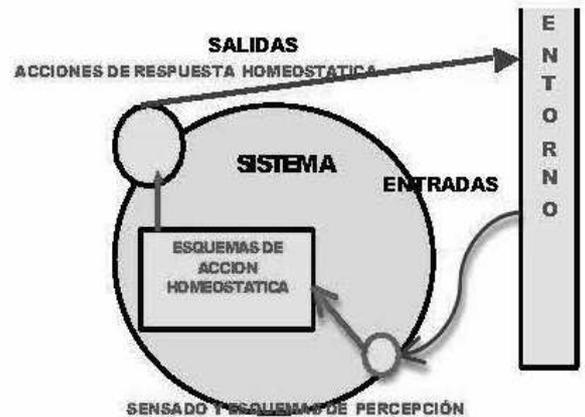
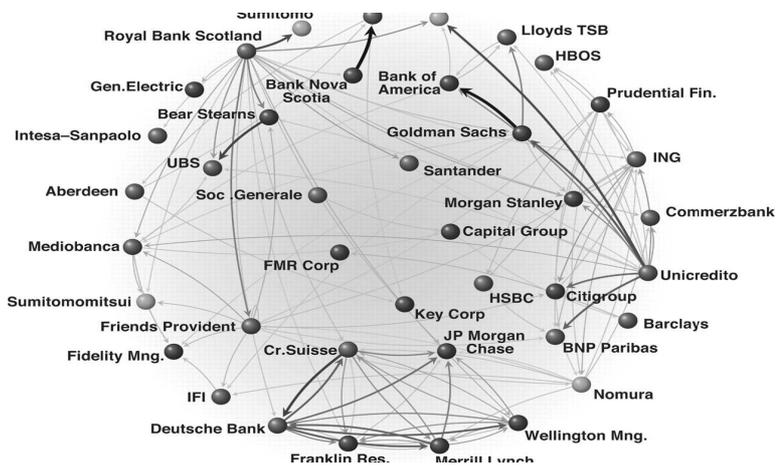


• LAS CIENCIAS DE LA COMPLEJIDAD Y LOS SISTEMAS AUTORREGULADOS

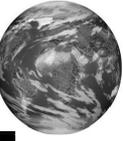
• Felipe Lara-Rosano

• Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico (CCADET) UNAM

• Centro de Ciencias de la Complejidad (C3) UNAM



• EJEMPLOS DE SISTEMAS AUTORREGULADOS



Animales

Ecosistemas

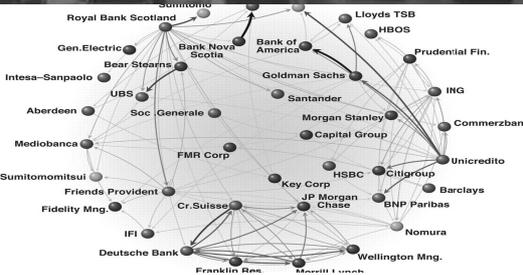
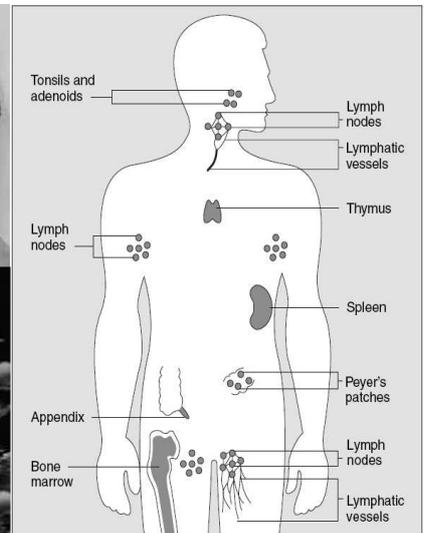
Corrupción



Contaminación

Delincuencia organizada

Vida



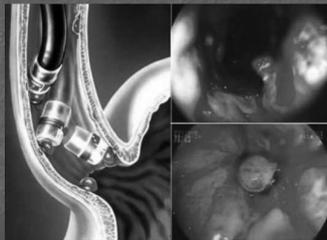
Sistema Capitalista

Sistema Inmunológico

2. NATURALEZA COMPLEJA DE LA REALIDAD



CANCER GASTRICO



Giovanna Patricia Gómez Sánchez



- **A) LA REALIDAD ES DIALÉCTICA Y CONSTITUIDA POR ELEMENTOS CONTRADICTORIOS.**



- **procesos deterministas** ↔ **procesos estocásticos.**
- **procesos reversibles y simétricos** ↔ **procesos irreversibles.**
- **procesos en equilibrio** ↔ **procesos en desequilibrio.**
- **entidades estables** ↔ **entidades inestables**
-

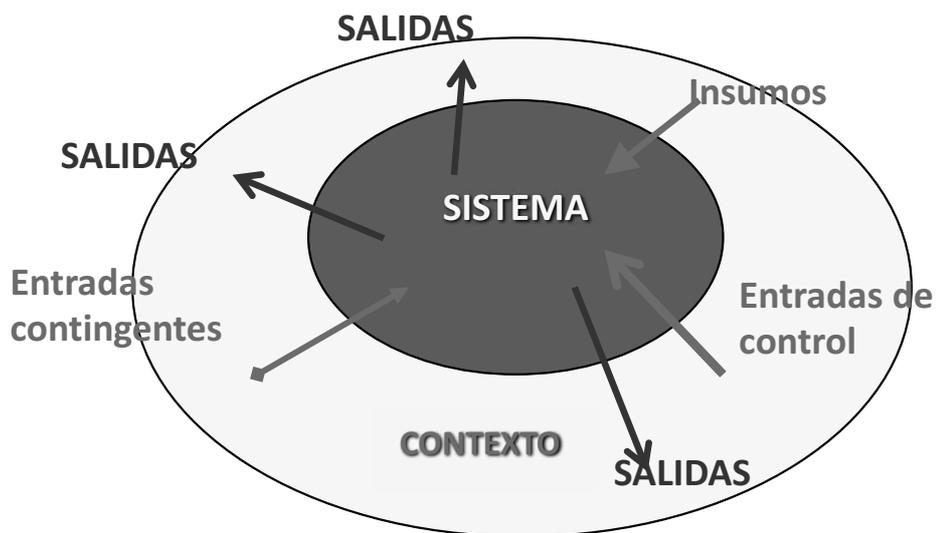
- **B) LA REALIDAD DEPENDE DE SU HISTORIA Y DE SU TRAYECTORIA EVOLUTIVA.**
-
- **La realidad no surge repentinamente en el presente en forma descontextualizada, sino siempre tiene un contexto histórico.**
-



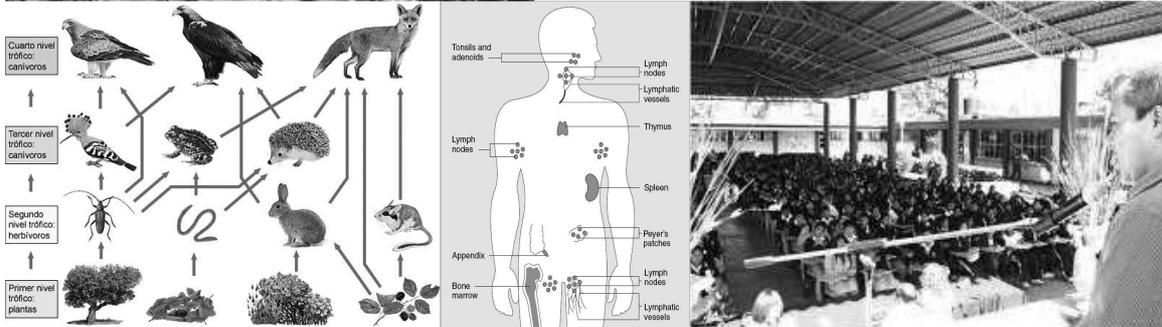
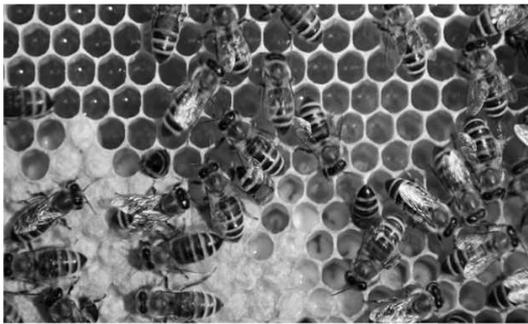
Factores históricos



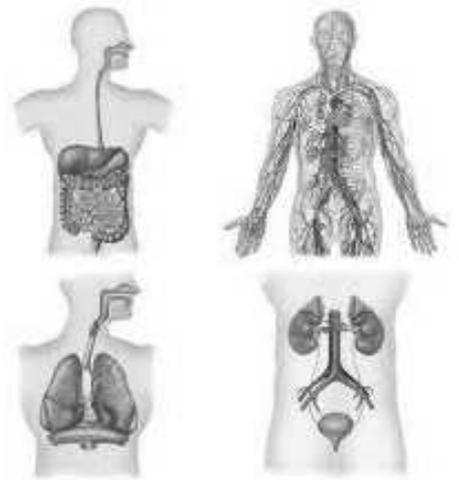
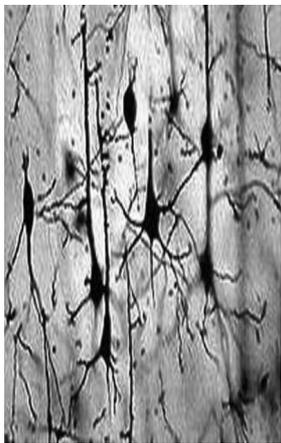
C) EL SIGNIFICADO DE LA REALIDAD DEPENDE DE SU CONTEXTO.



- **D) EN LA REALIDAD HAY UNA DIVERSIDAD DE AGENTES INTERACTUANTES EN CO-EVOLUCION.**



- **E) LOS AGENTES INTERACTUANTES PROVOCAN LA APARICIÓN DE PROPIEDADES EMERGENTES EN LA REALIDAD.**



- **F) HAY FACTORES TELEOLÓGICOS E INTENCIONALES EN LOS AGENTES HUMANOS Y SOCIALES.**



- **G) LOS PROCESOS EN LA REALIDAD SON NO LINEALES**

Pequeñas acciones pueden tener grandes efectos (efecto mariposa).



Grandes acciones pueden tener resultados mínimos.

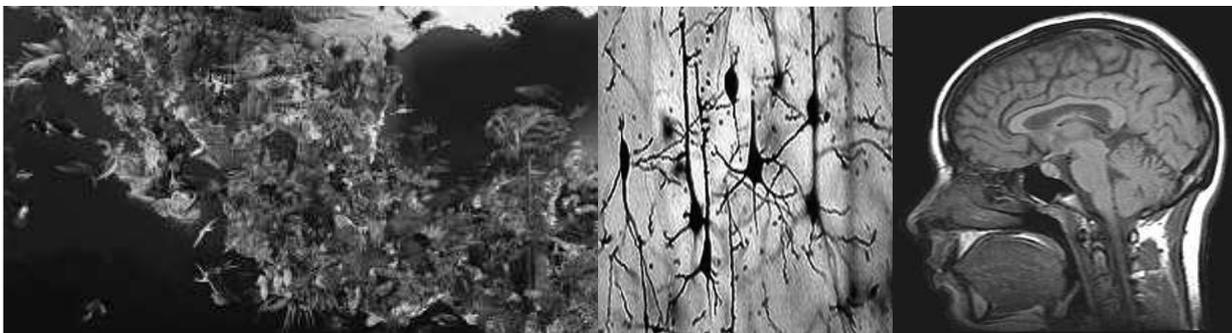




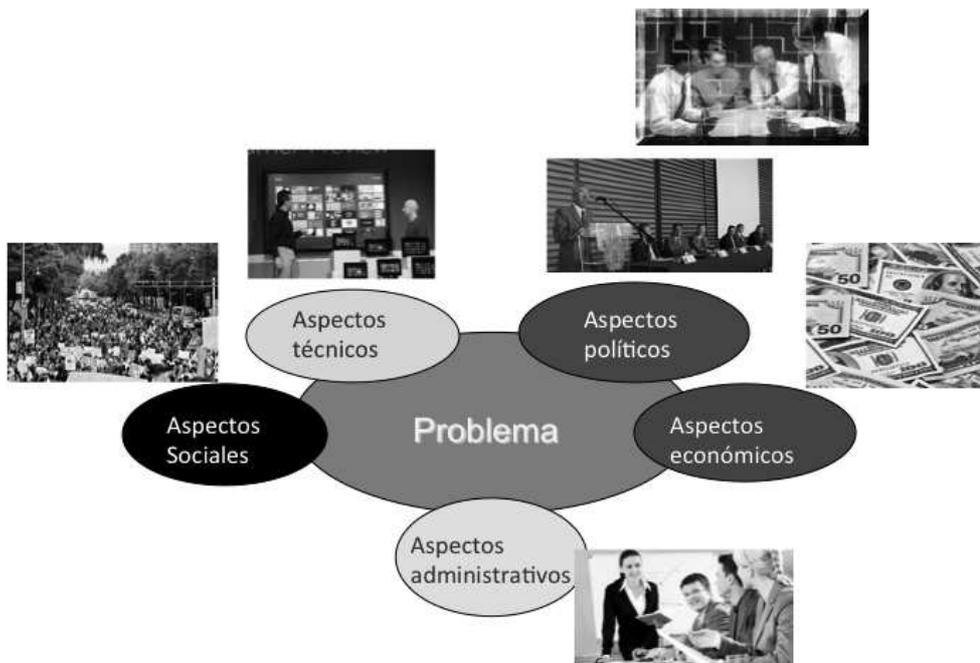
- **H) LAS PROPIEDADES EMERGENTES DE LA REALIDAD NO SURGEN DE SUS ELEMENTOS, SINO DE SUS INTERRELACIONES.**



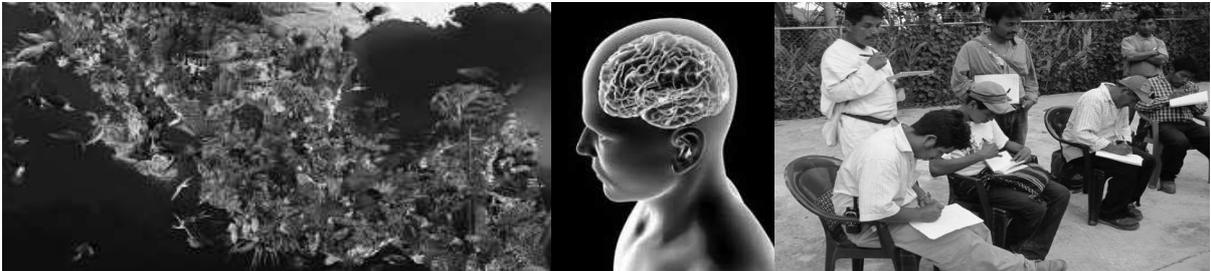
- **I) ELEMENTOS E INTERRELACIONES DE LA REALIDAD CAMBIAN CON EL TIEMPO.**



- **J) CONOCER LA REALIDAD REQUIERE UN ENFOQUE TRANSDISCIPLINARIO**



- **K) LOS SISTEMAS BIOLÓGICOS, HUMANOS Y SOCIALES REQUIEREN APRENDIZAJE, PLASTICIDAD Y ADAPTACIÓN PARA AUTORREGULARSE.**



Los Sistemas Sociales son sistemas interactivos, dinámicos, no lineales, y provistos de un sentido teleológico, capaces de adaptación, aprendizaje e innovación, y con una tendencia a estructurarse en redes complejas.

Los Sistemas Sociales no pueden ser definidos como los sistemas deterministas, sino de acuerdo con los objetivos que tienen ellos y sus componentes.

Para cumplir sus metas tienen que autorregularse, por lo cual se denominan Sistemas Autorregulados. En esta autorregulación, deben adaptarse continuamente a un entorno dinámico, por lo que también se llaman Sistemas Adaptativos Complejos.

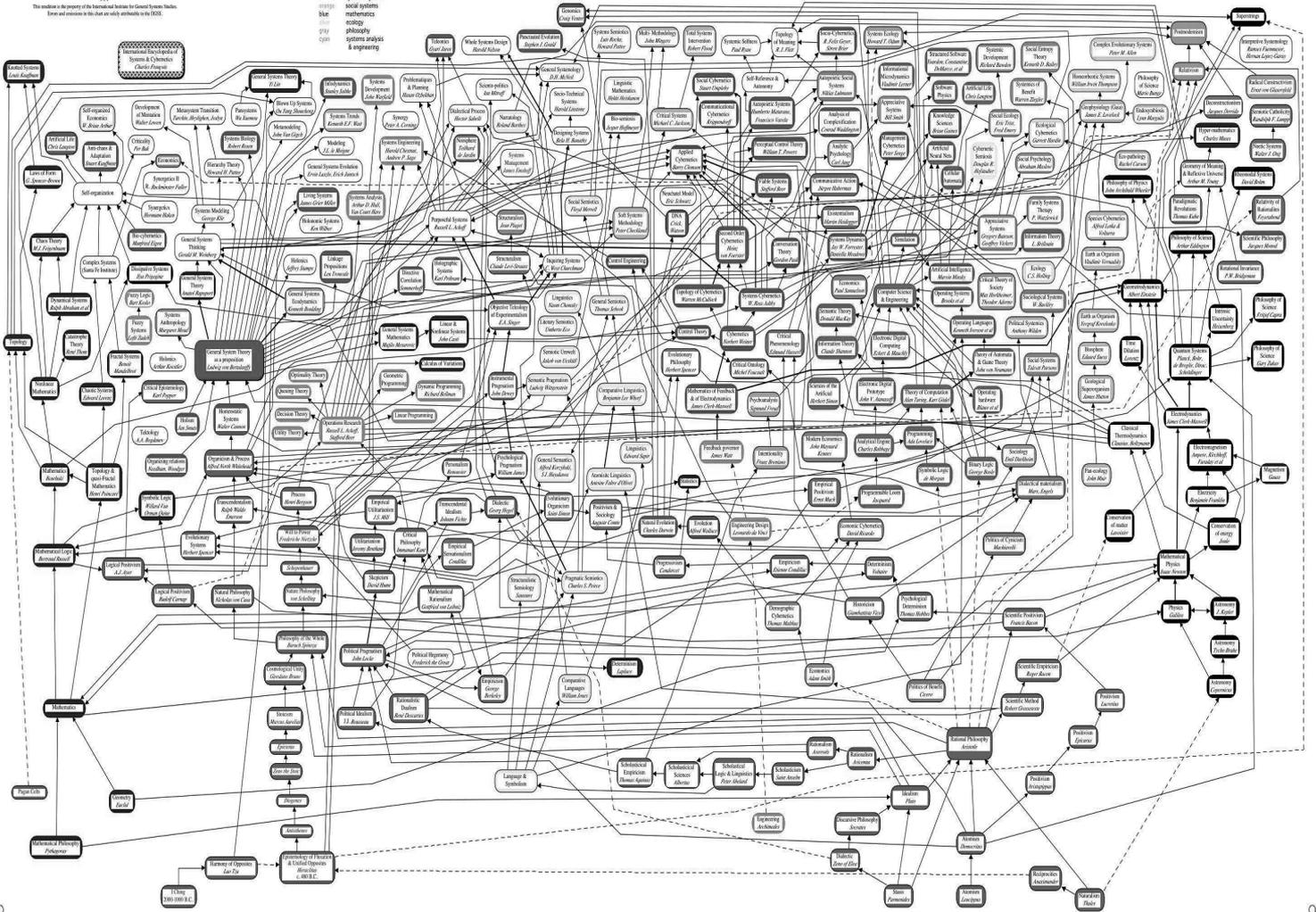
Este nombre proviene de la Teoría General de Sistemas, la Cibernética y las Ciencias de la Complejidad.

ALGUNAS CORRIENTES DEL PENSAMIENTO SISTEMICO

Some Streams of Systemic Thought
(Draft update - November 2009)

Originated in 1996 by Dr. Eric Swanson, Newcastle, Sea Island, Australia
Expanded in 1998, including items from the *Journal of Philosophy* by Will Durant (1933);
Elaborated in 2000 for the International Institute for General Systems Studies.
This evolution is the property of the International Institute for General Systems Studies.
Errors and omissions in this chart are solely attributable to the IIGSS.

KEY:
white: general systems
red: cybernetics
black: physical sciences
orange: computers
green: biology
yellow: systemic systems
blue: social systems
purple: ecology
grey: systems analysis & engineering



LOS SISTEMAS SOCIALES COMO SISTEMAS AUTORREGULADOS O ADAPTATIVOS COMPLEJOS

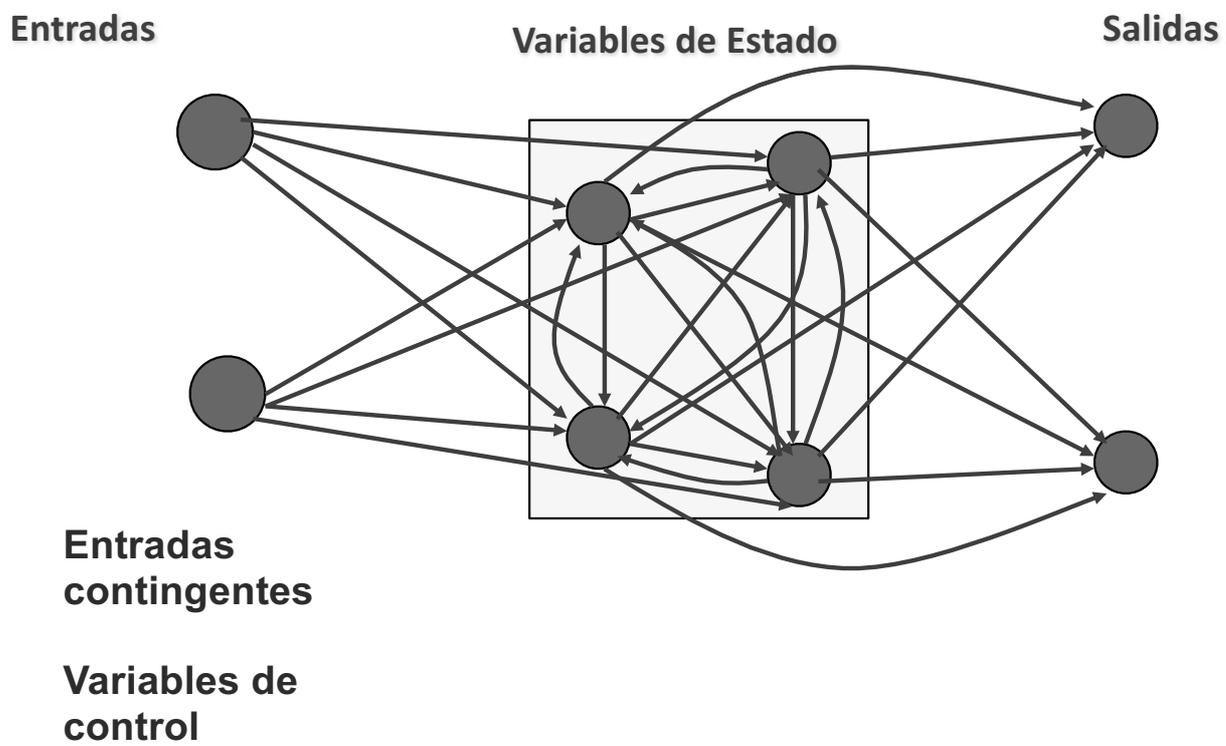
El concepto de Sistemas Adaptativos Complejos fue introducido por Walter Buckley en 1967 (Buckley, W. (1967) *Sociology and Modern Systems Theory*. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, pp 5)

“Nuestra investigación nos conduce a un examen de los principios cibernéticos de control, las retroalimentaciones positivas y negativas, la comunicación y el procesamiento de la información, la búsqueda de metas, la auto-consciencia y la auto-dirección, etc. Además dedicaremos algún espacio a temas metodológicos, en particular a una discusión de lo causal, lo teleológico y lo funcional y a los métodos cibernéticos para enfocar el análisis de los Sistemas Complejos Adaptativos”.

Este concepto fue aplicado a los Sistemas Sociales en 1968 (Buckley, W. “Society as a Complex Adaptive System” in Buckley, W (ed) (1968) *Modern Systems Research for the Behavioral Scientist*. Chicago: Aldine Publishing Co.



- **Sistema Complejo**



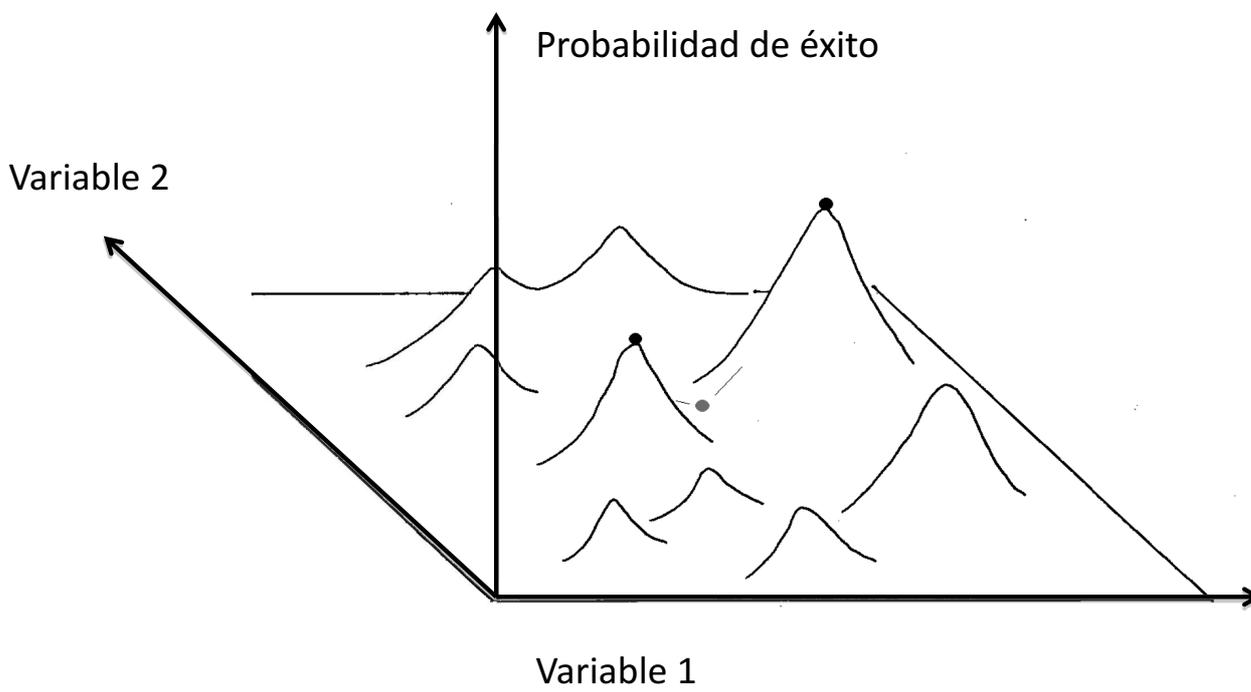
• CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS ADAPTATIVOS COMPLEJOS

- **Los Sistemas Adaptivos Complejos:**
 - **1) Tienen una dinámica interna permanente e interacciones dinámicas con otros sistemas de su entorno.**
 - **2) Para subsistir, los sistemas deben procesar información, tanto la generada internamente, como la proveniente del entorno.**
 - **3) Son autopoieticos: capaces de autoproducirse, y autoorganizarse para integrar el sistema.**
- .

- **APTITUD EN EL ENTORNO O FITNESS**

- **4. La Aptitud en un entorno dado es la probabilidad de éxito de un Sistema Adaptativo Complejo para sobrevivir y cumplir con sus funciones y objetivos en un entorno dado.**
- **La Aptitud depende del estado del sistema y del estado de cada uno de los sistemas del entorno con los que interacciona.**
- **5. Para cada estado del entorno, se puede definir entonces una Aptitud como una función de densidad de probabilidad de éxito, que recibe también el nombre de Paisaje de Aptitud.**

PAISAJE DE APTITUD



- **6) La estabilidad al Borde del Caos no es ni equilibrio ni falta de cambio. La Estabilidad es una deriva hacia el cambio que traiga mayor Aptitud.**
- **Estas transformaciones proveen condiciones para la supervivencia del Sistema Adaptivo Complejo y la conexión con el pasado requerida para el aprendizaje, el análisis y la reproducción.**

- **7) Un Sistema Adaptativo Complejo consta de numerosos componentes diversos y autónomos (llamados agentes) que:**
 - **están interrelacionados,**
 - **son interdependientes,**
 - **unidos a través de numerosas interconexiones,**
 - **pueden aprender de la experiencia y**
 - **se ajustan (no sólo reaccionan) a los cambios en el entorno.**

8) Las interrelaciones a todos los niveles son no lineales y dinámicas porque varían en el tiempo.

9) Las interrelaciones no tienen que ser físicas (intercambio de materia o energía), pueden ser de transferencia de información.

10) Cada agente se mantiene en un entorno que contribuye a crear mediante sus interacciones con otros agentes .

11) Cada Sistema Adaptativo es más que la suma de los agentes que lo constituyen y su comportamiento y propiedades son emergentes y no se pueden predecir a partir de los comportamientos y propiedades de los agentes .

12) Los Sistemas Adaptativos Complejos se caracterizan por un control difuso (distribuido) y no centralizado.

13) Si la red de interacciones es densa, la ruta de un elemento a cualquier otro normalmente puede ser cubierta en unos cuantos pasos (red de mundo pequeño).

14) La complejidad es el resultado de la abundante interacción de elementos simples que sólo responden a la limitada información que se le presenta a cada uno de ellos.

15) Los sistemas complejos adaptativos son normalmente abiertos: interactúan con su entorno. Por ello a menudo es difícil dónde termina un sistema complejo y empieza el entorno. En lugar de ser una característica del sistema mismo, el alcance del sistema normalmente es determinado por el problema y, así, es influido por la posición del observador.

16) Auto-organización y propiedades emergentes. Los agentes de los Sistemas Adaptativos Complejos pueden construir patrones de conexiones y comportamiento en forma auto-organizada, es decir, no impuestos desde fuera del sistema. A medida que esto sucede, emergen nuevas propiedades o atributos.

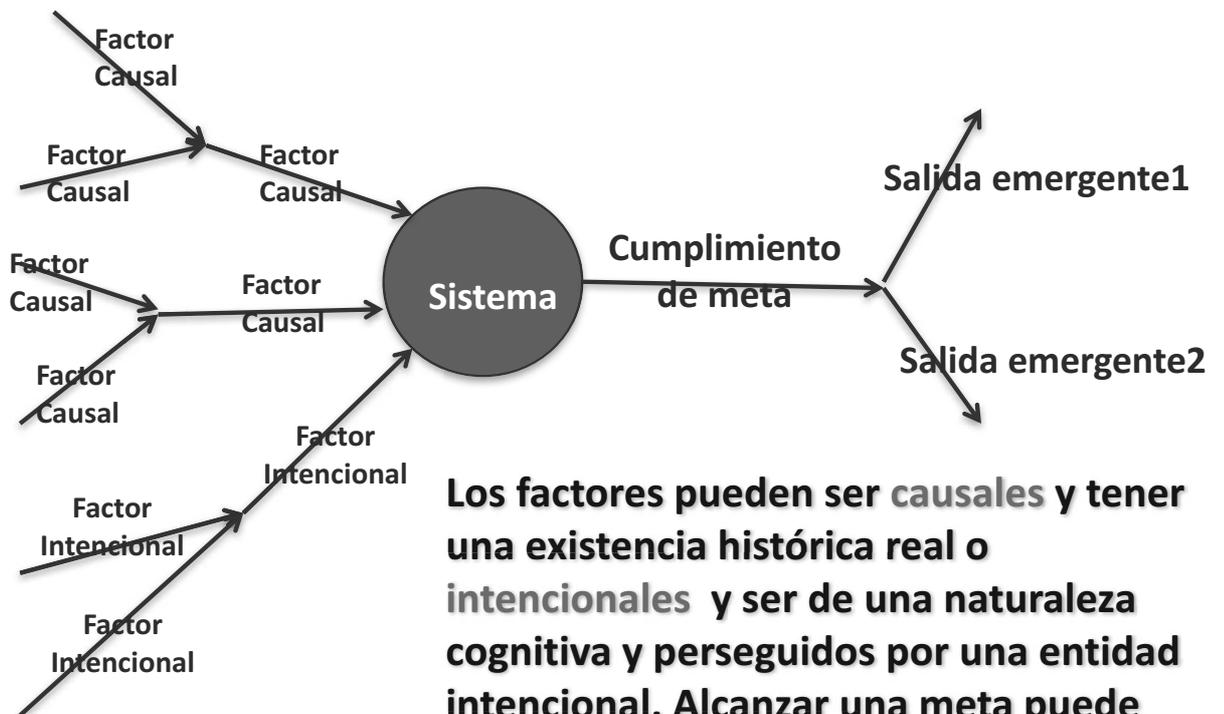
17) Cada elemento en el sistema es ignorante del comportamiento del sistema como un todo, responde sólo a la información que está disponible a él localmente. Si cada elemento “supiera” lo que estuviera sucediendo en el sistema como un todo, la totalidad de la complejidad tendría que estar presente en ese elemento, lo cual es imposible.

18) Los Sistemas Adaptativos Complejos operan lejos del equilibrio, porque hay un flujo constante de energía que viene del exterior y que mantiene la organización del sistema y asegura su sobrevivencia. El equilibrio aquí es sinónimo de muerte.

19) Co-evolución: Todos los Sistemas Adaptativos Complejos existen dentro de su propio entorno. Por lo tanto, al cambiar el entorno necesitan cambiar también para garantizar el mejor ajuste. Esto es, evolucionan. Cuando se ajustan, cambian su entorno, y hacen que otros agentes se tengan que ajustar al nuevo entorno, evolucionando también. Este fenómeno se llama co-evolución.

TEORIA CIBERNETICA DE LOS FACTORES

Los Sistemas Sociales no pueden simplemente ser definidos mediante de relaciones de entrada/salida como sistemas determinísticos, sino de acuerdo con objetivos que tienen los sistemas mismos y sus miembros. El alcanzar el objetivo de un sistema depende de varias pre-condiciones llamadas sus factores.



Los factores pueden ser causales y tener una existencia histórica real o intencionales y ser de una naturaleza cognitiva y perseguidos por una entidad intencional. Alcanzar una meta puede implicar la presencia de salidas emergentes.

CONTINGENCIA

Cuando algunos de los factores se presentan aleatoriamente hay contingencia. Las contingencias puede provenir del interior del sistema o del entorno, es decir, del exterior.

La sustracción del efecto a las contingencias del entorno se logra mediante la homeostasis, que es un mecanismo de retroalimentación que trata de adaptar al sistema a cambios en el entorno externo, a través de cambios en su entorno interno, manteniéndolo en condiciones operativas.

ENTROPIA

Cuando un efecto se produce o se organiza, el efecto tiende a desvanecerse o desorganizarse. Esto significa que tiene un bajo nivel de entropía.

La LEY UNIVERSAL de la entropía creciente, postula que todo sistema en un estado de baja entropía (orden) tiene a pasar a un estado de mayor entropía (desorden), por lo cual el efecto puede dejar de existir.

- **•Los Sistemas Adaptativos Complejos pueden enfrentar la entropía y las contingencias a través de la homeostasis, un mecanismo de retroalimentación que adapta al sistema a las contingencias, cambiando su ambiente interno, y manteniéndolo en forma operativa para alcanzar su objetivo.**

- Los Sistemas Adaptativos Complejos deben evitar la tendencia al aumento de su entropía, es decir, la tendencia a desorganizarse. Esto requiere que el sistema encuentre los recursos necesarios de materia, energía e información (recibiendo entropía negativa) para mantenerse en un estado viable.**

- Por ejemplo, las plantas sintetizan materia nueva orgánica a partir de la energía solar y los animales necesitan alimentarse directa o indirectamente de vegetales para restituir su materia orgánica degradada.**

MECANISMOS CIBERNETICOS DE ADAPTACION

Para evitar que un efecto deseable para él desaparezca, el Sistema Adaptativo Complejo puede proveerse de mecanismos cibernéticos de adaptación que tienen por objeto neutralizar la contingencia y el crecimiento de la entropía.

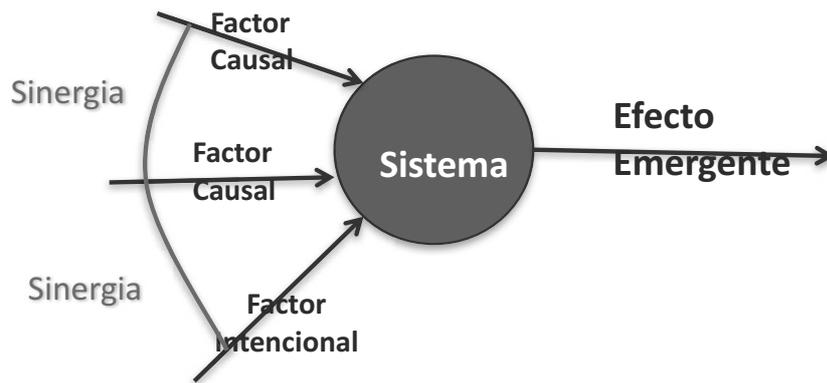
Hay tres clases de mecanismos cibernéticos de adaptación:

1.sinergia, que se da acoplando dos o más factores hasta lograr la emergencia del efecto deseado.

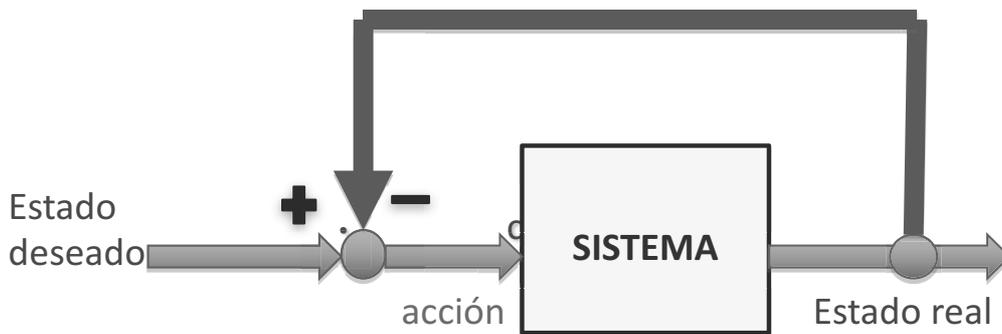
2.retroalimentación (feedback)

3.pre-alimentación (feed forward)

SINERGIA ENTRE FACTORES CAUSALES E INTENCIONALES

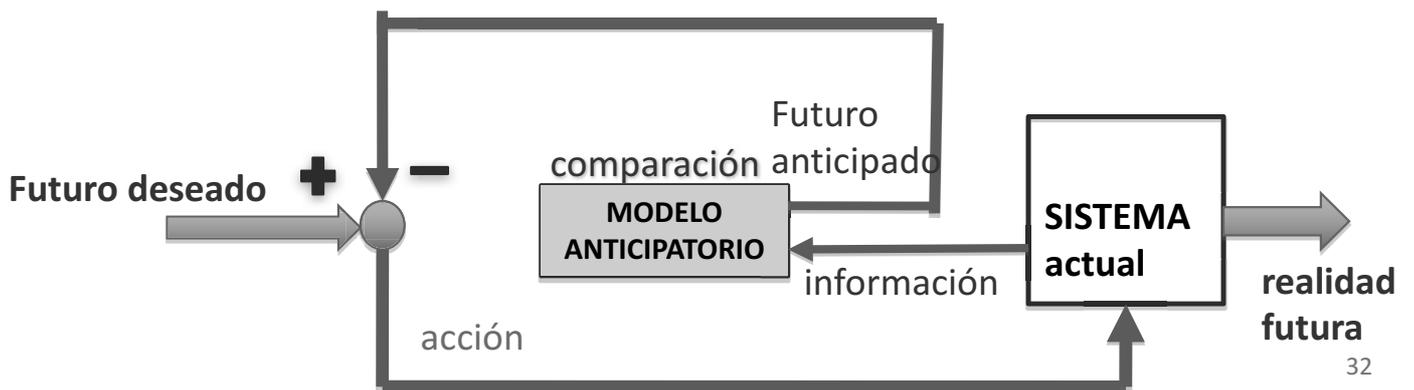


- **RETROALIMENTACIÓN (feedback)**
- **Hay dos tipos de retroalimentación: la negativa y la positiva.-**



- **PREALIMENTACIÓN (Feedforward)**

- **Hay dos tipos de prealimentación: la negativa y la positiva.-**
-

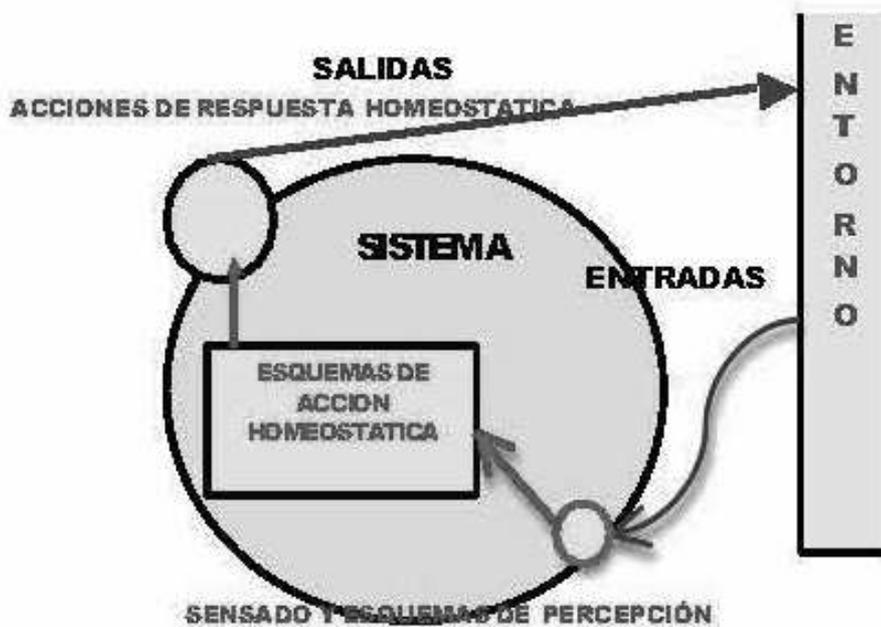


➤ **SUSTRACCION A LA CONTINGENCIA. LA ADAPTACION POR HOMEOSTASIS.**

- **La sustracción del efecto a las contingencias del entorno se logra mediante la adaptación por homeostasis, que es un mecanismo de retroalimentación que adapta al organismo a las variaciones del medio exterior, manteniéndolo en condiciones operativas.**

Para transformar un sistema social en un Sistema Social Adaptativo Complejo, deben desarrollarse los sistemas funcionales necesarios para la percepción del entorno, el diseño de las respuestas homeostáticas y la implementación de las mismas.

HOMEOSTASIS EN UN SISTEMA ADAPTATIVO COMPLEJO



- **Un sistema cognitivo es un Sistema Adaptativo Complejo que tiene la capacidad para detectar y analizar las señales que le llegan del entorno para extraer información sobre el mismo, *formándose imágenes del mundo y de sí mismo.***
- **Con base en estas imágenes, mediante *esquemas de acción homeostática*, determina lo que debe hacer para cumplir con sus fines, frente a la situación propia y del medio ambiente que ha detectado.**

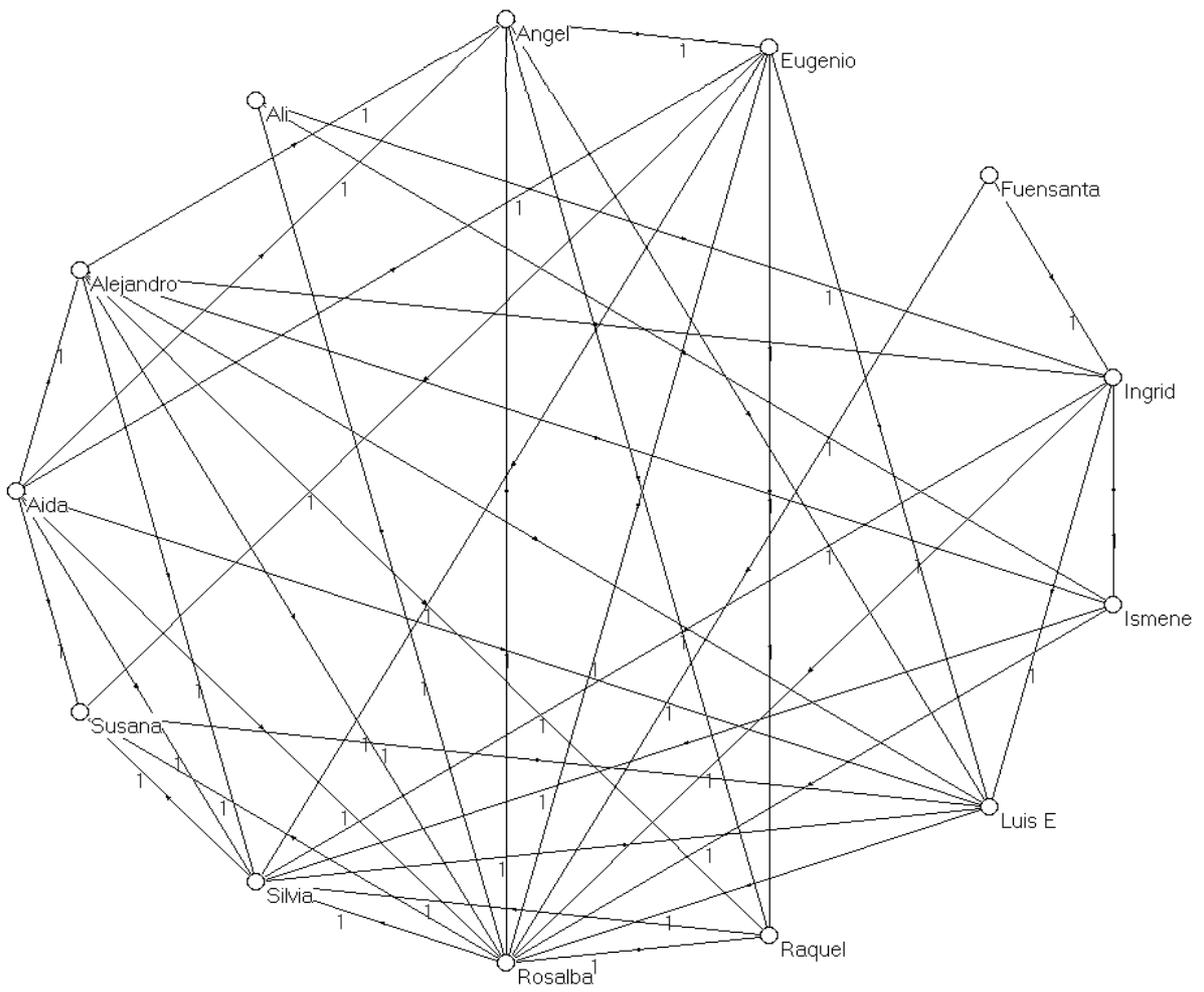
LOS SISTEMAS SOCIALES COMO REDES ADAPTATIVAS COMPLEJAS DE AGENTES INTERACTIVOS



- La estructura de un sistema social puede resumirse de la manera siguiente:
- El sistema comprende gran número de agentes individuales.
- Estos agentes interactúan entre sí según reglas que organizan la interacción entre ellos a un nivel local.
- En otros términos, un agente contiene un conjunto de reglas que determinan cómo ese agente interactuará con varios otros y esta interacción es "local" en el sentido que no hay ningún conjunto centralizado de reglas que determinan la interacción. Las únicas reglas son las reglas localizadas al nivel del propio agente.



Ej. La red de estudiantes del Seminario es:



- **Los agentes repiten su interacción refiriéndose a sus reglas locales, es decir, la interacción es reiterativa, recursiva y auto-referencial.**



- **Las reglas de interacción de agentes son tales que los agentes se adaptan unos a otros. La interacción es no lineal y esta no linealidad se expresa en la variedad de reglas a través del gran número de agentes.**

- **Una variedad continua en las reglas se genera por mutación aleatoria y replica cruzada.**

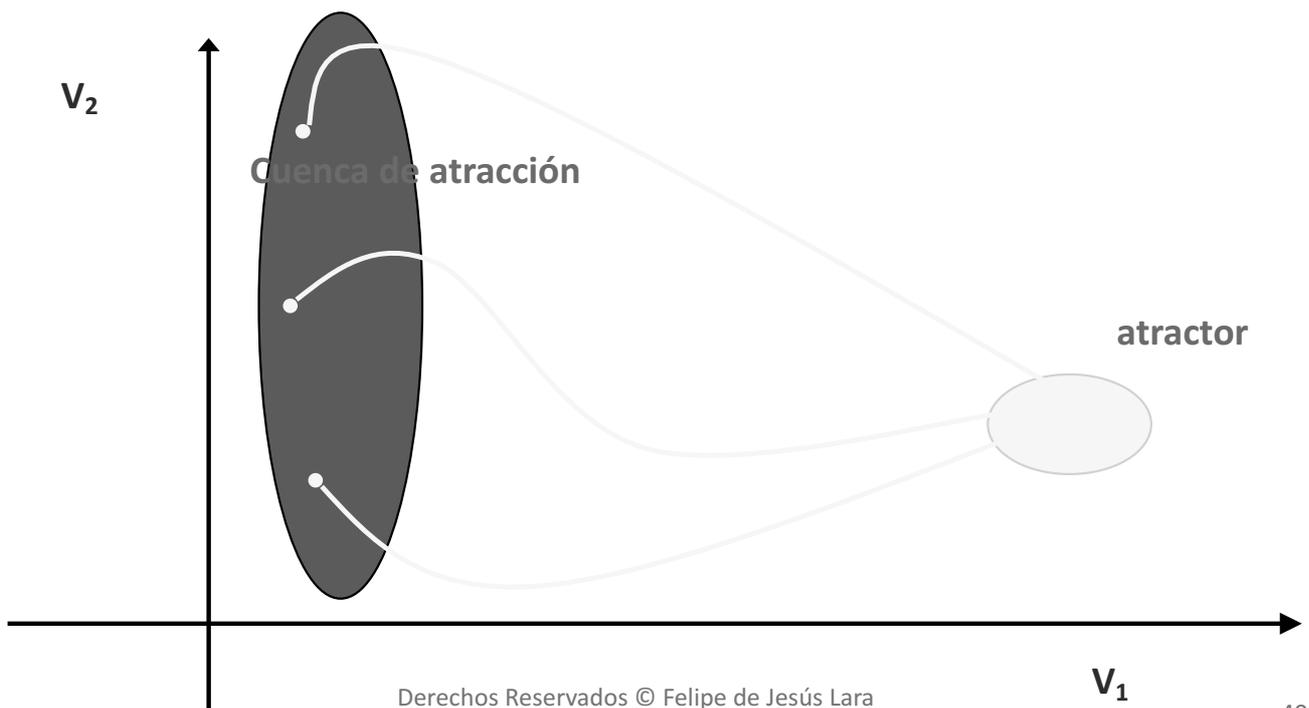
- **Se enuncian varias hipótesis sobre las propiedades de los sistemas sociales con este tipo de estructura:**



- Modelos globales coherentes de orden emergerán de la auto-organización espontánea de los agentes cuando ellos interactúan según sus reglas locales, en ausencia de cualquier patrón global. En otros términos, las interacciones son reiterativas, recursivas, no lineales y construyen un atractor, es decir, un patrón de interacción.
-
- Esos atractores pueden tomar varias formas dinámicas diferentes que dependen del estado de parámetros importantes, particularmente, el número y fuerza de las conexiones entre agentes y el grado de diversidad de los agentes. Puede haber un punto de equilibrio estable o atractores cíclicos por ejemplo, o patrones aleatorios inestables.
- En ciertos rangos críticos de los parámetros, surge una dinámica que oscila entre estabilidad y aleatoriedad. Esta es la dinámica al borde del caos, que tiene atractores caóticos como los atractores extraños de la teoría del caos.
-

➤ ATRACTORES

En el estudio de la dinámica de un sistema si las trayectorias del sistema que provienen de diferentes estados iniciales convergen con el tiempo a una región específica y reducida del espacio de estados, ésta se llama un atractor y los estados iniciales de las trayectorias convergentes forman la cuenca de atracción.



• EJEMPLO.

- Analicemos y modelemos las **interacciones entre variables económicas y sociales** en un país ficticio.
- Definamos **cuatro variables de estado** representadas por neuronas ocultas: **nivel de desempleo, escasez de capitales, nivel de precios y nivel de tensión social**; **dos neuronas de entrada**: **gasto publico e inversión extranjera** y **dos neuronas de salida**: **estabilidad política y bienestar de la población**.
- Las neuronas están interrelacionadas a través de enlaces dirigidos ponderados, dados por una matriz de impactos causales **A**. La matriz se representa en la Figura 1.

	desempleo	Escasez de cap	Nivel de precios	Tensión social	Estab. política	bienestar
desempleo	nulo	nulo	nulo	Muy fuerte positivo	Apreciable negativo	Máximo negativo
Escasez de cap	Fuerte positivo	Apreciable positivo	Pequeño positivo	No tan pequeño positivo	Regular negativo	Regular negativo
Nivel de precios	nulo	No tan pequeño positivo	No tan pequeño positivo	Fuerte positivo	Pequeño negativo	Fuerte negativo
Tensión social	nulo	Muy fuerte positivo	Pequeño positivo	No tan pequeño positivo	Regular negativo	Fuerte negativo
Gasto público	Fuerte negativo	Regular negativo	Muy fuerte positivo	Apreciable negativo		
Inversión extranjera	Muy fuerte negativo	Muy fuerte negativo	Apreciable positivo	Fuerte negativo		

• **Figura 1. Matriz Lingüística de Impacto Causal**

- Esta matriz lingüística se desfuzifica y convierte en matriz numérica:

	desempleo	Escasez de cap	Nivel de precios	Tensión social	Estab. política	bienestar
desempleo	0.0	0.0	0.0	0.9	-0.6	-1.0
Escasez de cap	0.8	0.6	0.3	0.5	0.0	-0.7
Nivel de precios	0.0	0.5	0.5	0.8	-0.3	-0.8
Tensión social	0.0	0.9	0.3	0.5	-0.7	-0.8
Gasto público	-0.8	-0.7	0.9	-0.6		
Inversión extranjera	-0.9	-0.9	0.6	-0.8		

- **Figura 2. Matriz Numérica de Impacto Causal**

• En la presencia de mutación aleatoria y/o réplica cruzada, los “agentes” con sus conjuntos diversos de reglas de interacción locales, evolucionarán de una manera adaptiva. En otros términos, en la presencia de diversidad, surgirán nuevos atractores. Esta evolución es sumamente imprevisible.

• Una razón para la estabilidad de los atractores al borde del caos son las interacciones redundantes, mientras una razón para su inestabilidad es la amplificación de pequeñas diferencias.

• La dinámica al borde del caos se caracteriza por una ley de potencias, lo que significa que hay un pequeño número de grandes cambios y gran número de pequeños cambios.

- Esta ley de potencias proporciona otra fuente tanto de estabilidad, en que los grandes cambios son raros, e inestabilidad, en que ciertamente hay cambios. Una razón adicional para la estabilidad radica en la rigidez que los agentes ponen con sus reglas en la interacción. Por otro lado, estas restricciones chocan entre sí generando inestabilidad.

¿COMO PODEMOS ANALIZAR Y RESOLVER UN PROBLEMA SOCIAL CON TODA ESTA COMPLEJIDAD?

Primer principio: Interacción diversificada auto-organizante. En la solución deben participar los diversos involucrados (stakeholders) en el problema, aportando sus propios puntos de vista en una rica interconexión, para tener la capacidad inherente de producir patrones coherentes espontáneos auto-organizados, sin ningún plan o programa centralizado

Segundo principio: Diagnóstico participativo de la realidad. Para definir el problema debe conocerse la situación actual, haciendo interactiva y participativamente un diagnóstico de la misma.

Tercer principio: Definición participativa de lo deseable. Para completar la definición del problema debe definirse interactivamente una situación deseable a la que se quiere llegar.

Cuarto principio: Planeación auto-organizada de acciones. Los involucrados deben proponer interactivamente en forma guiada medios y acciones para cambiar lo real, acercándolo a lo deseado, definiendo los recursos necesarios, las estrategias de cambio, los responsables y los tiempos.

Quinto principio: Implantación de acciones y seguimiento auto-organizado.

SOLUCION DE PROBLEMAS ESTRUCTURALES

Los problemas estructurales se caracterizan por una discrepancia entre lo deseado por un grupo social y una realidad compleja que tiene un trasfondo histórico y un contexto donde participan como involucrados (stakeholders) otros grupos sociales y organizaciones con intereses y objetivos divergentes y en conflicto.

El efecto de esta discrepancia generalmente refleja la existencia de uno o varios Sistemas Adaptativos Complejos que, a lo largo del tiempo, han tenido la aptitud para sobrevivir tanto a la degradación entrópica como a las diversas contingencias del entorno, a pesar de perseguir fines antisociales o que benefician a una élite en contra de las mayorías. Ejemplos sobran en la historia tales como el modo de producción esclavista, el modo de producción feudal, el capitalismo neoliberal, los regímenes monárquicos y dictatoriales, la globalización, los regímenes teocráticos, el colonialismo, la delincuencia organizada, etc.

La única manera intencional de desintegrar a uno de estos sistemas adaptativos complejos es provocando la falla de sus mecanismos cibernéticos homeostáticos para que pierdan la aptitud de autorregularse para enfrentar contingencias del entorno o la natural degradación entrópica, mediante la construcción de un nuevo sistema adaptativo complejo con ese propósito, manipulando adecuadamente los recursos ideológicos, de comunicación, políticos y de participación social.

SOLUCION DE PROBLEMAS ESTRUCTURALES

Otra manera de que uno de estos sistemas adaptativos complejos se desintegre es por efecto de su propia dinámica interna, por la falla de sus mecanismos cibernéticos homeostáticos para que pierdan la aptitud de autorregularse por el efecto de sus conrradicciones internas, de acurdo con las leyes de la dialéctica.

La construcción de un sistema adaptativo complejo, como solución a un problema social, requiere tres fases:

- 1. Conocimiento previo: Metodología sistémica y paradigmas teóricos. Análisis de la Complejidad. Analizar y evaluar los enfoques teóricos disciplinarios disponibles. Marco teórico y construcción del objeto de estudio. Construir modelos sistémicos conceptuales.**
- 2. Fase de planeación: Interacción guiada diversificada auto-organizante. Diagnóstico participativo de la realidad. Definición participativa de lo deseable. Definir las acciones de cambio deseables y factibles para resolver el problema. Planeación auto-organizada de acciones.**
- 3. Fase de implantación y seguimiento. Evaluación y adecuación de la aptitud ante la complejidad. Capacidad de enfrentar el contexto complejo de forma apropiada y dinámica. Definición del proyecto de implantación. Planeación del seguimiento auto-organizado.**
- 4. Planeación normativa de las funciones y estructura del nuevo sistema adaptativo complejo, así como sus subsistemas de gestión y operación. Planeación estratégica para transformar la realidad, acercándola a lo deseado. Planeación de los mecanismos cibernéticos del sistema para enfrentar las contingencias y la degradación entrópica.**

CONCLUSIONES

- **En este trabajo se han presentado los fundamentos de las Ciencias de la Complejidad, las características de los sistemas adaptativos complejos, así como algunos conceptos básicos, que constituyen una base teórica fundamental para mejorar los procesos sociales.**
-
- **Sobre esta base se ha construido una disciplina muy rica, las Ciencias de la Complejidad, que ofrece soluciones novedosas a los problemas basadas en el análisis de los procesos complejos de transmisión, recepción y procesamiento de información para la transformación de seres humanos en sistemas complejos adaptativos con sentido social.**



• ¡¡Muchas Gracias !!

