

### Resultados y Análisis

Se realizó la proyección de una película, que fue precedida de un cuestionario que contenía preguntas específicas sobre la misma. De la corrección del cuestionario se pudo observar que en realidad los muchachos no saben leer lo que la película les brinda, y no saben ni siquiera leer las preguntas que se les hacían, respondían cosas que no tenían nada que ver con lo que se les preguntaba.

Aunque lo que se propuso en un principio fue realizar un sondeo sobre las estrategias de lectura, primero me permití averiguar cómo era que lo hacían en general y los resultados muestran que es más importante incentivarlos a la lectura, pero a la lectura correcta, en todo el sentido de la palabra.

Con los resultados obtenidos, se formulará una propuesta para la práctica pedagógica III, para hacer que los estudiantes, aprendan a leer correctamente.

### **BIBLIOGRAFÍA**

CUEV AS, S, 1990 La comprensión de lectura en textos de ciencias naturales. Enseñanza de las ciencias, España, Vol.8. No.1.

ARRUBAS, E. 1987 El control de la propia comprensión en el aprendizaje de textos científicos, En Enseñanza de las ciencias. España. Edición especial. Sep.



**Medio informativo del sistema de  
Práctica Pedagógica y Didáctica**

**Universidad Pedagógica Nacional  
Departamento de Química**

## *Seminario de Química*

### **REACCIONES QUÍMICAS OSCILANTES \***

**Andrea Bustamante \*\***

Tesis:

**E**xiste un tipo de reacciones químicas que contradicen la segunda ley de la Termodinámica, son estas, las reacciones químicas oscilantes.

En la naturaleza se observan modelos de comportamiento. Algunos son ordenados y otros desordenados; hay decadencia pero también hay crecimiento; hay vida pero también hay muerte. De hecho estas tendencias contrapuestas van unidas, son inseparables. La segunda ley asegura que todo en la naturaleza tiene un sólo sentido, de ida hacia el desorden y la decadencia. Sin embargo, esto no encuadra en los modelos generales que se observan en la naturaleza. El concepto de "entropía", fuera de los límites estrictos de la termodinámica, es un concepto problemático. A continuación se presentan los fundamentos teóricos establecidos, de modo que se argumente la tesis planteada .

*"Hubo un tiempo en que se creyó que violaban las leyes de la naturaleza. Hoy, estas reacciones, en que las concentraciones suben y bajan periódicamente, están renovando la química y la biología."*

Los fenómenos periódicos u oscilantes se presentan en física, astronomía y biología. Van desde el movimiento de los péndulos hasta las órbitas de los "planetas y los complejos relojes biológicos que gobiernan el comportamiento diario y estacional de los organismos. Hasta hace algún tiempo, los químicos creían que las reacciones que se desarrollaban en sus tubos de ensayo y vasos de precipitado eran inmunes a este tipo de conducta periódica, tan común en otros campos de la ciencia.

\* Ponencia presentada en el Seminario de Química en 2002

\*\* Estudiante del Departamento de Química de la U. P. N.

Muchos químicos habrían afirmado que cualquier mezcla de sustancias inorgánicas sencillas que participara en una reacción que oscilara visible y periódicamente violaría una ley inmutable de la naturaleza. Incluso hoy se dice que las reacciones químicas discurren en una dirección. Si dos sustancias reaccionan para producir una tercera, la reacción continuará, se supone, hasta que se consuman los reactivos o hasta que se alcance el estado de equilibrio. Nadie espera, por lo común, que la concentración de los productos intermedios llegue a cierto nivel, caiga luego a otro más bajo, torne a subir para bajar de nuevo, una y otra vez, hasta que resulten productos estables, resistentes a más cambios.

La termodinámica es una parte de la física teórica que trata de las leyes del calor y de la conversión de este en otros tipos de energía. El término proviene de las palabras griegas *therme* ("calor") y *dynamis* ("fuerza"). Se basa en dos principios originalmente deducidos experimentalmente, pero que ahora se consideran axiomas. El primer principio es la ley de la conservación de la energía que asume la forma de la ley de la equivalencia de calor y trabajo. El segundo principio plantea que el calor no puede pasar de un cuerpo más frío a un cuerpo más caliente sin cambios en ningún otro cuerpo.

La ciencia de la termodinámica fue un producto de la revolución industrial. A principios del siglo XIX se estableció que la energía se puede transformar de diferentes maneras, pero en ningún caso se puede crear ni destruir. Esta es la primera ley de la termodinámica, una de las leyes fundamentales de la física. En 1850, Robert Clausius planteó la segunda ley de la termodinámica, que nanifiesta que la entropía (es decir, la ratio de la energía de un cuerpo en relación a su temperatura) siempre se incrementa en cualquier transformación de energía, por ejemplo en una máquina de vapor .

En general, se interpreta la entropía como una tendencia general a la desorganización. El hierro se oxida, la madera se pudre, la carne se descompone, se enfría el agua del baño. En otras palabras, parece haber una tendencia general a la decadencia. Según la segunda ley de la termodinámica, los átomos, sin ninguna intervención externa, se mezclarán y desordenarán entre ellos tanto como sea posible. Las cosas se oxidan de-

bido a que los átomos del hierro tienden a mezclarse con oxígeno del aire que les rodea para formar óxido de hierro. Las moléculas de movimiento rápido de la superficie del agua del baño chocan con las partículas de movimiento más lento del aire frío y les transfieren su energía.

Esta ley fue redefinida en 1877 por Ludwig Boltzmann, quien intentó deducir la segunda ley de la termodinámica de la teoría atómica de la materia, que por aquel entonces estaba ganando terreno. En la versión de Boltzmann, la entropía aparece como una función de la probabilidad más que como un estado dado de la materia: cuanto más probable sea el estado, mayor es la entropía. En esta versión todos los sistemas tienden a un estado de equilibrio (un estado en el que no hay flujo neto de energía) así, si un objeto caliente está situado al lado de otro objeto frío, la energía (el calor) fluirá del caliente al frío hasta que lleguen a un equilibrio, es decir, que ambos tengan la misma temperatura. La segunda ley dice que la entropía de un sistema aislado siempre aumenta, y que cuando se unen dos sistemas, la entropía del sistema combinado es mayor que la suma de las entropías de los sistemas individuales. Las reacciones químicas se producen como resultado de colisiones entre moléculas. Normalmente, la colisión no provoca un cambio de estado, las moléculas simplemente intercambian energía. Pero en algunos casos una colisión produce un cambio en las moléculas implicadas (una "colisión reactiva").

Los químicos reacios a aceptar la realidad de las reacciones oscilantes, se fundaban, principalmente, en la segunda ley de la termodinámica. Aplicado a las reacciones químicas, este principio exige que un sistema químico debe aproximarse continuamente hacia un estado final de equilibrio, siempre que no se introduzca materia o energía. Esto es, si A se transforma en B, ha de hacerlo siguiendo el curso de la reacción y no volver de nuevo a A durante el proceso.

Las reacciones químicas "clásicas" son vistas como procesos muy arbitrarios. Las moléculas implicadas están distribuidas de manera constante en el espacio y su extensión está distribuida "normalmente", es decir en una curva

de Gauss. Este tipo de reacciones encaja con la concepción de Boltzmann en la medida en que todos los pasos de la cadena irán desapareciendo y la reacción acabará en una reacción estable, un equilibrio inmóvil. Sin embargo, en las últimas décadas se han estudiado reacciones químicas que se desvían de este concepto ideal y simplificado. Son conocidas con el nombre común de "relojes químicos". Los ejemplos más famosos son los de la reacción de Belousov-Zhabotinsky y el modelo de Bruselas ideado por Ilya Prigogine.

Una reacción oscilante requiere, entre otras condiciones, que exista en el mecanismo de reacción al menos una etapa autocatalítica y otra de inhibición y que se produzcan en alternancia. En la etapa autocatalítica de esta reacción, la concentración de algunas sustancias crece pronunciadamente. Esto origina el inicio de la etapa de inhibición en donde el aumento de concentración es frenado hasta una concentración inferior y así la etapa autocatalítica puede reiniciarse de nuevo. Como resultado se da una alternancia permanente entre aumentos y disminuciones de concentración. Además, se debe tener en cuenta que los sistemas químicos oscilan, sólo si están lejos del equilibrio; en las reacciones debe existir una retroalimentación o feedback, es decir, un producto de un paso de la secuencia de reacciones, ha de influir en su propia velocidad de formación; una clase común de retroalimentación que se encuentra en los organismos es la autocatálisis, en esta, la tasa de producción de una sustancia aumenta con su concentración. Por último el sistema químico debe presentar biestabilidad o existencia de dos estados diferentes.

Atendiendo a los ejemplos de las reacciones oscilantes más representativos, se citará a continuación el modelo de Bruselas (llamado el "bruselator" por los científicos americanos), describe el comportamiento de las moléculas de gas. Se supone que hay dos tipos de moléculas, "rojas" y "azules", en un estado caótico, con movimiento completamente al azar. Se podría suponer que, llegado a un momento dado, se daría una distribución irregular de moléculas, produciendo un color "violeta", con destellos ocasionales de rojo o azul. Pero en un reloj químico, esto no sucede más allá del punto crítico. El sistema es todo azul, después todo rojo, y estos cambios se producen a intervalos regulares. "Tal grado de orden surgiendo de la actividad de miles de millo-

nes de moléculas parece increíble", dicen Prigogine y Stengers; para cambiar de color todas al mismo tiempo, las moléculas deben tener una manera de 'comunicarse'. El sistema tiene que actuar como un todo; comunicar una palabra que tiene una importancia evidente en tantos campos de la química a la neurofisiología. Estructuras disipativas introducen probablemente uno de los mecanismos físicos más simples de comunicación".

La época moderna de las reacciones químicas oscilantes comienza con el descubrimiento del químico ruso B. P. Belousov, quien observó que si disolvía en agua, ácido cítrico y ácido sulfúrico con bromato potásico y una sal de cerio, el color de la mezcla cambiaba periódicamente de incoloro a amarillo pálido. Es la más conocida de las reacciones catalíticas heterogéneas, llamada Reacción BZ (Belousov-Zhabotinsky), mal aceptada inicialmente por la comunidad científica ya que no cumplía con las condiciones establecidas para las reacciones químicas. Se trata de una reacción compleja, que en lugar de evolucionar hacia un estado estable homogéneo de máxima entropía, presenta variaciones periódicas (reloj químico) y sobre la superficie aparecen ondas o espirales que se propagan sobre ella.

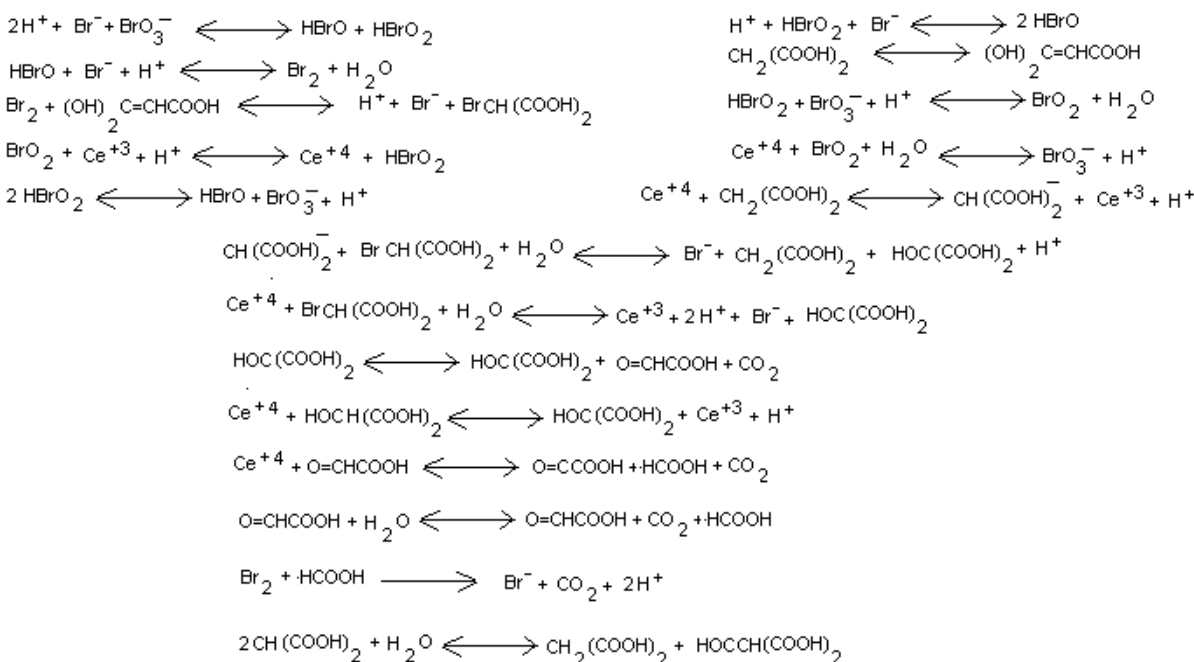
En los sistemas que están lejos del equilibrio surgen algunos fenómenos nuevos que se engloban en las llamadas estructuras disipativas. Estas estructuras presentan oscilaciones periódicas en las concentraciones de especies intermedias de una reacción química, pero ni los reactivos iniciales ni los productos están sujetos a oscilación.

Los químicos entienden las reacciones cuando son capaces de exponer el mecanismo subyacente. Un mecanismo es una serie de reacciones componentes, los así llamados pasos elementales, cada uno de los cuales describe un encuentro o colisión real entre moléculas; a través de esas etapas los reactivos se transforman en productos. Las ecuaciones estequiométricas, ofrecen sólo el resultado neto; pero no dicen nada de cómo se desarrolla la reacción a escala molecular.

En realidad, la reacción se desenvuelve a través de una secuencia de reacciones elementales, cada una de estas implica una colisión entre dos moléculas o la ruptura de una de ellas, creando o destruyendo especies intermedias que no aparecen en la ecuación estequiométrica. Descifrar un mecanismo constituye una tarea ardua para la que se exige ingenio, análisis de datos experimentales y en algunos casos simulación del mismo, en el computador .

La tarea de buscar el mecanismo de la reacción oscilante de BZ, la llevó a cabo en los años se-

tenta, Richard M. Noyes, de la Universidad de Oregón, en colaboración con Richard J. Field, de la Universidad de Montana y Entre Köros, adscrito a la Universidad de Eötvös en Budapest. Antes de terminar 1972, habían esbozado ya un esquema que constaba de 18 pasos elementales con 20 especies químicas involucradas, capaces, tal parecía, de explicar las oscilaciones. Dos años después, una simulación detallada en el computador realizada por Noyes, Field y David Edelson, de los laboratorios Bell, confirmaban que el mecanismo predecía la oscilación.



La reacción química es



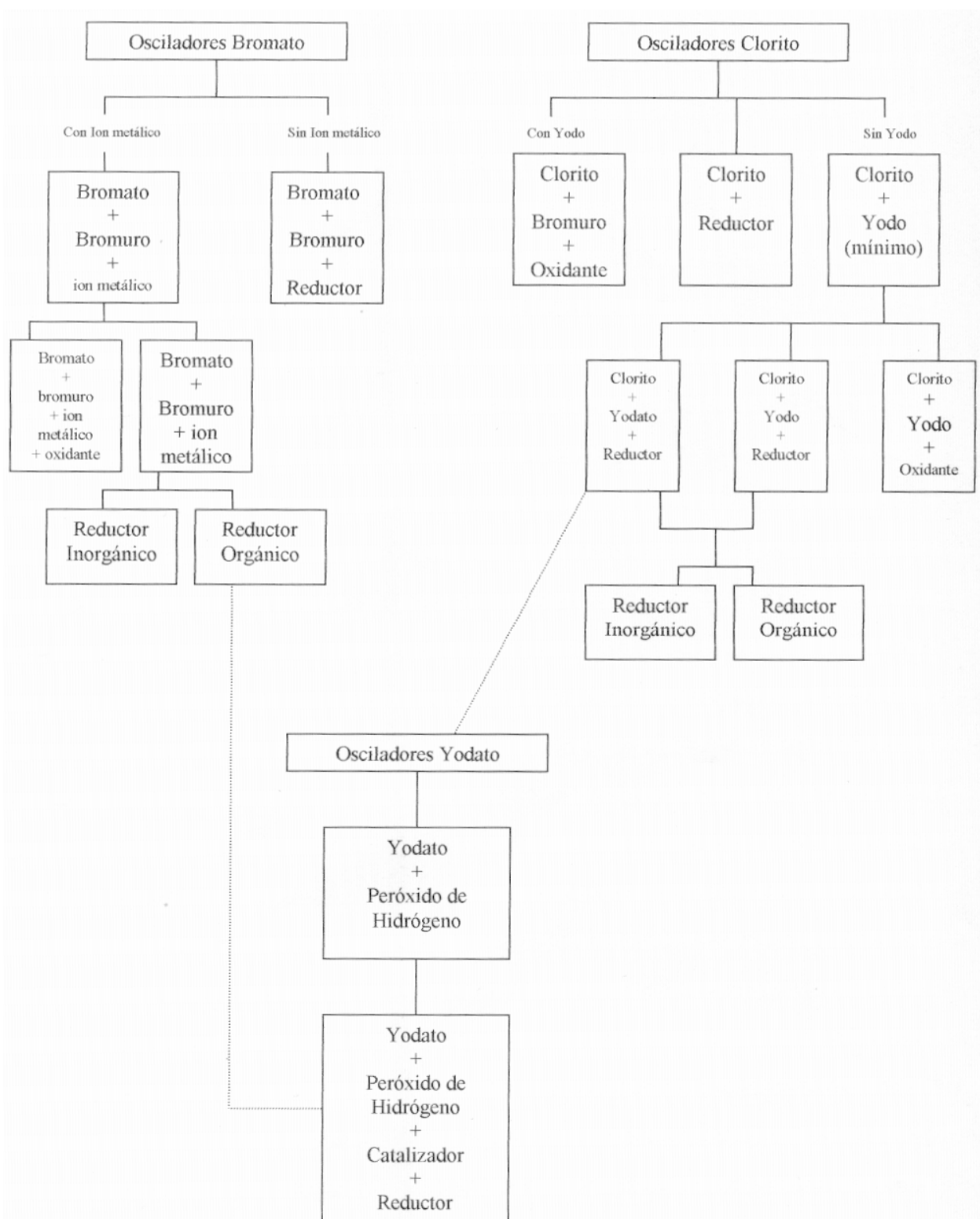
Esta reacción química es la oxidación del ácido malónico por bromato en un medio ácido. La reacción comienza con tres sustancias inorgánicas, los iones bromato ( $\text{BrO}_3^-$ ), los iones bromuro ( $\text{Br}^-$ ) y los iones cerosos ( $\text{Ce}^{+3}$ ) y una sustancia orgánica, el ácido malónico ( $\text{CH}_2(\text{COOH})_2$ ). El medio, ácido sulfúrico, suministra los iones hidrógeno ( $\text{H}^+$ ). Los productos de la reacción son dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), ácido fórmico ( $\text{HCOOH}$ ) y ácido bromomalónico ( $\text{BrCH}(\text{COOH})_2$ ). Como el cerio oscila entre el estado cérico ( $\text{Ce}^{+4}$ ) y el ceroso ( $\text{Ce}^{+3}$ ) la solución alterna entre amarilla clara e incolora.

diferentes condiciones que se deben presentar para que una reacción química sea oscilante, se han desarrollado tres tipos de osciladores químicos que se presentan en la página siguiente.

Químicamente, cada familia de osciladores posee un miembro unidad, o más sencillo, a partir del cual se pueden deducir otros, añadiendo nuevas sustancias. El oscilador clorito unidad, formado por clorito más yoduro, oscila en un intervalo de condiciones amplias. Por el contrario, la unidad del oscilador bromato, bromato más bromuro más un ión metálico, opera sólo bajo condiciones muy precisas.

De acuerdo con los estudios realizados de las

PRINCIPALES CLASES DE OSCILADORES QUIMICOS



Los sistemas bromato oscilaban fácilmente en condiciones de flujo nulo. Los osciladores clorito, como la gran mayoría de los nuevos sistemas, muestran un comportamiento periódico sólo en condiciones de flujo continuo, porque el flujo es necesario para mantenerlos lejos del equilibrio.

La oscilación química, fascinante en sí misma, está relacionada con otros fenómenos de no menor interés; por ejemplo, con la formación de estructuras espaciales en un medio inicialmente homogéneo. Estas estructuras se originan en uno de los osciladores que se han descubierto, donde los ingredientes son clorito, yoduro y ácido malónico. El cambio de un estado a otro, distintivo de la reacción oscilante, quizá guarde la clave que descifre algunos procesos reguladores de la célula: los mecanismos que inician o bloquean la transcripción de una cadena de ADN o la contracción de un músculo, los ritmos biológicos en los seres vivos, ya sean unicelulares o pluricelulares, tales como división celular, ciclo menstrual en la mujer, latido del corazón, temperatura corporal y otros más. Las mismas fuerzas que crean anillos coloreados y capas en osciladores químicos sin agitar, podrían tener que ver con las responsables de las distancias que median entre los anillos de Saturno y las estrías periódicas que se encuentran en ciertas formaciones de rocas, las cuales no han sido explicadas por procesos geológicos convencionales.

El estudio de las reacciones químicas oscilantes se ha rodeado de respetabilidad suficiente para constituir hoy una de las ramas más interesantes de la química. De su avance se esperan nuevos planteamientos de la dinámica de la química y el mecanismo de la catálisis, y posiblemente también, nuevas claves para entender fenómenos periódicos que se observan en biología y geología y que carecen todavía de explicación. De acuerdo con el fundamento teórico presentado, se puede concluir que la termodinámica lineal describe el comportamiento estable y predecible de sistemas que tienden hacia el mínimo nivel de actividad posible. Sin embargo, cuando las fuerzas termodinámicas que actúan en un sistema llegan al punto en que sobrepasan la región lineal, ya no se puede seguir asumiendo la estabilidad. Surgen turbulencias. Durante mucho tiempo se consideró a la turbulencia como sinónimo de desorden y caos. Pero ahora se ha establecido que lo que parece ser simplemente desorden

caótico a nivel macroscópico (a gran escala), de hecho está altamente organizado a nivel microscópico (a pequeña escala).

La segunda ley de la termodinámica no es como otras leyes de la física -como la ley de la gravedad de Newton- precisamente porque no se pueden aplicar en todas las circunstancias. Esto lleva a una visión tan restringida de los procesos físicos que no se puede considerar de aplicación general. La segunda ley no es cierta en todas las circunstancias. Por ejemplo, en química, en las reacciones oscilantes no se cumple, de hecho, sino se hubiesen observado relojes químicos, nadie creería que un proceso de ese tipo fuese posible. El fenómeno del reloj químico demuestra cómo en la naturaleza *el orden surge espontáneamente del caos* en un punto determinado.

En la teoría clásica las reacciones químicas se producen de manera estadísticamente ordenada. Normalmente hay una concentración media de moléculas, con una distribución regular. Sin embargo, en realidad, parece como si se pudieran *organizar* concentraciones locales *por sí mismas*. Este resultado es totalmente inesperado desde el punto de vista de la teoría tradicional. Estos puntos focales de 'o que Prigogine llama "auto organización" pueden consolidarse hasta el punto que afectan todo el sistema en su conjunto. Lo que antes se creía que era un fenómeno marginal resulta ser decisivo.

Las reacciones químicas oscilantes, son un claro ejemplo que cuando se trata de ciencia y en este caso de la química, se debe tener en cuenta que está sujeta a cambios y que día a día el hombre propone nuevos modelos que permiten reevaluar las teorías propuestas y ampliar el horizonte para formular nuevas teorías que den explicación a los fenómenos que surgen en contraposición con las teorías planteadas con anterioridad.

#### BIBLIOGRAFÍA

EPSTEIN, I. 1993 Oscillating Chemical Reactions. Scientific American. No. 80

SCOOT, s. 1994 Oscilaciones, ondas y caos. Cinética química. N.Y. Universidad de Oxford.

[www. Raz2-8.gov.ar/revista25/exp1.htm](http://www.Raz2-8.gov.ar/revista25/exp1.htm)

[www. phosenBZ.edu.p/cmp/xtextos.htm](http://www.phosenBZ.edu.p/cmp/xtextos.htm)