

SISTEMAS BIOLÓGICOS Y COMPLEJIDAD

Posted on 12 mayo, 2015 by Leonardo Dagdug



Cuando las luciérnagas emiten luz por periodos de tiempo largos, se puede observar un impresionante evento de sincronización, en el que los destellos se efectúan con una frecuencia bien definida...

Category: [Ciencia](#)

Tags: [Biofísicoquímica](#), [Ciencias Exactas](#)



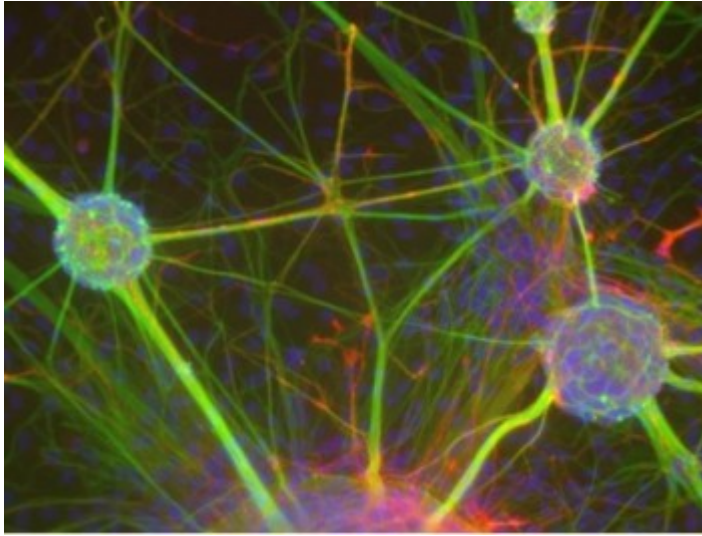


Luciérnagas, Santuario de Nanacamilpa, Tlaxcala.

En las noches de junio y julio en Nanacamilpa de Mariano Arista, Tlaxcala, se puede observar un impresionante espectáculo producido por miles de luciérnagas hembras. El lugar es uno de los dos santuarios de luciérnagas que existen en el mundo y se extiende aproximadamente en un área de 200 hectáreas. Las hembras emiten luz por espacios de media hora para atraer a los machos. Tienen un órgano en la parte inferior de su abdomen, en el cual el hidrógeno y el carbono se oxidan, generando así la luminiscencia. Si la hembra no tiene éxito en el cortejo, lo seguirá intentando por al menos una semana. Cuando se aparea, deposita sus huevecillos en la corteza de los árboles, acto precedido por su muerte.

Cuando las luciérnagas emiten luz por periodos de tiempo largos, se puede observar un impresionante evento de sincronización, en el que los destellos se efectúan con una frecuencia bien definida. Lo que es realmente asombroso, es que cada luciérnaga sólo tiene conocimiento de la actividad de sus vecinos más cercanos. Y esta información es suficiente para que se tengan

sincronizaciones globales con diferentes características. Por ejemplo, tener una fase de sincronización perfecta globalmente, o desfasadas espacial y temporalmente. Es fundamental hacer notar que no existe un director, un líder; el evento emerge de la interacción de los miembros del sistema.



Neuronas generando el elaborado sistema de señalización

En los últimos años, un campo fértil de estudio es entender cómo las comunidades de organismos sociales se unen colectivamente para formar estructuras que incrementan la probabilidad de sobrevivencia como un todo. Por ejemplo, sigue siendo un misterio comprender cómo la intrincada maquinaria del sistema inmune en los organismos es capaz de luchar en contra de las enfermedades; cómo un grupo de neuronas genera tan elaborado sistema de señalización apto para llevar a cabo las más sorprendentes tareas; cómo miembros independientes de una economía producen un complejo y estructurado mercado global, o cómo la inteligencia y la conciencia emergen de materia no inteligente y sin conciencia. Estas son el tipo de preguntas que se desean contestar en el estudio de los *sistemas complejos*, a la vez que se busca explicar cómo una gran cantidad de constituyentes simples se organizan por sí mismos, sin el control de un sistema central, creando patrones y en ocasiones, incluso, evolución, aprendizaje y conocimiento.

Aunque no se tiene una definición precisa y universalmente aceptada de qué son los sistemas complejos, éstos se pueden caracterizar en términos de sus propiedades. Entre sus aspectos más importantes encontramos que son sistemas formados por un conjunto grande de componentes individuales que interactúan fuertemente entre sí y presentan una jerarquía de escalas de descripción frecuentemente asociados a procesos de auto organización. Diversas propiedades espacio temporales de estos sistemas surgen de forma espontánea en escalas de tiempo considerablemente mayores que en las que ocurren las interacciones entre sus constituyentes. Las interacciones entre sus componentes son no lineales (los efectos no son proporcionales a las

causas), y pequeñas modificaciones al sistema conducen a cambios significativos en su comportamiento. Las propiedades emergentes no tienen sentido cuando solamente se quieren atribuir a los componentes del sistema en estudio. Un ejemplo interesante de cómo los físicos han utilizado el concepto de propiedades emergentes en los últimos años lo encontramos en los trabajos de Lee Smolin. Él afirma que todas las propiedades físicas de las partículas son emergentes, ya que sólo pueden concebirse a partir de interacciones según el *modelo estándar*. Por ejemplo, la masa se determina a partir de la interacción de cualquier partícula con los bosones de *Higgs*, y de esta interacción aparece esta propiedad como emergente, la cual carece de sentido si se habla de la partícula *per se*.

La naturaleza también tiene mecanismos sofisticados para la organización de células. Uno de los tres aspectos fundamentales del desarrollo biológico junto con el control del crecimiento y la diferenciación celular, es la *morfogénesis*, proceso por el cual un organismo desarrolla su forma. Este proceso controla la distribución espacial organizada de las células durante el desarrollo embrionario de un organismo, y también puede tener lugar en un organismo maduro o en un cultivo de células. Las respuestas morfogenéticas pueden ser inducidas en los organismos por las hormonas endógenas, por químicos en el ambiente que van desde sustancias producidas por otros organismos hasta químicos tóxicos y radioisótopos liberados como contaminantes, o por el estrés mecánico inducido por un patrón espacial de células. A partir de una sola célula inicial que experimenta divisiones consecutivas, las nuevas células se organizan en el espacio y en el tiempo, mostrando propiedades de organización a grandes escalas. Uno de los casos más espectaculares y estudiados de patrones ordenados que emergen a lo largo de la morfogénesis, es el de la bacteria *Bacillus subtilis*, cuyas colonias, según las condiciones ambientales en las que crecen, son capaces de modificar su distribución espacial y exhibir diversas geometrías emergentes que incluyen algunas ramificaciones con aspecto fractal. Alan Turing desarrolló, por



Cabeza de hormiga. Imagen cortesía del Dr. Jan Michels, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.

primera vez, una teoría capaz de explicar cómo tiene lugar la aparición de las estructuras en la morfogénesis; su artículo es uno de los clásicos de la literatura científica del siglo XX. Para quien recientemente asistió a una sala cinematográfica para ver la película "El código enigma", nominada al Oscar por mejor película, el nombre Alan Turing no le será desconocido. La teoría de Turing se puede explicar en forma simple de la siguiente manera: supongamos que tenemos un sistema formado por células, las cuales tienen interacción con sus vecinas cercanas; ahora, supongamos que dentro de cada célula se sintetizan dos tipos de moléculas, o *morfógenos*, si en el modelo se les permite difundir a los morfógenos junto con una interacción no lineal entre ellos, lo que se observará es que se pueden generar de forma espontánea estructuras espaciales. El estudio de la morfogénesis con estas ideas puede producir resultados asombrosos; por ejemplo, predice que en los mamíferos pequeños es poco probable encontrar dibujos en su piel, como de hecho ocurre.

Las neuronas se especializan en la recepción de estímulos y conducción del impulso nervioso

Otros sistemas, de los más estudiados en la actualidad, que presentan un gran número de retos y son un campo fértil para la interdisciplina y el estudio de sistemas complejos, son las redes neuronales. Las neuronas se especializan en la recepción de estímulos y conducción del impulso nervioso en forma de potenciales de acción (una onda de descarga eléctrica que viaja a lo largo de la membrana celular, modificando la distribución de carga eléctrica entre ambos lados de la membrana), éstos ocurren entre ellas o con otros tipos de células como por ejemplo, las fibras musculares. En este sistema es evidente que el comportamiento de las neuronas por separado no refleja la increíble complejidad de tareas que emergen y que son capaces de llevar a cabo en conjunto. Uno de los principales retos de las neurociencias es el de entender cómo el comportamiento colectivo de redes neuronales es capaz de inducir comportamiento en el cerebro a grandes escalas, como el conocimiento y el aprendizaje; y cómo es posible formar, a partir de eventos evolutivos, tan complicada y eficiente red. Para ello, será necesario el aglutinamiento interdisciplinario de físicos, químicos, matemáticos y fisiólogos, entre otros especialistas. Las

consecuencias de su entendimiento pueden llevar al desarrollo de tecnologías inimaginables, así como producir un fuerte impacto en temas relacionados con la salud social. C²