

# DINÁMICA DE LOS PROCESOS PERIÓDICOS NATURALES Y SOCIOECONÓMICOS

Joaquín González Álvarez

## Resumen

*Se trata en forma general de la dinámica de los procesos cíclicos naturales y económicos y las crisis financieras periódicas utilizando los métodos de la dinámica no lineal y los conceptos de Caos y Fractal.*

## Introducción

Tanto en la naturaleza como en la sociedad se producen procesos que cada cierto tiempo se presentan con idénticas o al menos muy parecidas características y consecuencias, con una periodicidad bastante precisa en los naturales y no tanto en los sociales. La sucesión periódica de días y noches, de estaciones del año, de temporadas ciclónicas, los ritmos circadianos, los mas notables entre otros muchos, son ejemplos de procesos periódicos, cíclicos u oscilatorios naturales. Como ejemplo mas conocido de este tipo de procesos en la sociedad, aparece el de las fluctuaciones en los precios y los ciclos de crisis financieras a nivel mundial, como las de mediados del siglo XX y principios del XXI.

## Desarrollo

Para el análisis que nos proponemos de la dinámica de los procesos periódicos, es preciso remitirnos a los métodos de las ciencias naturales y los de las ciencias sociales, teniendo presente que éstos últimos, aunque utilizan instrumentos comunes como el de las matemáticas, el objeto de análisis en las ciencias naturales es un ente que no puede evitar cumplir las leyes que la naturaleza le impone, mientras que el ente social tiene autonomía de comportamiento el cual no siempre es racional o conveniente.

Sin embargo como veremos al exponer la tesis central de nuestro trabajo, el Hombre con su inteligencia y voluntad, puede influir sobre los parámetros que regulan los procesos periódicos, en menor grado en los naturales, pero significativamente en los sociales, descalificando la inercia ante las catástrofes económicas y financieras cíclicas adoptando el cómodo y en general falso argumento de la inevitabilidad. Para ello es necesario que quienes manipulen estos procesos, posean el suficiente conocimiento de

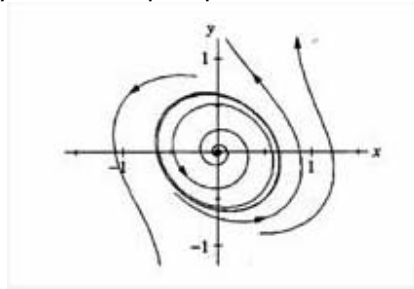
las leyes que los rigen, que sepan discernir entre aquello sobre lo que existe certidumbre o por el contrario incertidumbre y ante ésta actuar en consecuencia. Que tengan la capacidad de acopiar conocimientos del momento en que se está produciendo la "cresta" de la onda que viene a ser un proceso periódico. Lo más posible para utilizarlos positivamente en una próxima aparición de semejante situación.

Presentamos como primer ejemplo de proceso periódico en las ciencias naturales, el de las reacciones químicas oscilatorias de Belousov- Zhabotinsky. En esta reacción de oxidación- reducción entre el ácido cítrico y un bromato con el Cerio como catalizador, se producen cambios espontáneos periódicos de coloración con una frecuencia de  $10^{-2}$  Hz

El sistema dinámico correspondiente al suceso viene dado por las ecuaciones diferenciales no-lineales

$$\begin{aligned} dx/dt &= s(y-xy+x-qx^2) \\ dy/dt &= 1/s(-y-xy+vz) \\ dz/dt &= w(x-z) \end{aligned}$$

$x, y, z$  son las concentraciones de productos intermedios de la reacción, En el espacio cartesiano cada punto  $(x, y, z)$  representa un estado de la reacción en el instante en que las respectivas concentraciones toman los correspondientes valores de  $x, y, z$ . El conjunto de puntos determinan una trayectoria fásica y el conjunto de éstas, el retrato fásico, el cual es una instantánea del estado del sistema. Cuando a los parámetros que rigen la reacción  $q, s, w$  se les da ( el Hombre) los valores:  $8.4 \times 10^{-5}$ , 80 y 0.16 kg respectivamente, una de las trayectorias fásicas se enrolla en una órbita cerrada constituyendo lo que se denomina ciclo límite lo cual propicia las oscilaciones ya que un punto "recorriendo" ese ciclo va pasando periódica y alternativamente por los estados de los colores que caracterizan la reacción periódica de Belousov-Zhabotinsky. Debemos fijarnos que el Hombre variando los valores de los parámetros, puede evitar el ciclo, hecho que constituye la tesis que queremos mostrar.



Otro ejemplo de proceso periódico en la naturaleza, esta vez en el ser vivo, es el de la glicolisis, reacción oscilatoria mediante la cual es posible que se produzca la síntesis de las proteínas, proceso de ordenación que aparenta violar la Segunda Ley de la Termodinámica, que afirma que la entropía, el desorden, siempre aumenta y que sólo son posibles procesos que lo violan localmente aquellos a los cuales se les suministra energía. En la glicolisis la energía la suministra una especie de acumulador, el ácido adenil-trifosfato, ATP, el cual se carga por la acción del ácido adenil-difosfato. ADP activado por la descomposición de la fructosa..

Al igual que en el ejemplo anterior, la aparición del ciclo que propicia las oscilaciones, es posible modelarlo experimentalmente con reactivos preparados y matemáticamente por el sistema dinámico no-lineal:

$$\begin{aligned} dx/dt &= -x + ay + x^2y \\ dy/dt &= b - ay - x^2y \end{aligned}$$

donde  $x$  concentración de ADP  $y$ , de la fructosa y los parámetros  $a$  y  $b$ . Si se hacen  $a=0.08$  y  $b=0,6$  se establecerá el ciclo límite y por tanto el proceso periódico. Se confirma la tesis.

Como se puede advertir en nuestro trabajo, el tratamiento de los sistemas dinámicos no lineales está presente en el análisis de los procesos periódicos. La no linealidad se advierte en las ecuaciones al presentar exponentes superiores a 1. La no linealidad y la complejidad, término éste que tomamos con el significado que se le da en la Teoría de la Complejidad, o sea el de la propiedad que presentan aquellos sistemas constituidos por elementos que al conformar colectivos manifiestan propiedades emergentes, esto es, que no presentaban por separado, son características de sistemas en los cuales se desarrollan procesos cíclicos como los que estamos tratando. Vertientes de la Teoría de la Complejidad son entre otras la teoría del Caos y la del Fractal, a las cuales recurren con gran asiduidad los teóricos de las ciencias naturales y sociales.

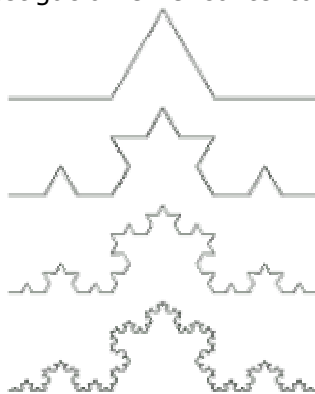
Aparición de procesos cíclicos, se observan también en el desarrollo del crecimiento de especies biológicas, el cual suele analizarse matemáticamente mediante mapas iterativos como la ecuación logística, la cual se expresa de esta forma:

$$y = rx(1-x)$$

donde  $x$  número de ejemplares en una etapa,  $y$ , número de ejemplares en la siguiente etapa y  $r$  tasa de crecimiento. Para ciertos valores de  $r$ , se da el caso que sucesivas iteraciones los valores de  $y$  se van repitiendo periódicamente y esto ocurrirá mientras  $r$  mantenga su valor. Al pasar de un valor a otro mayor de  $r$ , el número de valores que se repiten constituyendo un ciclo o atractor cíclico, se van duplicando. Pero al llegar a cierto valor de  $r$ , ya no hay repetición, se pierde la periodicidad y se ha llegado a la situación de Caos. En las crisis financieras se llega a una situación de Caos como se entiende en la Teoría del Caos, pequeñas variaciones de un parámetro dan lugar a grandes variaciones y se tornan impredecibles los resultados. Se ha propalado la metáfora sobre el Caos de que el aletear de una mariposa en San Francisco puede desatar un huracán en Beigin, lo que ha dado lugar a que el Caos se conozca como Efecto Mariposa. Cuando hace unos años se originó una crisis bursátil en México ésta se propagó a lejanos países y a esa situación de Caos se le denominó Efecto Tequila parafraseando lo de Efecto Mariposa. Pero ya vimos en lo del mapa logístico que la llegada al Caos lo determina el valor, de  $r$  el cual puede ser controlado por el Hombre y esto nos reafirma en la tesis que venimos sosteniendo de la no inevitabilidad. Aún en la situación de Caos se advierten ciertas regularidades y periodicidades. Así se tiene que a las puertas del Caos, la relación entre la distancia de un punto  $P$  de bifurcación al anterior y la distancia de  $P$  al que le sigue, tomará un valor límite. En la cercanía del valor de  $r$  en la que se presenta el Caos los puntos de bifurcación se apiñan impidiendo advertir físicamente la separación pero como el patrón se va reduciendo autosemejantemente en forma de lo que mas adelante presentaremos como fractal, tomaremos la distancia como no llegando a cero en un proceso llamado renormalización, y comprobaremos que la citada relación converge hacia un valor llamado constante de Feigenbum. Además si el Caos se analiza mediante sistemas dinámicos de tres ecuaciones diferenciales como los que antes utilizamos, en cuyo retrato fásico observamos que la trayectoria fásica describe espirales en las que las espiras se colocan en planos cuasiparalelos cuyas distancias entre si guardan una

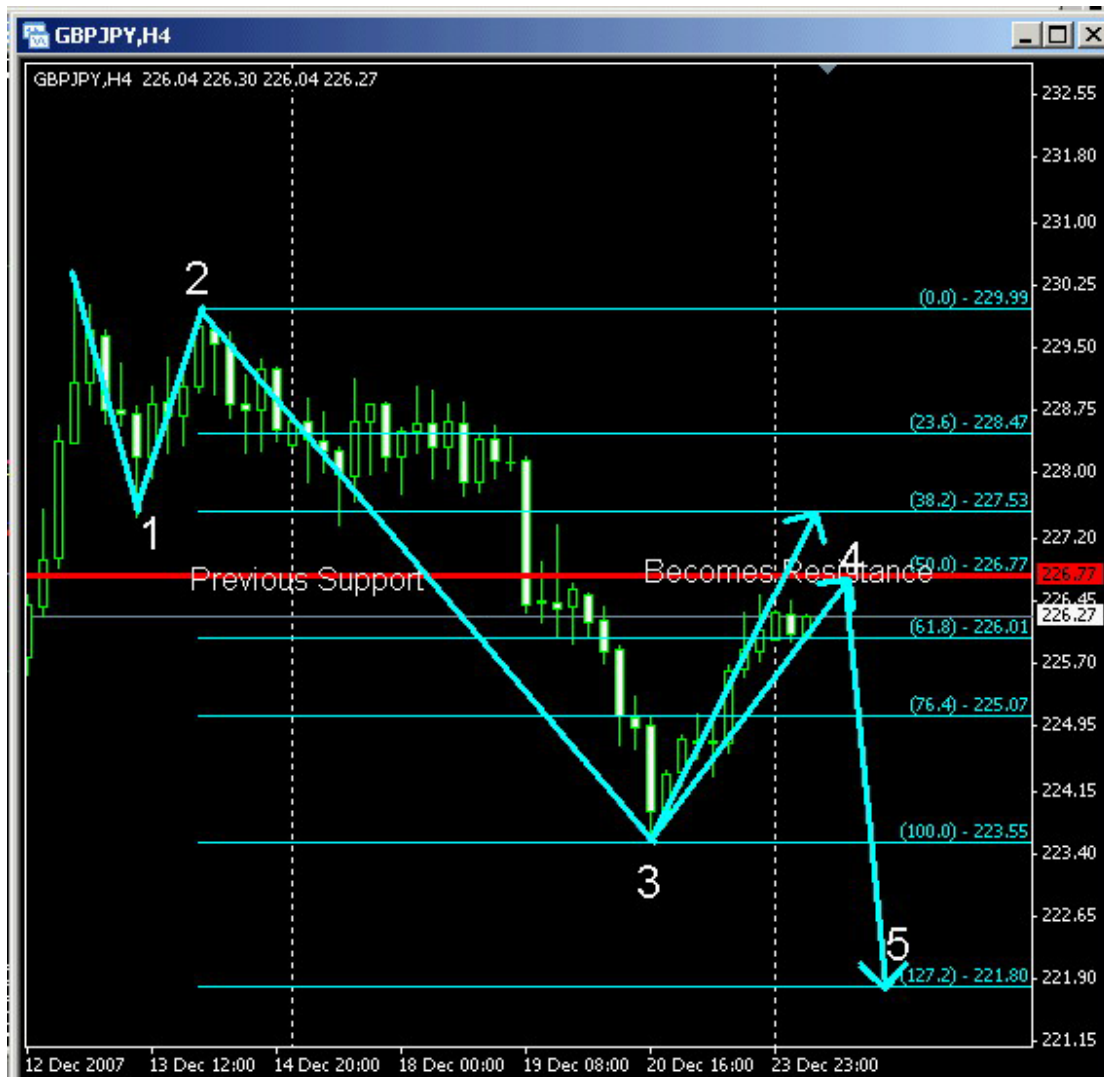
periodicidad fractal, concepto éste que aclararemos mas adelante. Esa configuración de las trayectorias fásicas del Caos en el espacio es conocida como atractor extraño.

Pero no todos los procesos periódicos surgen de ciclos dinámicos como los vistos. Reiteraciones autosemejantes no sólo en el tiempo sino también en el espacio se producen en procesos de características fractales, La introducción en el contexto de la no linealidad del concepto de fractal por Benoit de Mandelbrot, es relativamente reciente, y ocurrió precisamente relacionado con la problemática de las fluctuaciones periódicas en el ámbito del mercado, cuando el matemático de origen polaco trabajaba para la International Business Machines Corporation (IBMC). El concepto de fractal es en esencia matemático y define el ente geométrico que en su desarrollo espacial va reiterando una misma forma cada vez a un tamaño menor manteniendo invarianza de escala. Examinando la forma que se reitera autosemejantemente y observándola en cualquiera de las iteraciones pueden conocerse detalles que se presentaron en una iteración pasada o que se presentarán en el futuro si no se acciona sobre el proceso iterativo de alguna manera alterándolo. Un zoom de una parte del fractal mostrará la forma del fractal completo. Uno de los fractales mas conocidos es la Curva de Koch el cual se genera dividiendo en tres partes iguales un segmento, Sobre la parte del medio se levanta un triángulo equilátero y se borra su base. Este proceso se reitera sobre cada uno de los segmentos que resultan del proceso descrito una y otra vez teóricamente hasta el infinito. La dimensión D de un fractal no es un número entero y se calcula mediante la fórmula de Hausdorff,  $D = \frac{\log N}{\log n}$  donde n número de partes en que se dividió el segmento original y N número de segmentos que resultaron . En el caso de la Curva de Koch  $n=3$  y  $N=4$ . La denominación de Curva a lo que también se conoce como Fractal de Koch, resulta un eufemismo pues su aspecto es de una línea quebrada que no presenta la propiedad de suavidad ni la de diferenciabilidad propias de lo que se conoce comúnmente como curva. En el ámbito de la economía, específicamente en lo que concierne a los procesos periódicos, el conocimiento de la teoría de los fractales se ha convertido en importante instrumento de investigación en el contexto de las ciencias sociales.



**Curva de Koch**

Gran importancia tiene en economía la implementación e interpretación de gráficos matemáticos relacionados con los mercados financieros de valores, de divisas, de futuros y otros, que los analistas utilizan para tomar decisiones de inversión y otras. Existe un método de investigación conocido en la actualidad como el método del fractal inestable de Elliot. Su autor, aunque con otro nombre concibió el método cuando aún no se había introducido el concepto de fractal, por lo cual se conoció como Teoría de la Ondas de Ralph Nelson Elliot. En ésta, el movimiento de los mercados



La Teoría de las Ondas de Ralph Nelson Elliott describe el movimiento de los mercados financieros como ondas de avance y corrección. Imagen de Wikipedia.

financieros, se describe con ondas de avance y corrección, Aunque no tenía el concepto de fractal, las ondas de Elliott en el gráfico, se reproducen autosemejantemente variando tamaños a escala y manteniendo la dimensión fractal. Esta fractalidad permite predecir la evolución futura de los mercados y por ende el pronóstico de las crisis cíclicas, lo cual propicia, mediante la propiedad de autosemejanza actuar sobre los factores que la rigen para aminorar los efectos negativos, propiciando (por el Hombre) una variación deseable en la imagen que se reitera.

## Conclusiones

Llegamos a la conclusión de que la ciencia y la inteligencia humana, tomadas como instrumento desvirtúan el pesimismo estéril y el acomodamiento al criterio de que nada se puede hacer, ante la posible aparición de las grandes crisis, quizás inevitable

algunas veces la reiteración del hecho, pero no la intensidad ni la duración, sobre las cuales el Hombre puede actuar positivamente.

### **Bibliografía**

En [www.casanchi.com](http://www.casanchi.com) :

- GONZÁLEZ ÁLVAREZ, J. El Segundo Principio y los Procesos Biológicos, 19 May 2007.
- GONZÁLEZ ÁLVAREZ, J. Físico-Matemática de las Reacciones de Belousov- Zhabotinsky, 09 Ago 2008.
- GONZÁLEZ ÁLVAREZ, J. La Geometría Fractal, 29 Dic 2007.
- GONZÁLEZ ÁLVAREZ, J. La Invarianza de la Escala, 04 Oct 2008.
- GONZÁLEZ ÁLVAREZ, J. Tratamiento de los Sistemas Dinámicos, 17 Jun 2006.

**Joaquín GONZÁLEZ ÁLVAREZ**  
[j.gonzalez.a@hotmail.com](mailto:j.gonzalez.a@hotmail.com)