipótesis, se repite todo el proceso.

6.- Elaborar un informe escrito sobre todo el ciclo de la investigación y formular los nuevos problemas originados por los resultados de la investigación.

Estas pautas de investigación son aplicables para cualquier tipo de ciencia. En el caso de las ciencias llamadas experimentales revisten especial interés los puntos 3 y 4, que constituyen la esencia del método experimental. Antes de pasar al estudio de este método, explicaremos en qué consisten cada uno de los pasos del método científico. Facilitaremos la tarea utilizando una parábola; es decir, la narración de un suceso fingido, del que se deduce, por comparación o similitud, una verdad importante o una enseñanza.

Ejemplo de problema científico. Es necesario que el estudiante sepa localizar, con toda precisión, un problema científico, discriminando, para ello, todo conocimiento que no sea científico. Para hacer posible esto, se le pedirá al estudiante, que revise publicaciones científicas para que entresaque una serie de problemas científicos y encuentre, a su vez, sus rasgos característicos.

El siguiente ejemplo se refiere al papel de los espermatozoides en la fecundación. En el siglo XVIII, los científicos no estaban seguros de cómo el semen masculino causaba la fertilización del óvulo. Se pensaba en dos hipótesis:

1.- El fluido seminal del macho debe entrar en contacto directo con el huevo antes de que empiece el desarrollo, o

2.- Era únicamente necesario que un gas o vapor, que despedía el semen al evaporarse, hiciera contacto con el huevo (óvulo).

Parece ser que la segunda posibilidad, la hipótesis del vapor alcanzó mayor difusión, por lo cual el científico italiano Lázaro Spallanzani (1729-1799) la puso a prueba.

Planteamiento del problema. ¿ Afectan los vapores de los espermatozoides a la fertilización ? Se ha discutido durante largo tiempo y aún se discute, si las partes más visibles y gruesas del semen ayudan en la fecundación (empezando así el desarrollo) del hombre y de los animales; o si una parte muy sutil como el vapor que emana de éste y al cual se le llama "aura espermática", es suficiente para llevar a cabo esta función.

Aquí se plantea el problema: ¿ causa el semen propiamente el desarrollo del huevo ? o ¿ lo hace el vapor que emana del semen? En este momento debemos ver si se trata de un problema científico y observamos que sí lo es en virtud de que es racional y objetivo, susceptible de verificación, etc. Además debemos constatar que se trata de un problema correctamente planteado.

Cuerpo de conocimientos existentes. En la época de Spallanzani, había dos hipótesis que trataban de explicar el problema de la fecundación. Una de estas hipótesis sostenía que el vapor espermático realizaba la fecundación; Spallanzani señala la falta de evidencia experimental de esta hipótesis. Otra hipótesis sostenía que la fertilización ocurre conjuntamente o acompañada por la parte material del semen. El científico no se inclina hacia una u otra explicación, hasta no confirmar con la experiencia cuál es la verdadera (objetividad).

Observación. Para poder decidir sobre el problema es de gran importancia utilizar un medio eficiente que consiste en separar el vapor del cuerpo mismo del semen y hacerlo de tal manera, que los embriones queden más o menos envueltos en el vapor, y observar, de esta manera si nacen los organismos por medio del mero vapor.

Hipótesis. Si nacen los organismos por medio del vapor, entonces, esto sería evidencia de que este vapor seminal ha sido capaz de fertilizar, o si, por el contrario, no nacen, entonces, estaríamos igualmente seguros de que el vapor espermático sólo es insuficiente y que se necesita acción adicional de alguna parte material de esperma.

Encontramos aquí una suposición al mismo tiempo que una predicción. La ciencia predice acontecimientos.

Experimento. Para poder bañar los huevos totalmente en el vapor espermático, Spallanzani puso sobre un cristal de reloj un poco menos de once gramos de líquido seminal de varios sapos. En un cristal similar, pero un poco más pequeño, puso 26 huevos, los que debido a la viscosidad de la gelatina, estaban fuertemente adheridos a la parte cóncava del cristal.

Aquí se trata de un experimento, ya que el científico realiza una modificación consciente de la realidad. Asi mismo, se describe el aparato experimental utilizado. El diseño de los aparatos experimentales es a menudo una parte muy importante del experimento.

Verificación de la hipótesis. El científico puso el segundo cristal sobre el primero y permanecieron unidos durante cinco horas en su laboratorio, a una temperatura de 18°F. La gota de fluido seminal fue colocada precisamente bajo los huevos, los cuales deben haber sido totalmente bañados por el vapor que emanó, más aun, la distancia entre los huevos y el líquido no era de más de 1 ligne (2.2 mm.). Spallanzani examinó estos huevos después de cinco horas y los encontró cubiertos de un rocío que humedecía los dedos al tocarlos; sin embargo, esto era únicamente una parte del semen, el cual se había evaporado y disminuido en peso un gramo y medio. Los huevos entonces habían sido bañados por un gramno y medio de vapor espermático; ya que éste no podía escaparse por los cristales tan estrechamente fijos uno en el otro.

A pesar de todo esto, al ponerse en agua los huevos se murieron. La falta de desarrollo corresponde a una conclusión falsa; o sea la predicción que sigue, de aceptarse la hipótesis que se está probando, no se convierte en realidad. Mediante este experimento Spallanzani, destruyó la hipótesis del vapor espermático; sin embargo no quedó del todo satisfecho y continuó repitiendo sus experimentos. La verificación no es definitiva, es susceptible de nuevas posibilidades.

Al intentar explicar un fenómeno de la naturaleza, es necesario observarlo cuidadosamente. Una vez hecho esto, estamos en posibilidad de formular una hipótesis. Sin embargo, una sola observación del fenómeno no resulta suficiente para tratar de explicarlo; es entonces cuando el fenómeno es deliberadamente provocado-

por el investigador para realizar observaciones mejor controladas, tantas veces como sea necesario. A esto le llamamos *experimento*. Hecho ésto, es posible formular una hipótesis que tenga más probabilidad de ser cierta y, como ya lo señalamos, es necesario llevar ésta a comprobación. En este punto intervienen, fundamentalmente, la imaginación e inventiva del investigador, pues en ocasiones es necesario idear nuevas técnicas y aparatos, así como comprobar la exactitud de éstos. La comprobación se lleva a cabo por medio de la experimentación, en la que pueden modificarse, o no, las condiciones originales en que se presenta el fenómeno. En el caso de los fenómenos químicos, estos se controlan mejor en el laboratorio.

En realidad, las condiciones bajo las cuales se realiza un experimento (repetición provocada de un fenómeno) pueden ser modificadas incluso antes de formulada la hipótesis. De la misma manera, la observación no se efectúa únicamente al presentarse el fenómeno por primera vez, sino que está presente durante todo el desarrollo del experimento.

La observación no es simplemente el ver las cosas. Una buena observación exige concentración, prestar atención a los detalles, paciencia y práctica. Con mucha frecuencia el químico amplía la capacidad de observación de sus sentidos mediante el uso de instrumentos (termómetros, balanzas, probetas, etc.). Cuando la observación sólo reporta el de qué tipo o clase son los cambios que se presentan en un fenómeno, hablamos de *observaciones cualitativas*. Por ejemplo, si solo hablamos de un cambio de coloración, de forma, de un enfriamiento o calentamiento, aparición de un gas, formación de un sólido, etc., estamos haciendo observaciones cualitativas. Pero al químico le interesa saber en qué cantidad y bajo qué condiciones se presentan esos cambios. Así, por ejemplo, le interesa saber en cuántos grados aumentó o disminuyó la temperatura durante el experimento, cuántos gramos de un sólido se formaron ron, etc. A este tipo de observaciones se les conoce como *observaciones cuantitativas*. Ambas observaciones, cualitativas y cuantitativas, son los hechos básicos de la Química.

Ahora bien, si a partir de los resultados obtenidos de una serie de experimentos sobre un caso particular formulamos una explicación general, estamos empleando el método inductivo. Por ejemplo, al estudiar el efecto del calor, bajo diferentes circunstancias, sobre el hierro, aluminio y cobre, concluíriamos en que los tres se dilatan. Aplicando el método inductivo generalizaremos a: "Todos los metales se dilatan con el calor".

El proceso contrario a la inducción recibe el nombre de deducción y consiste en partir de una situación general, de una teoría, para llegar al caso particular de un experimento.

7. LA APLICACION DEL METODO CIENTIFICO.

Para concluir esta unidad, y a modo de ejemplo de la aplicación del método científico en la Química, presentamos a continuación los trabajos desarrollados por Joseph Priestley y Antonio L. Lavoisier, mismos que permitieron a este último formular la moderna teoría de la combustión. Justo es aclarar que no pretendemos con los siguientes párrafos el reforzar la ya de por si popular imagen de la ciencia que considera a ésta como producto del esfuerzo individual de algunos cuantos sabios, pero tampoco pretendemos restarle méritos a la inmensa obra, que en el campo de la Química realizara Lavoisier. Antes bien, deseamos resaltar como algo esencial y determinante, por un lado, el trabajo de una comunidad científica, que arrojando resultados, lo hace la mayor de las veces a tientas y sin un cabal conocimiento de causa; por el otro el trabajo de un miembro de esa comunidad científica que, como producto de su mentalidad, organiza y da forma a las ideas, inspiraciones y conocimientos de sus contemporáneos.

Pretender limitar los antecedentes científicos con que estaba Lavoisier únicamente a los trabajos de Black y Priestley sería pecar de ingenuos; sin embargo por razones de espacio nos limitaremos fundamentalmente a estos dos experimentadores, sin dejar de reconocer como determinantes en la formación intelectual de Lavoisier los trabajos, entre otros, de Jean Rey, Pierre Bayen y Carl V. Scheele.

LA TEORIA DEL FLOGISTO.

Sobre la base de las experiencias obtenidas en la realización de los procesos metalúrgicos y de las vinculadas a las reacciones de combustión, oxidación y calcinación que implican de una forma directa la presencia del fuego. Los primeros químicos trataron de dar una respuesta a dos preguntas formuladas desde antaño ¿Por qué algunas cosas arden y otras no? ¿Cuál es la naturaleza de la combustión? Según las antiguas concepciones griegas todo lo que puede arder contiene dentro de sí el elemento fuego, que se libera bajo condiciones apropiadas. Las concepciones alquímicas eran semejantes, salvo que se concebía a los combustibles como algo que contenía azufre. Empero

en ambos casos estos ingredientes estaban sólo vagamente definidos y no se les empleaba en la explicación de los diversos fenómenos observados.

Jorge Ernesto Stahl (1660-1734), basándose en los trabajos de Joachin Becher, formuló la llamada Teoría del Flogisto. Según esta Teoría este no es idéntico ni al azufre -del cual sólo es un constituyente- ni al fuego -del cual es la condición material- el flogisto puro no puede ser aislado, no tiene estado sólido, líquido o gaseoso, aunque el humo que escapa de la combustión de los aceites esté en gran parte formado por flogisto. Los cuerpos fácilmente inflamables, como aceites, carbón, azufre, fósforo, grasa, etc., son ricos en flogisto, este puede pasar a los cuerpos carentes de él. Esta teoría explicaba que un cuerpo está formado por dos partes: una de ellas era el flogisto, la otra variaba según de qué cuerpo se tratara. La unión de estas dos partes confería al cuerpo su apariencia y propiedades características.

Así, por ejemplo, y de acuerdo a esta teoría, el azufre estaba formado por el flogisto y el ácido sulfúrico. Al quemar el azufre se desprendía el flogisto, en forma de llamas, y quedaba un resíduo: el ácido sulfúrico. La unión de ambos formaba el azufre. El fósforo estaba formado por ácido fosfórico y flogisto; al quemar aquél se desprendía el flogisto y quedaba como resíduo el ácido.

Al calentar un cuerpo rico en flogisto con otro carente de él, el flogisto pasa del primero al segundo de tal modo que si calentamos un mineral que contiene poco flogisto con carbón vegetal rico en éste, el flogisto pasa del carbón al mineral, lo cual daba como resultado la formación de un metal.

MINERAL + FLOGISTO = METAL

La Teoría del Flogisto logró aceptación rápidamente, pues fundamentó casi todos los hechos experimentales que se habían ido acumulando en aquella época: la flama ascendente de una vela, y en general de toda sustancia que arde, que aparentemente tira del cuerpo que se quema y que indicaba que el flogisto se escapaba durante la combustión. Lo observado, por ejemplo, cuando en una cuchara de hierro se calienta una pequeña cantidad de plomo pulverizado, que se funde, quema y transforma en un polvo amarillo. De acuerdo con la teoría del flogisto, ese polvo amarillo es ceniza

de plomo, o plomo menos flogisto. Por lo tanto, si se podía encontrar algún camino para añadir flogisto a esta ceniza de plomo, se producirá otra vez plomo. Y esto es precisamente lo que pasaba al calentar la ceniza de plomo con carbón, sustancia catalogada como rica en flogisto, el cual pasaba del carbón a la ceniza.

Presentamos aquí, de manera resumida, los fundamentos y consideraciones de la Teoría del Flogisto que daba explicación a ciertos fenómenos químicos; esto como parte del paso del método científico que señala "Identificar el problema y enunciar preguntas bien formuladas; desechar los aspectos no esenciales del mismo y recopilar todos los datos posibles relacionados con éste". Lavoisier necesariamente estaba enterado hasta el mínimo detalle de esta Teoría ya que como la totalidad de los químicos de la época aceptaban ésta como válida.

Durante más de un siglo, se consideró que la teoría del flogisto era una explicación correcta de la combustión y hubo muchos experimentadores eminentes de la química que la aceptaron como correcta. Pero surgieron dificultades que los seguidores de esta teoría no lograron explicar. Las sustancias más combustibles, como la madera, el papel y la grasa, parecían consumirse en gran parte al arder. El hollín y las cenizas restantes eran mucho más ligeras que las sustancias originales, lo cual era de esperar ya que el flogisto había abandonado la sustancia original. Pero cuando un metal se dejaba a la interperie y se enmohecía (actualmente decimos que se oxida) y de acuerdo con la teoría de Stahl, se debería de producir un desprendimiento lento del flogisto lo cual provocaría una disminución en el peso del metal. Igual caso debería presentarse al calcinar (calentar fuertemente) un metal, pues recordemos que

METAL = MINERAL + FLOGISTO

con el fuerte calentamiento el Flogisto debería escapar y quedar sólo el mineral, mucho más ligero. Sin embargo, los hechos experimentales no concordaban con lo que la teoría proponía, pues tanto el metal "enmohecido" como el calcinado pesaban más que antes.

En el momento que una Teoría o Ley aparece en contradicción con los resultados obtenidos durante la experimentación, será desechada o modificada para hacerla válida; este proceso de desechar una Teoría ya establecida (aceptada por la comunidad científica) y formular otra nueva, que explique cierta parte de la realidad, es un proceso que puede tomar varios años y que no se concluye en un sólo intento.