

## PREDICCIÓN Y CAOS EN ECONOMÍA

*Ubaldo Nieto de Alba<sup>(\*)</sup>*

*Presidente del Tribunal de Cuentas del Reino y Catedrático de la Universidad Complutense \**

### LA LEGALIDAD CIENTÍFICA EMERGENTE.

En la legalidad científica de la ciencia clásica la noción del tiempo llevó a ocultar el *tiempo orientado* asociado a los acontecimientos económicos que, implicando discontinuidad, cambio y evolución, en la perspectiva del devenir, quedaba reservado a las descripciones fenomenológicas de la historia y de la estructura económica. Ello nos obliga a introducirnos en la emergente legalidad científica del caos en la que, al situarnos ante un mundo de desorden, de inestabilidad y de no equilibrio, se hace ya presente el *tiempo orientado*.

Los atractores caóticos han permitido incorporar la flecha del tiempo a las leyes científicas de la economía, obligando a ésta a abordar el debate sobre la elaboración de una síntesis que abarque orden-desorden, estabilidad-inestabilidad, equilibrio-no equilibrio, de modo que, aprovechando el avance tecnológico de los ordenadores, se puedan unir las piezas que había separado el reduccionismo de la ciencia clásica. Y es que, si bien ésta, con la introducción del tiempo, supuso un progreso, empobreció, sin embargo, la noción del mismo, dando lugar a la dicotomía de las dos culturas del tiempo, el reversible o matemático de la ciencia clásica y el orientado de las ciencias biológicas y sociales, dicotomía que actualmente, con la generalización de las leyes científicas y la incorporación de la inestabilidad caótica, está desapareciendo. Este debate, que en la física se encuentra ya muy avanzado, apenas se ha iniciado en la economía.

Cada modelo de pensamiento científico genera modelos políticos, sociales y económicos, y para cualquier observador neutral es obvio que los esquemas utilizados hoy en el "management", en las finanzas y en la política económica muestran una falta de ajuste con la realidad que, incluso, va más allá de los principios científicos, llegando a afectar a nuestras creencias y valores. Las tensiones, inestabilidad y turbulencias que caracterizan los sistemas reales han generado una crisis de credibilidad sobre la predicción y el control en estos ámbitos de la economía que obliga a introducir nuevos modelos de pensamiento científico. Así, la filosofía y las técnicas del "management" tuvieron su origen y desarrollo en entornos más simples y en principios científicos en los que el orden y el equilibrio, propiciaron organizaciones y gestiones estables, jerarquizadas y burocratizadas.

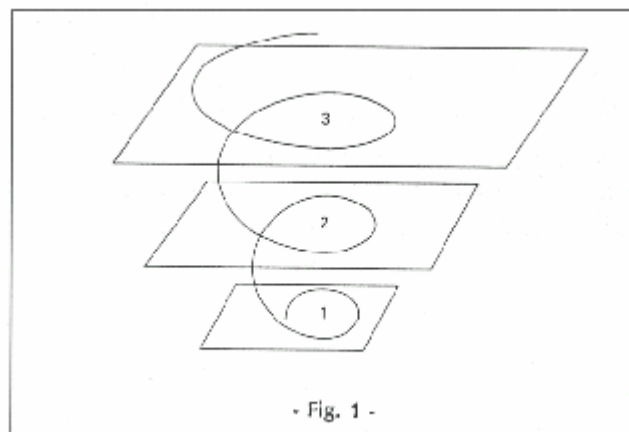
En entornos más inestables e inciertos aparecieron ya principios y técnicas que permitían predecir y anticipar el futuro. El predominio de la información exigió organizaciones descentralizadas, gestiones desburocratizadas y controles basados en la confianza, la responsabilidad y la participación. Con la globalización de la economía, la interdependencia y la innovación se presentan inestabilidades e incertidumbres donde los cambios del entorno ya no resultan predecibles ni controlables; la información del mismo, realimentada por las propias actuaciones gestoras, se torna variable endógena, no permitiendo establecer horizontes temporales de gestión ni el necesario tiempo de aprendizaje para la adaptación. La teoría del caos, basada en principios de globalidad, holísticos, de no-equilibrio y de inestabilidad limitada, proporciona modelos y técnicas para el estudio de las emergentes organizaciones fractales, informales o amorfas, que practican el aprendizaje complejo en la oportunidad y gestionan la innovación y la creatividad.

---

\* Este trabajo está basado en su libro "Historia del tiempo en economía" (McGraw-Hill. 1998)

## LA PREDICCIÓN CIENTÍFICA Y SU EVOLUCIÓN.

La evolución de los paradigmas metodológicos para predecir el futuro la podemos equiparar a una sucesiva ampliación de círculos en espiral ascendente (fig. 1). Así, el primer círculo (1) representa el orden determinista del paradigma matemático y tiempo reversible. Posteriormente, con el advenimiento de la incertidumbre, la probabilidad sustituye a la certeza y el círculo se amplía; pero, como la historia se mueve en ciclos, cuando los acontecimientos humanos completan un círculo lo hacen a nivel superior, al igual que en una escalera de caracol. Ahora, el segundo círculo (2) representa el nuevo orden del paradigma estadístico, donde las leyes científicas ya son leyes de promedio, aunque todavía en tiempo reversible. Aquí, en el ámbito de la economía, la bola de cristal del equilibrio macroeconómico ha permitido hacer predicciones estadísticas donde las trayectorias deterministas han dejado paso a los procesos y, aunque manteniendo todavía ese concierto del hombre con la estabilidad, el orden y el equilibrio, la economía, como ciencia, cobró un mayor significado. Sin embargo, aun quedan fuera muchos fenómenos científicos y económicos, cuya inestabilidad y no-equilibrio se resisten a entrar en el ámbito de esta nueva descripción estadística reductible a trayectorias.



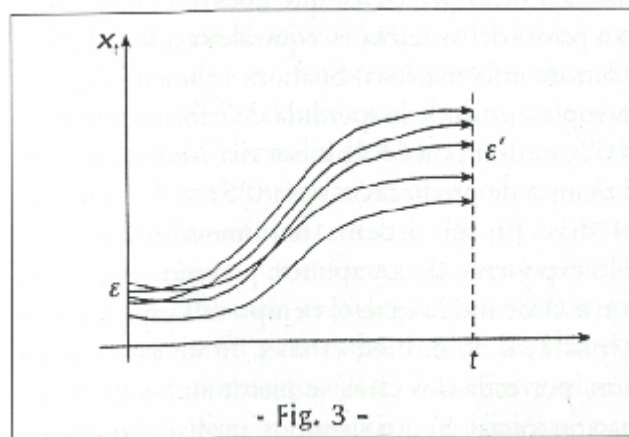
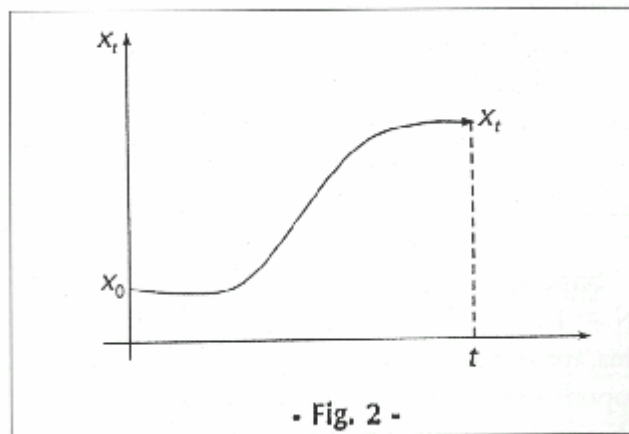
Por muchas variables que se intenten explicitar y por mucho que se pretendan mejorar los modelos econométricos convencionales, existen comportamientos en los que la fuerte aleatoriedad, al proceder de la propia esencia del sistema, hace que las variables pierdan su significado estadístico y se caoticen. Ello nos conduce, nuevamente, a tener que ampliar el círculo con una nueva vuelta completa al ciclo que se sitúa a un nivel superior, dando entrada al nuevo paradigma del caos (3), que nos va a permitir entender esta aleatoriedad endógena y estudiar el orden oculto en este desorden. Del proceso evolutivo de cambio "orden-desorden-orden" va a surgir el tiempo histórico irreversible que nos conduce a la complejidad. Fuera de estos círculos todavía sigue permaneciendo una amplia zona sin explorar y en espera de que el progreso científico complete un nuevo ciclo.

Como quiera que el progreso científico, a medida que va ascendiendo por esa especie de escalera de caracol, se va encontrando, en cada nivel, con nuevas realidades estructurales, la investigación, al descubrir la base ontológica de nuevas entidades y procesos más profundos, nos lleva a organizar la nueva realidad de acuerdo con el protocolo científico del paradigma emergente. Todo ello nos debe llevar a considerar que, si bien la capacidad de la ciencia para prever los acontecimientos complejos no se puede exagerar, sin embargo sería peligroso dejar de utilizarla, pues, aunque los intentos de realizar previsiones científicas no tengan éxito, el sólo esfuerzo de hacerlo nos ayuda a identificar variables, a distinguir clases de cambio, a aclarar objetivos, al mismo tiempo que nos obliga a una mis cuidadosa valoración de las alternativas a seguir. En todo caso, el sondeo del futuro siempre produce rendimientos en el presente.

## TIEMPO DE PREDICCIÓN.

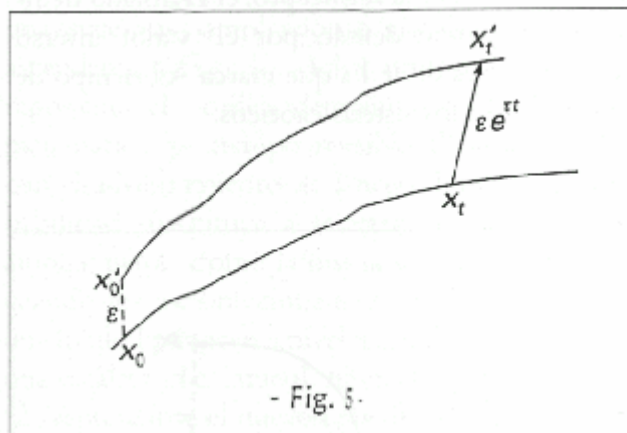
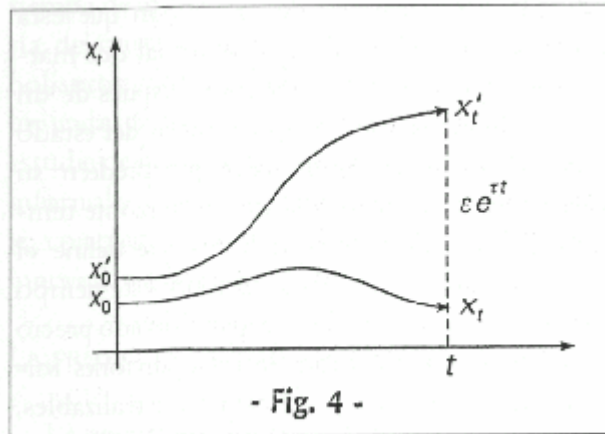
En el orden matemático y estadístico la existencia de un atractor era sinónimo de estabilidad y posibilidad de reproducción: retorno a lo mismo (una misma causa, en circunstancia idénticas, un mismo efecto), a pesar de las perturbaciones, cualesquiera que fuesen las condiciones iniciales. Pero al atractor caótico le corresponden comportamientos "sensibles a las condiciones iniciales", el llamado efecto mariposa, que hacen que esa noción de retorno a lo mismo pierda su sentido, pues, por cualquier región, por pequeña que sea, ocupada por un atractor con dimensión fractal, pasa un sinfín de trayectorias cuyo destino es diferente; por lo que para situaciones iniciales tan próximas como se quiera, pueden generar evoluciones divergentes. Pero el atractor caótico cuenta con dos mecanismos: Uno de expansión y otro de contracción. El primero es responsable de las divergencias de las condiciones iniciales; pero el otro, el de contracción, al impedir que éstas se expandan indefinidamente y hacerlas retornar a la región limitada, da lugar ese patrón de conducta que caracteriza las leyes del caos.

En la modelización matemática la noción de trayectoria es fundamental y la predicción es exacta (fig. 2), cualquiera que sea el momento del tiempo reversible  $t$ . En la modelización estadística, reducible a trayectorias, a medida que el tiempo de predicción se alarga, el intervalo de predicción se hace más amplio (fig. 3).



En la modelización caótica el comportamiento del sistema, con atractor extraño, es tal que las trayectorias que salen de dos puntos muy próximos  $x_0$  y  $x'_0$  en el espacio de estados (fig. 4), y en el espacio de fases (fig. 5), se alejan unas de otras de manera exponencial en el curso del tiempo. Las distancias  $e$  entre estos dos puntos pertenecientes a dichas trayectorias crece proporcionalmente a la

función  $e_r$ , en donde  $r$ , positivo para sistemas caóticos, es el llamado exponente de Lyapunov. Desde el momento en que las trayectorias se desvanecen después de un tiempo de predicción la descripción de un sistema caótico, no es reductible en términos de una noción que esta limitada por la divergencia exponencial que marcan los exponentes de Lyapunov. Después de un tiempo de evolución, el conocimiento del estado inicial del sistema pierde valor para predecir su trayectoria futura más allá de ese horizonte temporal (meses, días, incluso horas) que define el tiempo de predicción. Para prolongar este tiempo de predicción sería preciso pagar el elevado precio de aumentar la precisión de las condiciones iniciales hasta límites prácticamente irrealizables, dependiendo ello de los exponentes de Lyapunov. Aquí aparece un nuevo concepto, el llamado tiempo de Lyapunov, definido por el valor inverso exponente  $r$ , es decir  $1/r$ , que marca el tiempo de predicción en los sistemas caóticos.



Supongamos los datos siguientes: Una serie de  $N = 1.300$  observaciones diarias, calculadas con una aproximación de dos cifras decimales, lo que supone una indeterminación sobre los valores observados tal que la revelación de la cifra siguiente nos proporcionaría una información adicional de uno sobre diez, es decir, que nuestra precisión sobre el estado del sistema se reduce a  $N/10 = 130$ . En otras palabras, que nuestro conocimiento a priori del sistema es equivalente a  $\log_2 130 = 7$  bits de información. Si ahora suponemos que la entropía que mide la pérdida de información es  $K = 0'5$ , es decir, medio bit por día, tendríamos que el tiempo de predicción sería  $0'5 t = 7$ , o sea,  $t = 14$  días. En un sistema unidimensional con un sólo exponente de Lyapunov, podemos escribir  $K = r > 0$ , de modo que el tiempo de Lyapunov será  $1/r = 1/K = 2$  días; esto es, frente a la predicción, por cada dos días se pierde un bit de información inicial. Si quisiéramos ampliar el horizonte de predicción del sistema, por ejemplo a un mes, necesitaríamos disponer de una información inicial equivalente a 15 bits. En nuestro caso, manteniendo la misma aproximación para cada dato, tendríamos que ampliar el número de observaciones a  $N = 10.215$ , lo cual resulta prácticamente imposible. Ello nos obliga a realizar

observaciones periódicas, es decir, a no abandonar el gabinete de trabajo, para seguir la evolución del sistema y no quedar atrapados en alguna parte del atractor en completa incertidumbre.

## CAOS Y MERCADOS FINANCIEROS.

La gestión convencional, en el estudio sobre el cambio de los precios, suele distinguir los cambios pequeños y transitorios que no tienen nada en común, con esos otros grandes cambios a largo plazo. Las fluctuaciones rápidas y leves a corto plazo, del día a día, se consideran impredecibles y poco interesantes. Así, las fluctuaciones en los precios de los mercados financieros en torno a los valores establecidos por los principios del mercado constituyen un proceso aleatorio, es decir, ruido blanco exógeno y no informativo; aunque ello no impide que los analistas financieros estudien datos, elaboren gráficos de estas fluctuaciones y pretendan obtener predicciones sobre la variación de los precios en un futuro próximo. Por otra parte, las fluctuaciones a largo plazo se consideran de naturaleza distinta y debidas a fuerzas macroeconómicas profundas (recesiones, guerras, etc.). Sin embargo, en la gestión caótica no cabe esta dicotomía, ya que no separa, sino que une, los pequeños cambios a los grandes. La secuencia de los cambios no va a depender de la escala, pues se hermanan perfectamente los cambios día a día con los cambios mensuales o anuales. Las fluctuaciones semejan un proceso aleatorio; sin embargo, la aleatoriedad no tiene su origen en las imperfecciones del modelo y su estimación, ni en las complejidades del entorno que no podemos controlar; las fluctuaciones se deben a que están profundamente enraizadas en la dinámica del sistema. Es decir, se trata de una aleatoriedad intrínseca que genera un proceso pseudoaleatorio, como es el caos determinista, cuyo ruido informativo contiene regularidades suficientes para que se pueda realizar una gestión financiera aprovechable, al considerar que las fluctuaciones de los precios son algo más que ruido blanco. Naturalmente, ello no significa aceptar todos los análisis clásicos de los analistas financieros.

Lo que nos enseña el descubrimiento de los atractores extraños respecto a las predicciones estadísticas es que la aleatoriedad viene generada, no por causas extrínsecas, sino por la propia dinámica global del sistema. Reconocer, entre los fenómenos que se presentan como aleatorios, aquellos que podrían estar producidos por un atractor caótico es de fundamental importancia para plantearse una estrategia de gestión. Si el origen de la aleatoriedad procede del entorno, cabe la gestión basada en la planificación y el control en el cumplimiento de objetivos. En esta gestión no hay creación de entorno, ni aprendizaje; hay, como máximo, la adaptación a las señales del entorno y, cuando éste es muy cambiante, se reducen los plazos de la planificación (medio plazo, corto plazo, semanas, días, ...). Cuando la aleatoriedad es intrínseca, es decir, cuando dimana de la propia dinámica del sistema, ya no es posible esa predicción sobre la que se planifica y controla. Ahora es preciso considerar que la información del entorno va surgiendo de la propia dinámica interna del sistema, pasando a ser una variable endógena que ya no es susceptible de predicción, al depender de las propias decisiones de los inversores. Es decir, serían los propios inversores los que la van creando. Así, en base a la propia información del sistema (cotizaciones, plazos, mercados, ...), la cual se degrada en cuestión de minutos, los llamados "quant analyst" toman decisiones en tiempo real, dando lugar a entornos que un analista ordinario (el broker) no identifica como información propia de un entorno basada en los indicadores de coyuntura que maneja (I.P.C., tipos de interés, PIB, ...).

*Caos financieros.* El estudio de los precios y rendimientos esperados en los mercados financieros, anticipando la hipótesis de que el mercado no tiene memoria, viene siendo campo de aplicación de los métodos estadísticos. La hipótesis del mercado eficiente (Fama, 1970) implica que es inútil cualquier análisis de toda la información acerca de empresas cuyos valores cotizan en Bolsa. Por otra parte, y aunque sin reconocimiento académico, existen los chartistas que, a partir de la historia pasada de precios, combinada con informaciones adicionales específicas de la empresa que cotiza, pueden conseguir ganancias especiales. Ello ha llevado a cuestionar la hipótesis del mercado eficiente y a buscar en el apoyo de las nuevas técnicas (teoría de la decisión, econometría, etc.) el estudio de los mercados financieros; pero todas estas técnicas están basadas en el principio del equilibrio y en estrategias metodológicas de tipo estadístico. Tal es el caso de los modelos de Marcovich y Sharpe,

para selección de carteras eficientes, basados en la maximización de la función de utilidad del inversor.

En la hipótesis de eficiencia la mayoría de los modelos son de carácter lineal, como por ejemplo, considerar que los precios de los títulos responden a un proceso aleatorio AR(1). La versión más generalizada de esta hipótesis supone que  $\log P_t = \log P_{t-1} + e_t$  donde  $e_t$  sigue un paseo aleatorio de variable normales (I.I.D.) con media (rendimiento esperado) y varianza constantes; es decir que los rendimientos  $R_t = \log (P_t / P_{t-1}) = e_t$  son ruido blanco. Una forma de comprobar la hipótesis de eficiencia es calcular los coeficientes de autocorrelación para cada uno de los retardos y ver si los rendimientos ( $R_t$ ) están incorrelacionados; pero ello se muestra insuficiente para detectar estructuras no lineales, aunque éstas existan. El estudio de la volatilidad de los rendimientos ( $R_t$ ) y su predicción conduce a modelos no lineales para la varianza.

La hipótesis de que los mercados financieros son aleatorios (cuantitativamente llamados Randon Walkers) y no estructurados no se sostiene a la luz de la teoría del caos. Aunque cada "boom" y "crack" responde a situaciones históricas, políticas y económicas diferentes, sin embargo hay una similitud subyacente y la teoría del caos permite explicar estas numerosas similitudes inesperadas. De ello pueden extraerse lecciones importantes en una época en donde la globalización, la innovación y la especulación generan inestabilidades, turbulencia y caos que nos obligan a conocer los patrones a que responden estos sucesos. La conclusión también nos aleja de la hipótesis del mercado eficiente en el que, al operar con información perfecta para obtener los beneficios excepcionales, se requiere, también, asumir riesgos excepcionales, lo cual supone no reconocer el abundante orden que hay debajo del desorden que, al descubrir ese orden subyacente, permitirá mejorar el pronóstico y reducir los riesgos considerablemente.

En el caso de mercados de capitales, se trata de investigar si existe caos en los datos de una serie temporal en la que los datos observados,  $c_1, c_2, \dots, c_n$ , se correspondan con los índices bursátiles o de cotizaciones. De acuerdo con la metodología del caos, a estos datos, procede a aplicar métodos y tests encaminados a detectar la existencia de no linealidad y caos en la serie observada. Su representación en el espacio de fase, con su cuenca de atracción permitiendo visualizar el grado de ocupación de dicho espacio, constituyen los llamados fractales financieros. A partir de estos fractales financieros se calcula la dimensión de correlación, la entropía de información y los exponentes de Lyapunov. En base a ello se pueden utilizar las técnicas de pronóstico en horizontes que, dependiendo del tiempo de Lyapunov, pueden ser muy cortos, por la existencia de las "mariposas financieras" creadas por la actuación de los inversores, que, mediante compras y ventas a muy corto plazo, deterioran rápidamente la información. En uno de los muchos trabajos, aparecidos en los últimos años, sobre la aplicación del análisis no lineal a los datos financieros, sus autores<sup>(1)</sup> obtienen, para una serie de 500 datos maestreados a intervalos de 20 segundos, una información sobre el estado del sistema de, aproximadamente, 6 bits, y una entropía de información de  $K = 0.3$  bits por minuto. De acuerdo con los cálculos anteriores, el llamado tiempo de Lyapunov sería de unos tres minutos, lo que nos daría un tiempo de predicción de 18 minutos, aproximadamente; pasado el cual, el inversor ya no tendría ningún conocimiento del sistema. Lo que obliga al analista a seguir recogiendo datos sin abandonar el ordenador, como es propio de una gestión caótica.

En lo que se refiere a los mercados financieros internacionales, éstos han evolucionado hacia una mayor integración, globalización e interrelación, han elevado su grado de complejidad y, también, su mayor inestabilidad. Dentro de los flujos que circulan por la red financiera (información, órdenes de compra y venta, pagos y liquidaciones, y servicios de valor añadido) los avances tecnológicos, relacionados con las grandes redes de comunicaciones informáticas, han influido notablemente en su eficiente funcionamiento, elevando su grado de competitividad. Basándose en este progreso

---

<sup>1</sup> Ver E. Scott Mayfield y Bruce Mizrach. "On Determining the Dimension of Real-Time Stock-Price Data". Este trabajo, así como otros muchos, figura en la obra citada en la bibliografía W.Davis Dechert.

tecnológico, las innovaciones financieras (nuevos productos, nuevos mercados, institucionalización del ahorro) han dado lugar a la aparición de potentes gestores que, al operar en toda clase de activos financieros y a través de las fronteras, manejando un elevado volumen de fondos y en operaciones a muy corto plazo (días, horas), introducen una realimentación generadora de inestabilidades y turbulencias que se transmiten de estos mercados al sistema económico global. Hemos de tener en cuenta que las turbulencias surgen porque todos los componentes del mercado están interrelacionados y cada uno de ellos depende de todos los demás y la realimentación entre ellos produce elementos nuevos a considerar. Precisamente la desintegración del orden en turbulencias (ese atractor extraño) es un signo de la infinita y profunda interconexión dentro del sistema y una señal de su carácter integral. La turbulencia en los mercados financieros comenzó, precisamente, cuando se convirtieron en más integrados, globalizados e interrelacionados.

Todo ello choca con esa gestión de la economía de los Gobiernos nacionales que tienen que contemplar cómo estos mercados financieros inciden en los tipos de cambio, tipos de interés, etc., acentuando los desequilibrios básicos de sus economías, y cuyas políticas económicas -que, con frecuencia, tienden a politizar los tipos de cambio y de interés-, al retrasar la toma de decisiones, impiden que se mitiguen los efectos perturbadores.

## **BIBLIOGRAFÍA.**

La contenida en el libro citado del mismo autor.