



# Qüid

PUBLICACIÓN PERIÓDICA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA UASLP (FC-UASLP)

LA NATURALEZA SE AUTOORGANIZA

## Sistemas complejos emergentes

El crecimiento de ciudades, la red mundial www, el plegamiento de proteínas, la organización celular, el movimiento de un músculo, la evolución del cerebro humano en cientos de miles de generaciones, son parte de lo que suele llamarse sistemas complejos emergentes.

**MILDRED QUINTANA RUIZ**  
Instituto de Física-UASLP

Como organismos inteligentes, es natural para nosotros tratar de explicar el mundo que nos rodea.

Todos nos hemos preguntado alguna vez la causa de algún fenómeno relacionado con la luz, la electricidad, el magnetismo, la estructura atómica, el ensamblaje de proteínas, el funcionamiento del cerebro humano o el origen de la vida.

Para explicar estos sucesos los científicos han dedicado gran parte de su tiempo a "partir el todo en las partes" tratando de describir fenómenos macroscópicos desde sus primeros principios.

Sin embargo, también han existido investigadores para los cuales la última meta es acoplar todas estas teorías y entender de forma unificada la gran variedad de eventos que existen en la naturaleza.

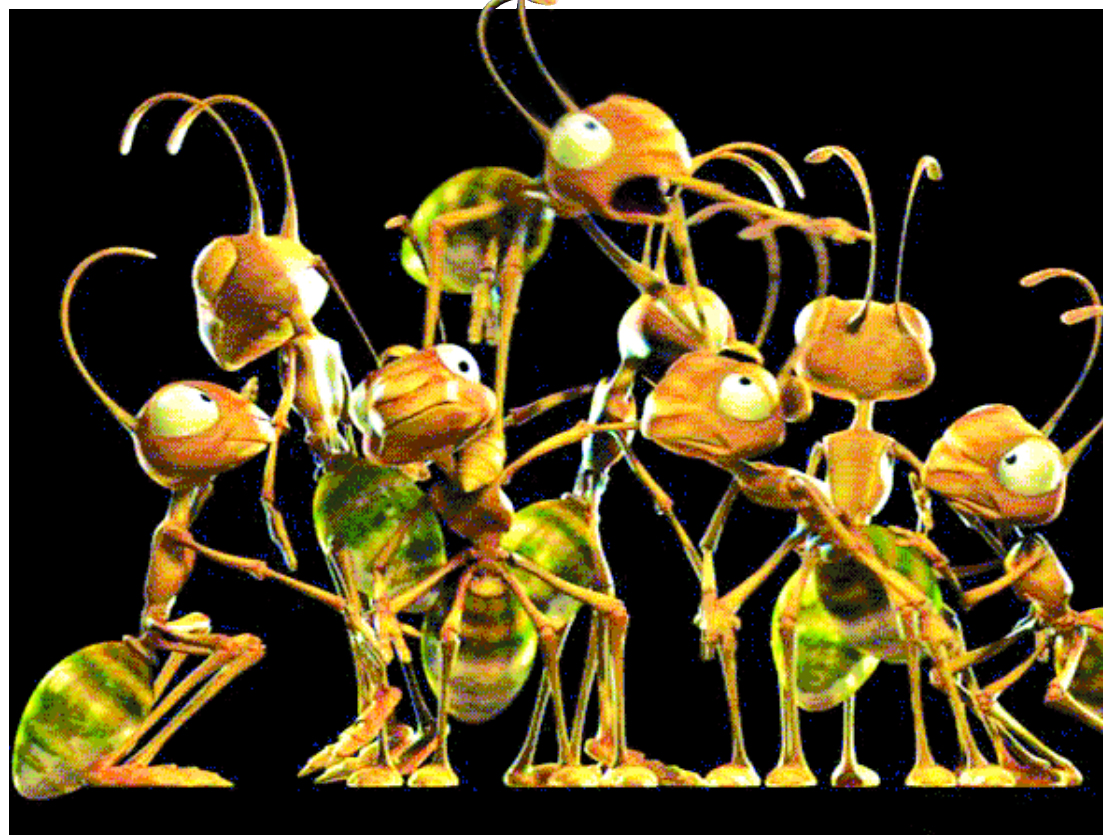
### UNIFICANDO TEORÍAS

Una gran diversidad de avances del pasado fueron dirigidos por el mismo objetivo: en el siglo XVII, Isaac Newton unificó la mecánica celeste con la terrestre, James C. Maxwell en el siglo XIX, unificó la electricidad con el magnetismo y Albert Einstein dedicó, sin mucho éxito, los últimos años de su vida a buscar la Teoría Unificada de Campos, la cual uniría las teorías de la Relatividad General, la Geometría del Espacio Tiempo, la Gravitación y el Electromagnetismo de Maxwell.

En esta dirección, se ha tratado de dar un enfoque distinto a la investigación científica. Durante las últimas décadas se ha prestado especial atención al término "emergente", el cual describe el surgimiento de un sistema complejo a partir de algunas reglas sencillas. Una de las premisas importantes en los procesos emergentes, como se explicará a continuación, es que la naturaleza no está regulada sólo por reglas microscópicas, sino también por poderosos principios de organización que dependen de los individuos y del medio ambiente que los rodea.

### SISTEMAS COMPLEJOS

Un gran número de sistemas adquieren complejidad de forma espontánea al crecer en número o en interconexiones, la complejidad "emerge" en cuanto se alcanza una cantidad crítica, algunos ejemplos son: el crecimiento de ciudades, las migraciones de algunas especies animales, la organización de colonias de insectos, la Red Mundial www, por sus siglas en inglés (World Wide Web), los buscadores como Yahoo, AltaVista y Google, fenómenos de superficie como la percolación y la adsorción; fenómenos físicos como la magnetización y la superfluidez; fenómenos químicos, como: el crecimiento de cristales, la naturaleza del enlace químico y la química supramolecular; procesos biológicos, como son el plegamiento de proteínas, la organización celular, las interacciones necesarias entre las neuronas del cerebro capaces de realizar una acción, como el movimiento de un músculo o la resolución de un problema, y sistemas dinámicos como la evolución del cerebro humano en cientos de miles de generaciones.



### Migraciones de peces



¿De qué depende el movimiento de cardúmenes?  
Cada unidad reacciona dependiendo únicamente de

su medio ambiente y de reglas genéticas específicas para su especie

Los sistemas complejos emergentes son patrones que se forman a partir de varios eventos o reglas. En estos sistemas aparentemente no hay nada que los dirija a formar un patrón determinado, pero las interacciones de cada individuo con su alrededor inmediato provocan un proceso complejo que lo lleva hacia el orden.

Las estructuras que resultan de estas interacciones son mucho más que la suma de sus partes, ya que el orden no surge si varios individuos simplemente coexisten, la interacción entre estas partes es de gran importancia.

La organización adquiere significado y vida por sí sola y comienza a trascender las partes de las que se encuentra formada. Por lo que, los sistemas emergentes funcionan de abajo hacia arriba, ganando capacidad de adaptación y orden.

### ORGANISMOS PRIMITIVOS

Un ejemplo muy interesante, es el "adiestramiento" de una amiba el *Dictyostelium discoideum*, conocido comúnmente como moho del cieno.

Este proceso consiste en que el organismo aprenda a optimizar la obtención de recursos localizando la ruta más corta dentro de un laberinto.

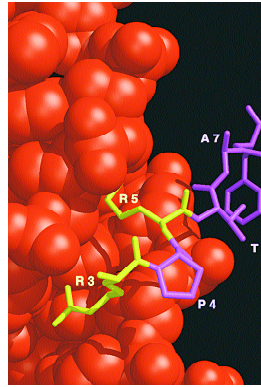
Estos pequeños organismos tienen la capacidad de permanecer gran parte de su vida como miles de células aisladas moviéndose en forma independiente una de otra, sin embargo bajo ciertas condiciones, como la falta de alimento, estas células se aglomeran en un gran organismo, el cual aparentemente sin ningún recurso cognitivo o inteligencia central y directriz, puede resolver problemas.

Se colocan los organismos unicelulares, los cuales formarán después una colonia, dentro de un pequeño laberinto con cuatro posibles rutas y con comida en dos de las cuatro salidas. A pesar de ser un organismo tan primitivo, carente de inteligencia central, el moho del cieno se organiza de tal forma que encuentra la ruta más eficiente para obtener alimento.

### COLONIAS DE HORMIGAS

En las colonias de hormigas la reina no da instrucciones directas, ni les dice a las demás hormigas que hacer.

### Nanotecnología



Más allá de la química molecular.  
Estudia sistemas formados por más de una molécula y trata de entender las estructuras emergentes así como su función y su ensamblaje.

Cada individuo reacciona a estímulos químicos enviados por otras hormigas, insectos, comida, desperdicios y a su vez deja una señal química que sirve de guía a las demás. Cada unidad reacciona dependiendo únicamente de su medio ambiente y de reglas genéticas específicas para su especie.

Las hormigas han demostrado ser buenos símbolos de seres humanos y son utilizadas para estudiar situaciones de pánico como las que se viven en casos de incendios, temblores o accidentes aéreos.

Se ha descubierto que existen semejanzas entre algunos comportamientos, como el pánico generalizado, en donde, aunque los individuos, en este caso humanos, conozcan las instrucciones que pueden salvar sus vidas, no son capaces de ponerlas en práctica y tan sólo siguen el comportamiento generalizado del grupo.

### QUÍMICA SUPRAMOLECULAR

Un ensamble supramolecular es un sistema de múltiples componentes: átomos, iones y moléculas que se mantienen unidos por enlaces no covalentes, como pueden ser puentes de hidrógeno, fuerzas de van der Waals, interacciones tipo pi-pi, etc., lo que les confiere propiedades interesantes.

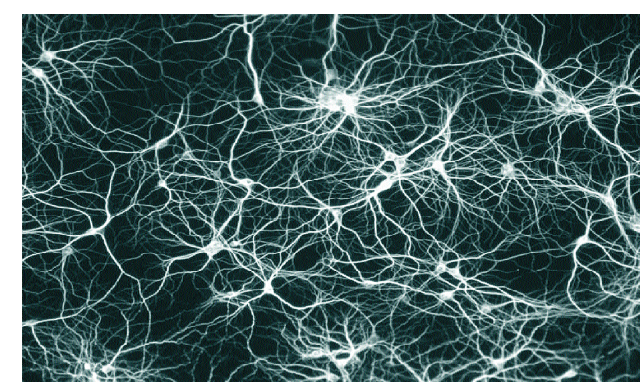
Estos compuestos pre-

### Grandes ciudades



La mezcla de orden y desorden es lo que produce el proceso emergente.  
Las grandes ciudades tienen vida propia, con una personalidad coherente que organiza y refleja las decisiones de millones de individuos.  
Lo que crea una organización global construida de un gran número de interacciones.

### Inteligencia



Las interacciones necesarias entre las neuronas del cerebro capaces de realizar una acción, como el movimiento de un músculo o la resolución de un problema.  
¿Cuántas conexiones entre neuronas son necesarias para pensar?

El número de interacciones entre los componentes de un sistema se incrementa combinatoriamente con el número de elementos de los que está constituido.

sentan propiedades magnéticas, luminiscentes, fluorescentes, actividad catalítica y propiedades de óxido reducción, propiedades que los hacen de gran utilidad para el desarrollo de nuevas tecnologías como puede ser para el diseño de sensores de alta resolución o dispositivos de almacenamiento de información para computadoras de la nueva generación.

### SISTEMAS EMERGENTES EN FÍSICA

Para Robert B. Laughlin, premio Nobel en física (1998): "Todas las leyes físicas que conocemos tienen orígenes colectivos", donde el todo no sólo se convierte en algo más sino también en algo muy diferente que la suma de sus partes.

Algunos ejemplos de fenómenos emergentes en física son eventos tan comunes como el color y la fricción, las partículas elementales, por ejemplo protones o electrones, no presentan estas propiedades ya que las fuerzas entre estas partículas son conservativas, entonces es necesario que estas partículas interactúen con más de ellas para que estas propiedades emerjan.

La fricción y el color emergen cuando estudiamos estructuras más complejas cuyas superficies pueden adsorber o liberar energía.

Otros ejemplos simila-

res son la viscosidad, la elasticidad, la magnetización y la superfluidez.

### FIN DEL REDUCCIONISMO

En todas las disciplinas podemos encontrar sistemas complejos, los anteriores son solo algunos ejemplos de cómo la naturaleza se autoorganiza para mostrar comportamientos complejos a partir de algunas reglas sencillas.

Para R. B. Laughlin, premio Nobel de física en 1998, vivimos una época en la que la tendencia "reduccionista" ha terminado. Un tiempo donde, el explicar la naturaleza desde sus principios microscópicos ha sido cambiado por tratar de razonar eventos macroscópicos a partir de todas sus causas y con todas sus consecuencias.

Lo que no significa que las leyes microscópicas estén mal o no tengan razón de ser, sólo que son irrelevantes en muchas circunstancias, como lo son para las leyes organizacionales de niveles superiores en el universo, es decir el mundo macroscópico. Nos encontramos tan sólo al principio en la profundización de nuestros conocimientos sobre la naturaleza.

Comentarios:  
flash@fciencias.uaslp.mx  
uragani@galia.fc.uaslp.mx