

## CAOS Y PREVISIÓN, ¿UNA CONTRADICCIÓN? : UN MÉTODO PROSPECTIVO

**Raimundo Franco, Heinz Dieterich.**

**Instituto de Cibernética, Matemática y Física (ICIMAF-CITMA)**

[franco@cidet.icmf.inf.cu](mailto:franco@cidet.icmf.inf.cu)

**Universidad Autónoma de México**

[hdieter@cueyatl.uam.mx](mailto:hdieter@cueyatl.uam.mx)

El mundo actual se caracteriza por la complejidad de los problemas que a diario enfrenta y debe resolver. Este término se ha vuelto popular entre determinados sectores científicos, a modo de ilustración véanse los estudios sobre las ciencias de la complejidad del Instituto de Santa Fe [Zurek, 1990] y el Newsletter No. 58 de la ICSU (International Council of Scientific Unions) de diciembre de 1994. En él se reflejan las opiniones expresadas en el seminario “Confronting Complexity in Science” por numerosos eminentes científicos en los más diversos campos como las Matemáticas, la Física, la Biología, las Neurociencias y la Filosofía, acerca de la relación entre complejidad y sus relaciones con el comportamiento caótico y los sistemas dinámicos.

Otra referencia reciente sobre complejidad termina afirmando, después de página y media de análisis: “De hecho, la complejidad (junto con términos relacionados como orden y estructura) aparecen como esencialmente indefinibles en cualquier modo que permita mediciones objetivas” [Ayres 1994, pp. 13 y 14]. Como podrá apreciarse no parece haber mucho consenso con relación a la complejidad, por lo que tenemos todo nuestro derecho a intentar nuestro propio camino. Este camino estará basado, en lo fundamental, en los conceptos expresados por Engels en “Dialéctica de la Naturaleza” [Engels, 1982] acerca de la complejidad de los diferentes tipos de movimiento, entendiendo como movimiento cualquier tipo de cambio en el sistema. En esta comprensión, es esencial no olvidar que siempre existe un portador material del movimiento ejecutado.

Engels propuso una clasificación de los movimientos en escala creciente de su complejidad, es decir, lo complejo es en mayor o menor medida, por el tipo de movimiento más o menos complejo que sea capaz de realizar. Así identificó el movimiento mecánico como el más simple, seguido del movimiento físico (entendido como termodinámica y electrodinámica, a lo que habría que agregar hoy la teoría realista y la mecánica cuántica). Un movimiento más complejo que el físico lo sería el movimiento químico, o sea, el de la combinación y la transformación de unas sustancias en otras, y a este sucedería el movimiento biológico con su característica distintiva principal, la de que el sistema biológico se reproduce a sí mismo. Dentro de esta lógica, en el peldaño de la más alta complejidad estaría el movimiento social, que es aquel propio de las organizaciones humanas, cualesquiera que estas sean.

---

**Ponencia presentada al IV Encuentro Iberoamericano de Estudios Prospectivos, La Habana, 31.1-2.2.2000.**

Dentro de cada tipo de movimiento hay a su vez sistemas con movimientos más simples y más complejos. Por ejemplo, se puede aceptar sin muchas objeciones que el movimiento mecánico de un objeto al caer es más simple que el movimiento mecánico de un reloj planetario, o que el movimiento biológico que puede realizar una ameba es más simple que el que puede realizar un mamífero. En resumen, se puede afirmar que la complejidad tiene por lo menos dos dimensiones bien definidas: la del tipo de movimiento y aquella que existe dentro de cada tipo de movimiento.

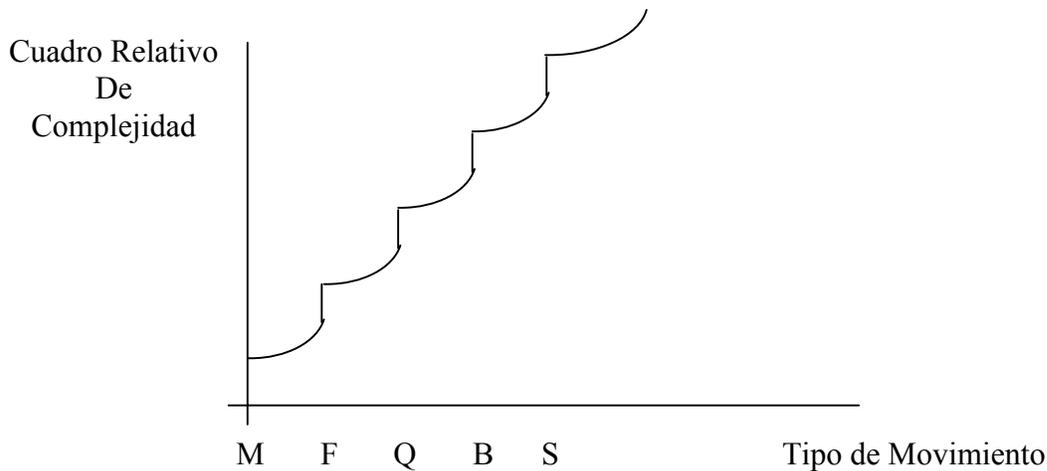


Fig. 1: Representación esquemática del aumento del grado de complejidad según el tipo de movimiento. La aparición de un nuevo tipo de movimiento representa el surgimiento de cualidades nuevas no reducibles. Esto está representado en el gráfico por el salto brusco de la complejidad.

Para terminar esta introducción a la complejidad apuntaremos algo que parecen olvidar algunos autores cuando tratan de modelar la dinámica de todo lo vivo [Mack, 1994]. Estos autores usan para ello el mismo andamiaje conceptual (el formalismo) desarrollado para la modelación de tipos de movimiento más simples, sin tener en cuenta un aspecto cualitativo muy importante ya apuntado por Engels, y que se resume en el hecho de que un movimiento más complejo incluye, pero no puede ser reducido a las formas más simples de movimiento.

Un ejemplo interesante es la diferencia existente entre Termodinámica y Mecánica, es decir, entre la descripción o modelación del movimiento de millones y millones de partículas, digamos de un gas, y la descripción del movimiento de unas pocas partículas según las leyes de Newton. Como es conocido, las leyes de la mecánica son reversibles en tiempo, no hay diferencias en la dirección en que fluye el tiempo hacia el pasado o hacia el futuro. Por el contrario, las leyes de la Termodinámica tienen carácter irreversible y el tiempo fluye en dirección al futuro o como algunos plantean en la dirección en que la Entropía aumenta.

Otro ejemplo de naturaleza muy distinta es el del estudio del lenguaje. Nadie podría comprender el desarrollo del lenguaje, su dinámica, estudiando al hombre como un ser biológico únicamente. El lenguaje es esencialmente un fenómeno social que, naturalmente, se desarrolla en un sustrato biológico pero no puede ser reducido únicamente a este.

A nuestro juicio, este error metodológico no le permite a muchos autores fijar su atención sobre los aspectos cualitativamente distintos de un tipo de movimiento en relación con otros más simples. Nos parece, sin embargo, que para la modelación de las organizaciones humanas este aspecto resulta esencial. Es en esta zona donde los aportes de las ciencias sociales posiblemente resulten de primera magnitud para una modelación realmente exitosa de la dinámica de tales sistemas.

Si, a la luz de estas concepciones sobre la complejidad, hacemos un análisis de la aparición de los descubrimientos científicos y de los principios verdaderamente nuevos en la ciencia, vemos que los mismos han ido apareciendo en una sucesión que coincide como tendencia con la sucesión de movimientos cada vez más complejos. Los primeros resultados científicos en la época moderna aparecen en siglo XVII aproximadamente, relacionados con la Mecánica y los nombres, de todos conocidos, de Newton, Galileo y otros muchos. El siglo XIX muestra, junto con los inicios del siglo XX, el apogeo de la Física, se desarrolla la Termodinámica y su famosa Segunda Ley (La Entropía en un sistema aislado solo puede crecer o permanecer, en todo caso, constante), la Electrodinámica de Maxwell, la Teoría de la Relatividad de Einstein y la Mecánica Cuántica. En cierta forma, en paralelo con la Física se desarrolla la Química, que finalmente cobra en las dos primeras décadas de este siglo un fundamento sólido con los descubrimientos de la estructura atómica.

La década de los '40 vio surgir, como disciplinas científicas, la Teoría de la Información y la Cibernética, que sembraron las bases o paradigmas sobre los que se sustentan en gran medida la Informática. Estas dos ciencias contribuirían de forma decisiva, a su vez, a descifrar los enigmas del código genético y con ello a propiciar avances decisivos en la Biología.

La vanguardia de la resultatividad en la ciencia la toma la Biología a mediados del siglo XX. Un punto de viraje lo constituye el descubrimiento de la estructura de la molécula del DNA en la década de los '50, basándose en análisis de Rayos X descubierto en los años '20. Algo digno de tenerse en cuenta es el hecho de que a pesar de los cuantiosos recursos empleados en las investigaciones físicas en los últimos 50 años las verdades o los principios verdaderamente descubiertos son relativamente pocos. El ejemplo de los cuantiosos gastos dedicados a la construcción inconclusa de un acelerador superconductor de partículas en USA es paradigmático.

El estudio de los sistemas biológicos avanzó de manera espectacular en las últimas décadas. Hoy ya llegamos al punto de convertir de manera sistemática los conocimientos adquiridos en bienes o servicios. Ello se manifiesta, en alguna medida, en la aparición de nombres como el de la Biotecnología y el de la Ingeniería Genética. Se podría afirmar aquí que las ciencias biológicas han alcanzado, o están a punto de alcanzar, la madurez y que como antes hizo la biología con la Física, serán ahora las ciencias que se ocupan del movimiento social las que recogerán la estafeta de la resultatividad científica y de que en las próximas

décadas los aportes verdaderamente nuevos, corresponderán a las ciencias que estudien la dinámica de las organizaciones sociales.

Estas ciencias a nuestro juicio surgirán de una verdadera integración o síntesis de las Ciencias Sociales y las Ciencias Naturales [Wheatley, 1992]. Se puede predecir con cierta legitimidad la aparición de disciplinas tales como Sociofísica, Psicofísica y otras que serán en buena medida expresión de la síntesis mencionada, como antes lo fueron la Biología, la Biofísica, la bioquímica y otros.

Resumiendo, puede afirmarse que la resultatividad en las ciencias ha estado estrechamente vinculada a la complejidad del tipo de movimiento estudiado y se ha ido desplazando en el sentido de lo simple a lo complejo. Hoy parece ser que está preparado todo el escenario para pasar a la modelación de la dinámica evolutiva de las organizaciones sociales y esta modelación traerá consigo resultados trascendentes, como ya ha ocurrido con el estudio de otros tipos de movimientos más simples.

### ***Las organizaciones sociales (OS). Los sistemas dinámicos complejos.***

La conclusión del acápite anterior que más nos interesa resaltar ahora es que, en tanto que organizaciones sociales (OS), cualquier organización humana, ya sea un laboratorio, una fábrica, un instituto, etc., es un sistema dinámico, es decir, un sistema que cambia y que evoluciona en el tiempo. Estos sistemas presentan los tipos de movimiento y cambios más complejos que conoce el hombre. La complejidad de los sistemas estudiados por el hombre ha ido creciendo, paulatina y continuamente, a medida que la sociedad humana ha ido progresando. Hoy existen infinidad de problemas estudiados por las Ciencias Naturales y la Biología que se clasifican como Sistemas Dinámicos Complejos (SDC), entre ellos están los LASERS, el clima, el cerebro humano, reacciones químicas autocatalíticas, los sistemas ecológicos, los grandes sistemas eléctricos, los sistemas de comunicación electrónica y muchos otros.

En las últimas décadas se han hecho considerables los progresos en la comprensión y modelación de la dinámica de tales sistemas. Se comprobó que, en tales sistemas, el tránsito de un comportamiento ordenado (previsible) a otro desordenado (imprevisible o caótico) pasaba por las mismas fases. Ello quedó reflejado en los trabajos de Lorentz de la década de los '60 para predecir el clima [Lorentz, 1963], en la teoría de las catástrofes de Thom [Thom, 1975], en la teoría del Universalismo de Feigenbaum [Feigenbaum, 1978] y en la magnitud de los trabajos aparecidos, a partir de los años '70, sobre el comportamiento caótico de tales sistemas. Igualmente a partir de los años 70 aparecen las concepciones de la Cinérgica impulsadas por el físico alemán Herman Haken [Haken, 1987], que permitieron avanzar en la comprensión del comportamiento ordenado auto – organizado (coherente) de sistemas compuestos por multitud de elementos (subsistemas) que, por lo general, se comportan de manera aleatoria o desordenada; pero que bajo determinadas condiciones, también llamadas restricciones, se comportan de manera coherente y ordenada. A todo esto hay que añadir el desarrollo de la termodinámica de los procesos irreversibles y en especial los trabajos de la escuela de Bruselas con I. Prigogine a la cabeza [Nicolis y Prigogine,

1977 y 1989]. Quien propuso el término de “estructuras disipadas” para aquellos sistemas dinámicos con estructuras estables o estacionarias situadas lejos del equilibrio termodinámico y mantenidos por la disposición constante de energía. Entre otros, se considera que todos los sistemas vivos son estructuras disipadas, dicho de otro modo, estos sistemas sólo pueden existir sobre la base de un flujo continuo de energía. Estos trabajos ayudaron de forma importante en la comprensión de los fenómenos asociados con el comportamiento de los sistemas dinámicos complejos.

- *Características de las OS analizadas como SDC.*

Llegado a este punto, ya resulta conveniente plantear algunas consideraciones relacionadas con la dirección de este tipo de organizaciones.

En primer lugar, se dirige siempre una organización social, lo que traducido a nuestro enfoque quiere decir que se dirige siempre un sistema dinámico complejo. Las OS, analizadas como SDC, tienen un conjunto de características, algunas de las cuales enumeraremos de forma resumida:

- a) Estas son sistemas abiertos. Esto quiere decir que sus relaciones con el entorno tienen carácter esencial para la existencia misma del sistema y que no pueden ser considerados como aislados en ningún caso de manera legítima.
- b) Estos sistemas tienen carácter “depredador” en relación con el entorno en el cual se mueven (desarrollan) [Franco y Pérez, 1998]. Al desarrollarse ellos desorganizan, o como algunos dicen, entropisan el entorno, en determinada forma. En todo caso, sí, ciertamente provocan cambios irreversibles en el entorno, lo cambian o transforman. Toman de ese entorno los elementos para su desarrollo.
- c) Todos los sistemas de este tipo cumplen siempre determinada función o pretenden alcanzar determinados objetivos. Dicho de otro modo, existen para algo.
- d) Son sistemas situados lejos del equilibrio termodinámico, es decir, constituyen o forman estructuras disipadas. Ello se manifiesta en que poseen un determinado “metabolismo”. En general puede afirmarse que fluyen a través de ellos energía, información y sustancias, las que son transformadas o metabolizadas por el sistema. Estos sistemas consumen además, multitud de objetos que son igualmente transformados (utilizados) y que corporisan ellos mismos cantidades determinadas de información, energía y sustancias. Dichos flujos y productos le posibilitan al sistema cumplir con la función que realizan o alcanzar los objetivos que proponen.

Como todo “proceso metabólico”, el que tiene lugar en los sistemas que estamos examinando da lugar a determinados productos y desechos. Estos son también energía, información y sustancias además de objetos. Este carácter de estructuras disipadas condiciona que los procesos que se desarrollan en él tienen carácter irreversible.

- e) Teniendo en cuenta que en estos sistemas el elemento principal o célula básica es el ser humano, hay algo que también “fluye” y es “metabolizado” por los sistemas sociales pero cuya caracterización y cuantificación es, en sí misma, un problema de gran envergadura. Nos referimos al intercambio o flujo de ideas, sentimientos, valores éticos, morales, culturales y otros. Sin duda los mismos se transmiten, se comparten o no y son valorados de alguna forma, es decir, “medidos”.

No hay duda de que dichos valores, cultura y conceptos, tienen una influencia muy objetiva y decisiva en la dinámica de las OS, como lo han demostrado las investigaciones y los éxitos de la Psicología Organizacional y la Sociología. No será posible una modelación exitosa de dichos sistemas si estos factores no se integran de forma adecuada en dicha modelación. Esto reitera lo ya expresado acerca de la necesaria integración de las Ciencias Sociales y las Ciencias Naturales como la única alternativa plausible para el estudio de la dinámica de dichas organizaciones.

- f) Los sistemas que nos ocupan evolucionan adaptándose a los cambios que en su entorno se producen, de forma tal que tratan de conservar su identidad, objetivos y funciones. Son sistemas de tipo adaptativo.
- g) Estos sistemas están siempre retroalimentados en función de alcanzar el objetivo propuesto. Esta retroalimentación puede ser un tanto estabilizadora como estimuladora.
- h) Los sistemas que son de nuestro interés están formados, a su vez, por otros sistemas, que podemos llamar subsistemas. Estos subsistemas se componen nuevamente de elementos que también son sistemas. Todos estos sistemas, formados a su vez por otros sistemas, forman una determinada jerarquía que en cada escalón posee algunas características aproximadamente similares. A esta propiedad de ser similar a cualquier escala, se le ha llamado autosimilaridad.

- *El entorno. Su papel en la dinámica de las OS.*

Las características antes mencionadas de las OS combinadas con dos propiedades del entorno que formularemos seguidamente en forma de postulado, determinan en lo fundamental la dinámica de estos sistemas; o dicho de otro modo, su manera más o menos exitosa de moverse dentro del entorno.

A este postulado lo llamaremos “Postulado de lo Previsible y lo Imprevisible” y lo formularemos de la siguiente manera:

El comportamiento del entorno es para las organizaciones sociales previsible, pero solo en parte. Y es, en parte, imprevisible.

Hay en esta formulación una cierta redundancia; pero, como se podrá apreciar más adelante, resulta necesaria una clara distinción entre lo previsible y lo imprevisible. También hay que recalcar que cuando hablamos aquí de lo imprevisible estamos diciendo precisamente aquello que en principio no puede ser previsto por el sistema. Planteamos que

en cada momento  $t$  de la existencia del sistema hay cambios del entorno que resultarán nuevos para él y por lo tanto imposibles de prever.

Con relación a lo previsible, lo que quiere significar el postulado, es la posibilidad cierta de una previsión solamente parcial del comportamiento del entorno.

¿Qué consecuencias tiene para el sistema este comportamiento de su entorno?

El sistema, como hemos visto, cumple con determinados objetivos. ¿Cómo debe entonces estar organizado ese sistema para hacer frente a estas dos cualidades del comportamiento del entorno, para adaptarse a él con éxito, para evolucionar y desarrollarse en él? Pues como tendencia, de no moverse con éxito dentro de su entorno, el sistema involucionaría y en última instancia podría desaparecer.

- *Estructura más general de una OS.*

Puede haber, en principio, una multitud de respuestas a las preguntas planteadas en el acápite anterior; sin embargo, no todas reflejarían con igual éxito la realidad y por tanto, fundamentar y tratar de probar determinadas hipótesis resulta necesario. Nosotros proponemos las siguientes:

El sistema debe estar organizado de manera tal que refleje, en sí mismo, al entorno en el cual se mueve, es decir, en el que se desarrolla y evoluciona. Esto significa que su estructura interna debe contener por lo menos dos partes, una que refleje lo previsible, planificable, controlable, y otra que sea un reflejo del comportamiento imprevisible, aleatorio o estocástico del entorno.

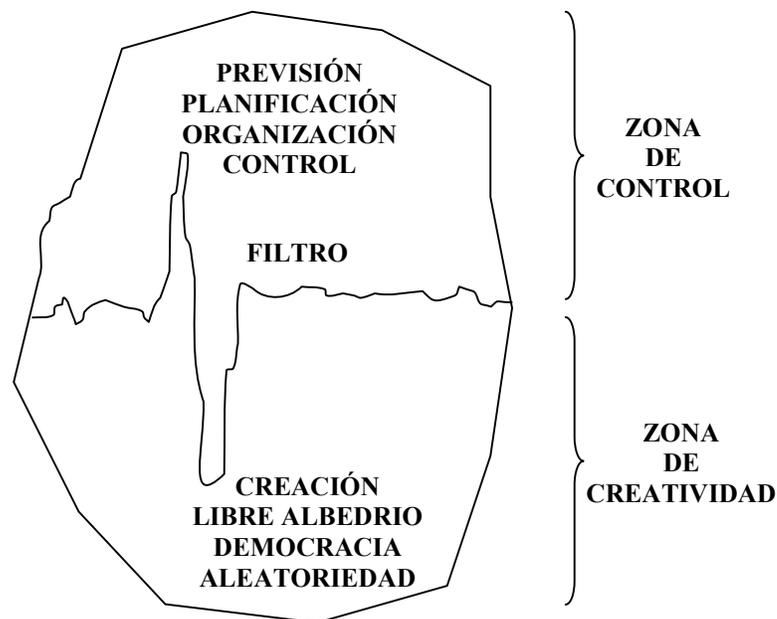


Fig. 2. Estructura general de un sistema que modela una Organización Social

A la parte que responde por lo previsible la hemos llamado Zona de Control y es la encargada de mantener la constancia en el alcance de los objetivos o en el cumplimiento de las funciones del sistema. Es esa zona la que garantiza la coordinación de todos los esfuerzos del sistema en aras de alcanzar los fines propuestos. A la parte que refleja lo imprevisible la hemos llamado Zona de Creatividad. Es esta la zona que prevé lo imprevisible; pero esto naturalmente es imposible. ¿Cómo entonces debe concebirse esa zona dentro del sistema y cómo debe funcionar?

En esta zona deben estarse probando (creando), de forma permanente, las posibles respuestas a los cambios imprevisibles del entorno; pero esos cambios son realmente imprevisibles, por tanto, la misma debe ser concebida de manera tal que estas pruebas se realicen de forma no planificada ni organizada, es decir, aleatoria. Es la zona donde se elaboran continuamente respuestas no previstas a problemas imprevistos. Quizás la mejor manera de transmitir esta idea es con un ejemplo y para ello utilizaremos el de las investigaciones en superconductividad.

Hasta 1986 las investigaciones alrededor de la superconductividad se realizaban en la zona que llamamos la creatividad. Esto quiere decir, que la realizaban aquellos que disponían de determinados recursos, que pensaban que eso era перспекivo, que era un problema científico interesante, etc. Existía alrededor de estas investigaciones una dificultad formidable, dado por el hecho de que el efecto superconductor solo se lograba a temperaturas de Helio líquido, es decir, muy cerca del 0 absoluto ( $-273^{\circ}\text{k}$ ). El helio líquido, además de ser por ello extremadamente caro, tiene la propiedad de filtrarse y escapar por cualquier intersticio o poro microscópico, lo que haría su uso industrial prácticamente imposible. Como cosa instructiva, hay que añadir el hecho de que las teorías físicas en boga para explicar el fenómeno predecían una temperatura máxima límite para la cual era ya imposible el fenómeno. Durante 1986 un pequeño grupo de investigadores descubre, a pesar de todo esto, que era posible superconductividad a temperatura del Nitrógeno líquido, que se produce a escala industrial y es de amplio uso. A partir de ese momento, y en sólo 3 meses, se crearon en todo el mundo, mediante programas gubernamentales, más de 100 laboratorios con objetivos planificados, con recursos asignados y una planificación de la actividad investigativa consecuente con lo anterior. En este ejemplo vemos con claridad un tránsito de la zona donde las investigaciones se realizan por intereses de muy diverso tipo, es decir, con carácter aleatorio, a la zona donde los resultados se planifican, se prevén y se le asignan recursos para alcanzar unos resultados específicos. Una historia muy parecida sucedió con las hoy omnipotentes computadoras personales.

La relación entre estas dos zonas y su mayor o menor proporción relativa dependen al menos:

- a) De la naturaleza del propio sistema (de sus objetivos y funciones). Por ejemplo una identidad dedicada a I+D comparada con una identidad militar, muestran en la segunda una posible preeminencia de la Zona de Control.
- b) Del momento histórico concreto del desarrollo del sistema en cuestión. Está claro que cualquiera de estos sistemas pasa por etapas de infancia, plena madurez y decadencia;

soporta etapas de crisis seguidas de renovación, etc., en cada una de las cuales, la Zona de Control y Creatividad mantienen diferentes proporciones dentro de la estructura.

- c) De la relación que, en el momento en cuestión, tienen en el entorno lo previsible y lo imprevisible. Podemos aceptar que cualquiera de los sistemas que estamos estudiando manejarán su organización (la estructura, proporción entre la zona de control y la de creatividad) según se encuentre su entorno, por ejemplo, en estado de guerra, revolución social, auge o depresión económica, etc., estados en cada uno de los cuales él tendrá diferentes composiciones en la estructura.

### ***¿Qué tiene que ver todo esto con prospectiva?***

A nuestro juicio mucho por las siguientes razones:

La previsión sólo es posible hasta cierto punto. Existe lo que algunos llaman horizonte predictibilidad, es el tiempo aquel pasado el cual ya no hay previsión segura posible. Todo ello está relacionado, en una primera aproximación, con el llamado caos determinístico; ¿No es acaso este concepto contradictorio?. Sí lo es, y expresa una contradicción entre un proceso que es modelado por ecuaciones totalmente deterministas y que sin embargo se comporta, en ciertas condiciones, de manera caótica o como ya mencionamos, imprevisible.

Todo lo anterior apunta a que sin un conocimiento de la dinámica del sistema no es posible hablar de predicción confiable alguna. Para una predicción realista es necesario antes haber identificado o descubierto y formalizado la dinámica del sistema en cuestión. Solo entonces podríamos aspirar a una prospectiva que no sea en alguna medida adivinatoria.

A nuestro juicio y teniendo en cuenta lo dicho más arriba nos parece que una de las tareas importantes de la prospectiva debería ser precisamente contribuir a elaborar esa dinámica de las organizaciones que nos permitan dirigir las hacia un futuro que sea a la vez posible y deseado y con el mínimo costo posible.

Nuestro esfuerzo en este sentido ha estado dirigido a identificar aquellas magnitudes que por su carácter integrador pudieran ser utilizadas en los modelos dinámicos. Según nuestro criterio una de esas magnitudes es la cantidad de información “metabolizada” por el sistema. Sin embargo el concepto tradicional de información nos parece insuficiente. El problema principal radica en que se mide algo carente de significado, sólo el número de combinaciones posibles de determinada cantidad de símbolos, y no importa para nada si es una sucesión incongruente de letras o números u otra cosa. Por otro lado la información que carece de significado para una organización es a lo sumo desperdicio.

Otra magnitud que se ha utilizado para la descripción de las organizaciones sociales es la Entropía. Esta magnitud parece caracterizar bastante bien el desorden existente en un sistema. Sin embargo es muy fácil percibir que una OS cualquiera requiere de cierto orden para poder funcionar pero no es posible reducir organización únicamente a orden.

Desde un punto de vista más formal se puede afirmar que la Entropía esta bien definida en la física para sistemas aislados y cuyas partes interaccionan muy débilmente [Landau, 1969]. No parece razonable suponer que una OS cumpla con ninguno de estos requisitos. Hoy han surgido propuestas [Tsallis, 1999] de generalización del concepto de Entropía, las llamadas Entropías no extensivas, que tratan de tener en cuenta esta situación para determinados sistemas físicos. En nuestro grupo estamos estudiando esas entropías con el objetivo de evaluar su potencial para describir lo que hemos llamado “grado de organicidad”. Pretendemos desarrollar un método de clasificación sobre esa base que nos permita identificar que organizaciones son más simples, para en una segunda etapa intentar caracterizar la dinámica evolutiva de esas organizaciones precisamente.

## Bibliografía

1. Engels, F., *Dialéctica de la Naturaleza*, Editorial de Ciencias Sociales, La Habana, (1982).
2. Feigenbaum, M., *Quantitative Universality for a Class of Nonlinear Transformation*, Journal of Statistical Physics, Vol. 19, pp 25-52, (1978).
3. Franco R., Pérez H., *Competition between Maxwell's Demons and some consequences*, Revista Mexicana de Física 44 (2) 128-132, (1998).
4. Gell-Mann, Murray, *The quark and the Jaguar*, Fredman, New York, (1994).
5. Haken, H., *Advanced Synergetics*, Springer Verlag, Berlín, Heidelberg, New York, (1987).
6. Landau, L. D., Lifschitz, E. M., *Física Estadística*, Volumen 5 del Curso de Física Teórica, Editorial Reverté, S.A., Barcelona, Buenos Aires, México, 1969.
7. Lorenz, E., *Deterministic Nonperiodic Flow*, Journal of the Atmospheric Science, Vol. 20, pp.41-130, (1963).
8. Mack, G., *Universal Dynamics of Complex Adaptive Systems: Gauge Theory Of things Alive*, DESY 94-075, (1994).
9. Nicolis, G. and Prigogine, I., *Exploring Complexity*, W.H. Freeman and Company, New York, (1989).
10. Nicolis, G. and Prigogine, I., *Self-Organization in Non- equilibrium Systems*, John Wiley and Sons, New York, (1977).
11. Tsallis, C., *Nonextensive statistics: Theoretical, Experimental and Computational Evidences and Connections*, cond-mat/9903356.
12. Thom, R., *Structural Stability and Morphogenesis*, W.A. Benjamin Reading, Marzo, (1975).
13. Wheatley, M.J., *Leadership and the New Science*, Berrett-Kochler Publishers, San Francisco, (1992).
14. Zurek, H.W., Editor, Santa Fe Institute, *Studies in the Sciences of Complexity*, Proceedings Vol. VIII, *Complexity, and the Physics of Information*, Addison-Wesley, Redwood City, CA, (1990).