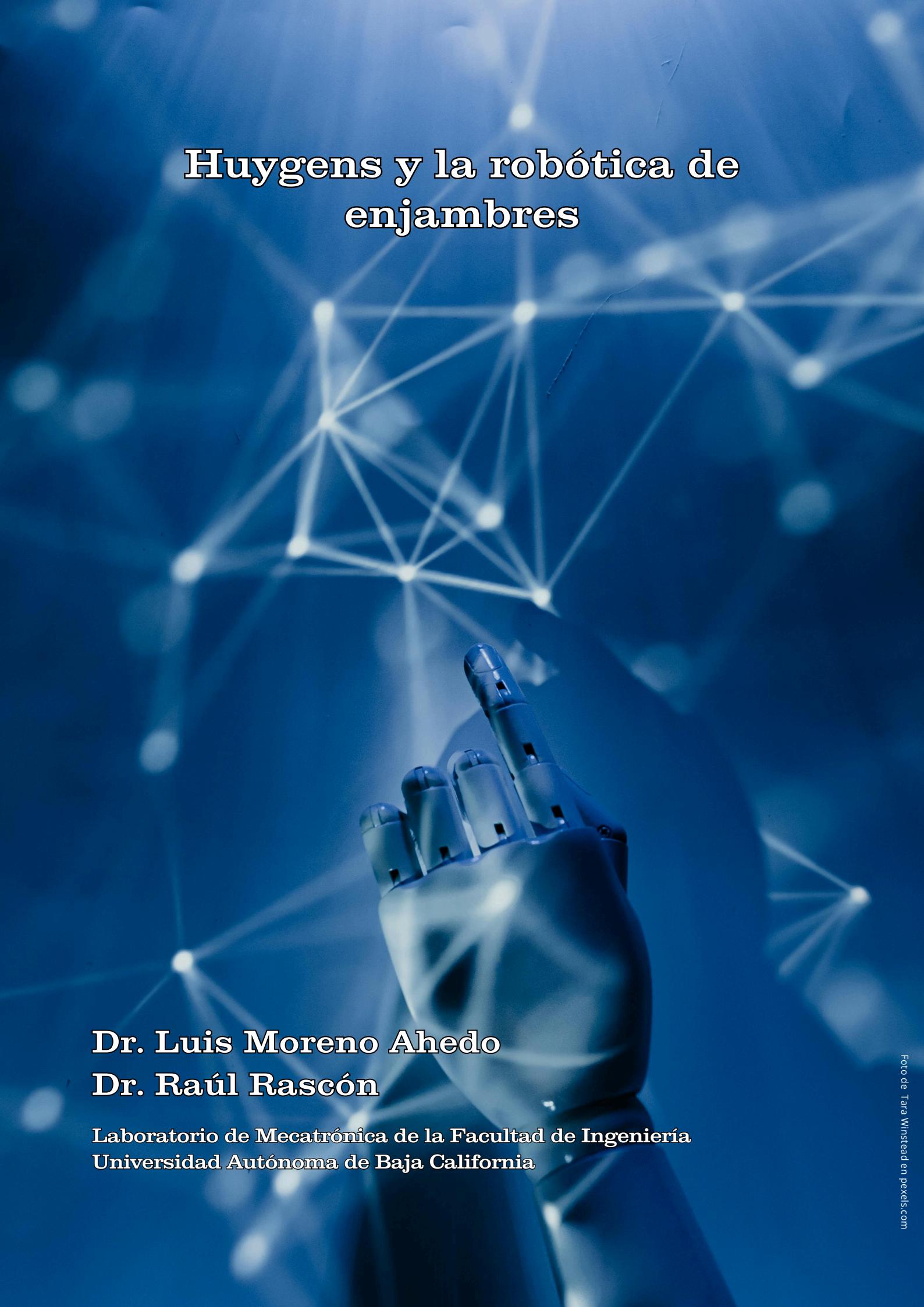


# **Huygens y la robótica de enjambres**



**Dr. Luis Moreno Ahedo**  
**Dr. Raúl Rascón**

**Laboratorio de Mecatrónica de la Facultad de Ingeniería  
Universidad Autónoma de Baja California**

## Abstract

Christiaan Huygens accidentally discovered, around 1660, the phenomenon of the synchronization of two man-made systems, this isolated discovery went unnoticed for several centuries. However, during the 1990s mathematical biology studied phenomena in nature related to the behavior of flocks, swarms, schools, colonies and herds, seeking to explain these phenomena, concepts of synchronization of systems were developed and Huygens' work was recognized by the community as the pioneer of synchronization. Years later with the rise of mobile robotics, the application of synchronization theories led to the development of swarm robotics as an approach to robotics that draws on the collective intelligence of natural systems and involves the use of multiple robots (called "agents" or "swarms") that work cooperatively in a coordinated manner to perform complex tasks.

**Keywords:** Synchronization of systems; Swarm robotics; Collective intelligence

## Resumen

Christiaan Huygens descubrió accidentalmente, alrededor de 1660, el fenómeno de la sincronización de dos sistemas hechos por el hombre, este sui géneris descubrimiento pasó décadas desapercibido. Sin embargo, durante finales de los años 80 la biología matemática estudió ciertos fenómenos de la naturaleza relacionados con el comportamiento de parvadas, enjambres, cardúmenes, colonias y manadas. Buscando explicar estos fenómenos se desarrollaron los principales conceptos sobre la sincronización de sistemas

y el trabajo de Huygens recibió el reconocimiento de la comunidad científica como el pionero de los estudios sobre la sincronización. Años más tarde con el auge de la robótica móvil, la aplicación de las teorías sobre sincronización llevó al desarrollo de la robótica de enjambre como un enfoque en el que la Robótica se inspira en la inteligencia colectiva de sistemas naturales y consiste en el uso de múltiples robots (llamados "agentes" o "swarms") que trabajan cooperativamente de manera coordinada para realizar tareas complejas.

**Palabras clave:** Sincronización de sistemas; Robótica de enjambre; Inteligencia colectiva.

A primera vista podríamos dar por hecho que el dibujo de la figura 1 fue realizado por una niña o niño (Huygens, 1893). Pero, por más inaudito que parezca, fue hecho por el astrónomo, físico, matemático e inventor holandés Christiaan Huygens contemporáneo de Newton, y un gigante de su tiempo, un retrato de él se muestra en la figura 2.

Huygens inventó y patentó en 1656 el reloj de péndulo mostrado en la figura 3, en una época donde la expansión colonial de las grandes potencias europeas y el mercantilismo forjaban el devenir del Orbe, y donde grandes cambios y conflictos se avizoraban en el horizonte. Durante aquella época medir el tiempo era un imperativo, que, de llegar a buen cauce, garantizaría una ventaja encomiable sobre las naciones en pugna involucradas.

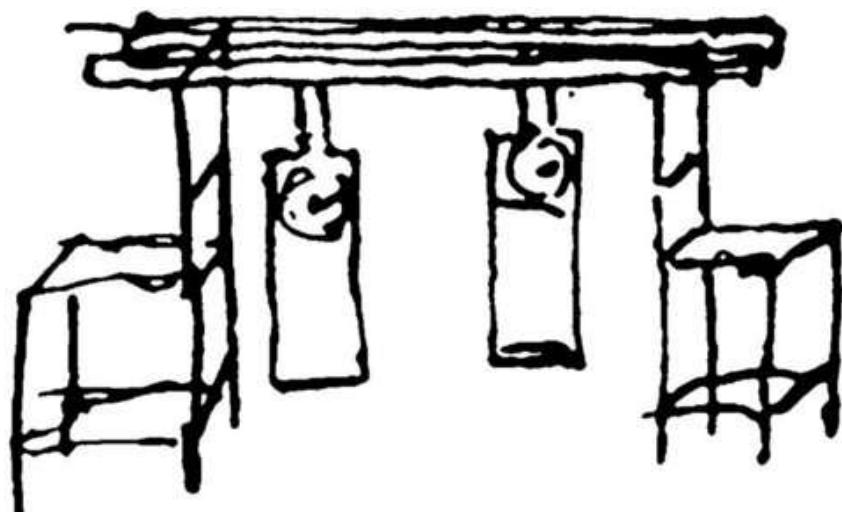


Figura 1: Simpatía de dos péndulos según Christiaan Huygens



Figura 2: Retrato de Christiaan Huygens (1629-1695)

El invento de Huygens fue durante tres siglos la mejor manera de medir el tiempo. Sin embargo, el comercio marítimo planteó un nuevo paradigma, cómo medir el tiempo en los grandes barcos mercantes que surcaban los mares de Oriente a Occidente, y claro a la Nueva España y sus extensos dominios en la América de Colón. Este problema recibió el nombre del Problema de la Longitud. El problema estribaba en determinar la Longitud en el mar (la distancia de este a oeste dado un punto de referencia), este problema fue un asunto medular para la navegación

global de la época, y la medición del tiempo en los barcos fue el reto científico y técnico y por el cual el gobierno británico mediante la Ley de la Longitud instauró un premio con un sustancioso monto monetario, esta épica aventura está narrada en el libro de Sobel (1996). El asunto no era trivial, pues el reloj de péndulo no funcionaba adecuadamente ante los embates de las olas y los vaivenes de los mares. Usando el lenguaje moderno, podemos afirmar que el problema era un problema de sincronización de dos relojes, uno en tierra y el otro colocado en los barcos.

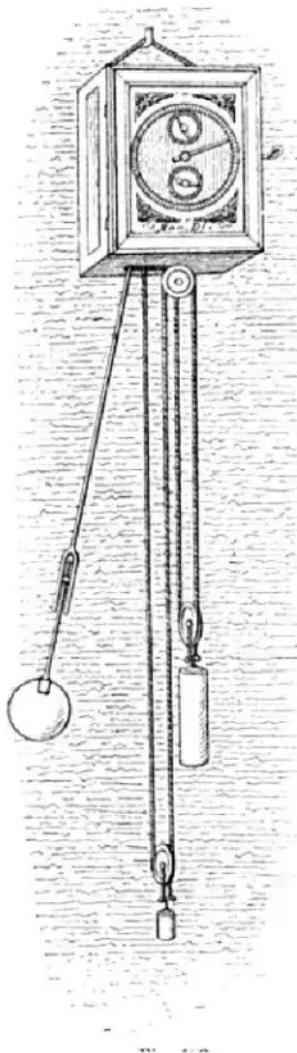
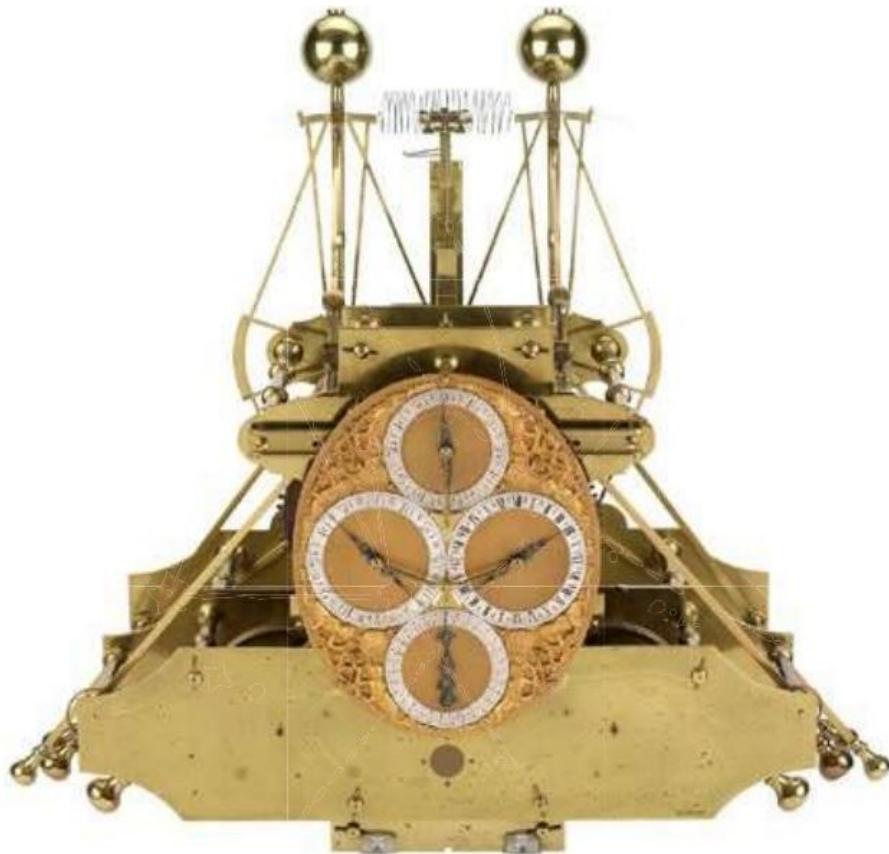


Figura 3: Reloj de péndulo que Huygens inventó.

El problema fue resuelto por el relojero inglés John Harrison con la invención del cronómetro marino en 1761, esto después de décadas de diseño y construcción, su invento se muestra en la figura 4. Durante este impasse, varias aproximaciones a la solución fueron propuestas. Huygens por su parte investigó el problema desde una aproximación empírica, su carácter era más de un emprendedor que un científico en forma. Huygens colgó dos de sus relojes de péndulo a una tabla de madera sostenida por un par de sillas, como muestra el intrigante dibujo arriba mostrado. Hecho esto, Huygens observó un fenómeno sin parangón: los péndulos siempre oscilarán sincrónicamente en direcciones opuestas con respecto de sí mismos sin importar la posición de donde inicien su movimiento pendular.

Huygens perplejo anunció sus hallazgos enviando una carta a la ‘*Royal Society of London*’ relatando en ella este fenómeno nombrándolo como “*sympathy of two pendulum*” o la “simpatía de dos péndulos”. Él no pudo más hipotetizar las causas de este fenómeno, pues las herramientas matemáticas del Cálculo estaban en ciernes de ser dadas a conocer por Newton y Leibniz. Huygens sospechaba que los péndulos ejercen algún tipo de fuerza mutua a través de la tabla de madera a la que estaban sujetos. Sin duda, Huygens fue un personaje simpático, descubrió el fenómeno de la sincronización tendido en su cama mientras convalecía de una enfermedad. Recordemos, estamos en la década de 1660 y la peste negra ensombrecía mórbidamente a gran parte de Europa.



Primer cronómetro marino, H1.

Figura 4: Cronómetro marino de John Harrison inventado en 1761

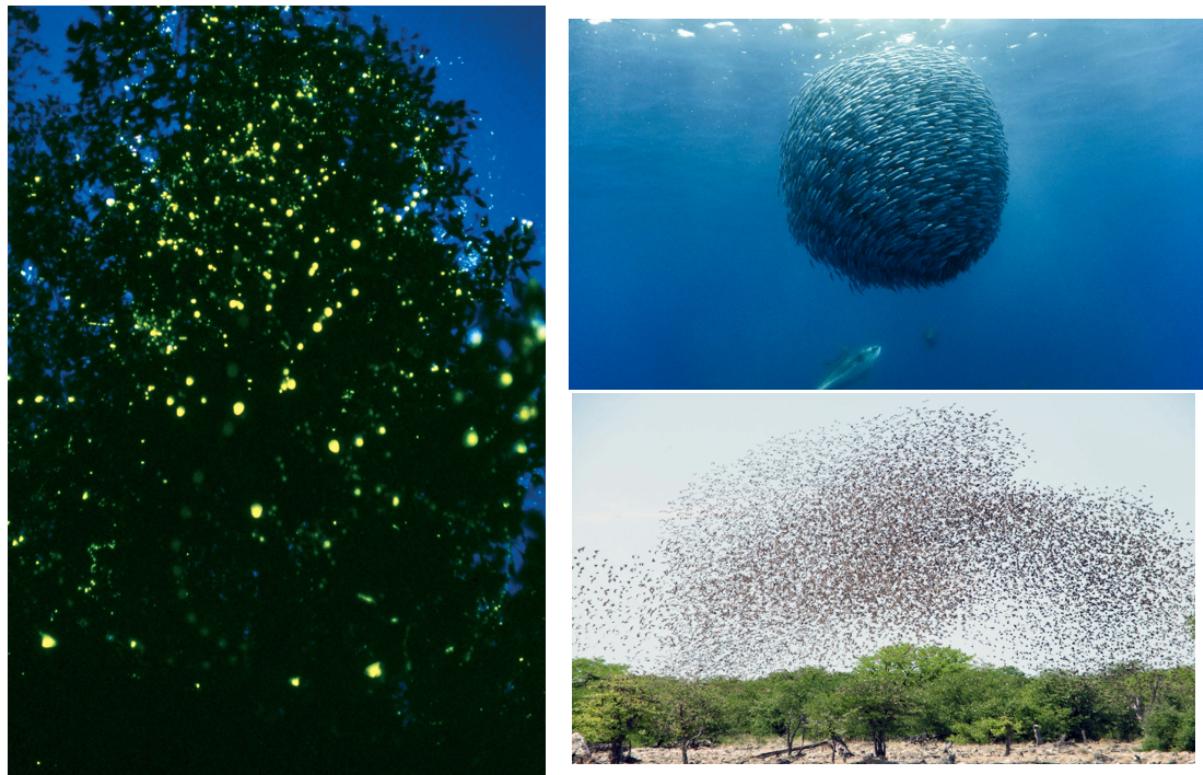


Figura 5: Ejemplo de comportamientos en enjambres de especies

Desafortunadamente, el descubrimiento de Huygens no suscitó el interés de la comunidad científica de la época, y poco a poco fue relegado por el Problema de la Longitud, pues una guerra comercial y militar por la supremacía marítima se libraba. A este respecto, ¿cuántos fenómenos de ‘simpatía’ pasaron desapercibidos y perdieron la oportunidad de ser estudiados debidamente de manera curiosa e inquisitiva como nuestro simpático Huygens lo hizo?

Por ejemplo, en 1680 el explorador alemán Engelbert Kaempfer durante un viaje a la mítica Siam, hoy Tailandia, observó el centelleo coordinado de

enjambres de luciérnagas posadas en los árboles las cuales titilaban con regularidad y exactitud, ver figura 4. Este centelleo sincronizado fue un misterio científico por muchas décadas, incluso en el siglo pasado este fenómeno no era del todo entendido; por ejemplo, en la revista *Science* de 1917 un científico escribió «que algo así ocurra entre los insectos es ciertamente contrario a todas las leyes naturales». A decir verdad, este fenómeno no es un hecho aislado y existe una similitud entre el comportamiento de otros agrupamientos de especies animales como parvadas, colonias, cardúmenes y manadas.



Figura 6: Ejemplos de robótica de enjambres

No obstante, aunque incipiente y latente, la idea planteada por Huygens germinará, pues solo bastaban nuevas formas de análisis para ser reconocida como una rama más de la Ciencia llamada Sincronización. “Y nadie echa vino nuevo en odres viejos” escribe Lucas 5:36, así pues, para captar la relevancia de los fenómenos de ‘simpatía’ se necesitó de renovados bríos.

Científicos de diversas latitudes del orbe y disciplinas se abocaron en estudiar fenómenos tan aparentemente disímiles como los péndulos de Huygens, las oscilaciones en los sistemas fisiológicos , el titilar de las luciérnagas , colonias de abejas y hormigas , la redes de neuronas , oscilaciones en reacciones químicas por mencionar algunos casos de estudio,

entre los científicos exponentes de estos exhaustivos estudios encontramos a Glass y Mackey (1988), Winfree (2001), Watts (1999) y Kuramoto (1984) y Strogatz (2006). Dentro de todos estos estudios, colocamos el libro de Strogatz (2006) en primer lugar por ser una fuente inigualable de divulgación e inspiración.

A la par que se desarrollaban los conceptos de sincronización de sistemas que ocurren en la naturaleza, el científico ruso Ilya I. Blekhman, publicó su libro seminal Blekhman (1998), donde establece que "la sincronización juega un papel fundamental en la ciencia y la tecnología...z desarrolló la idea de sincronizar sistemas hechos por

el hombre, entre ellos obviamente se encuentran los robots Bonabeau, E., Dorigo, M., & Theraulaz, G. (1999). Un campo activo de investigación es la sincronización de robots móviles, robots manipuladores y vehículos aéreos no tripulados por sus potenciales aplicaciones entre las que destacan:

1. Agricultura de precisión
2. Control de calidad
3. Logística y almacenamiento
4. Manufactura y ensamblaje
5. Búsqueda y rescate en entornos industriales
6. Inspección y mantenimiento

Arquímedes afirmó: "Dadme una palanca y moveré el mundo". De igual manera podemos afirmar que Huygens descubrió un fenómeno para el cual no tuvo explicación alguna en su tiempo, pasarían siglos para que tal extraordinario fenómeno cobrará una relevancia de tal envergadura; que sin menor a dudas podemos afirmar que la idea de Huygens mueve al mundo tal cual se vislumbra hoy en día y proyecta un futuro promisorio, alucinante y fascinante.

## Referencias

- [1] Blekhman, I. I. (1988). *Synchronization in science and technology*. ASME Press.
- [2] Bonabeau, E., Dorigo, M., & Theraulaz, G. (1999). *Swarm intelligence: From natural to artificial systems*. Oxford University Press.
- [3] Glass, L., & Mackey, M. C. (1988). *From clocks to chaos: The rhythms of life*. Princeton University Press.
- [4] Huygens, C. (1893). Correspondencia 1664–1665. En M. Nijhoff (Ed.), *Oeuvres complètes de Christiaan Huygens* (Vol. 5). La Societe Hollandaise des Sciences.
- [5] Kuramoto, Y. (1984). *Chemical oscillations, waves, and turbulence*. Springer-Verlag.
- [6] Sobel, D. (1996). *Longitud: La verdadera historia de un genio solitario que resolvió el problema científico más grande de su tiempo*. Editorial Debate.
- [7] Strogatz, S. (2006). *Sincronización: Cómo el orden emerge del caos en el universo, la naturaleza y la vida cotidiana*. Tusquets Editores.
- [8] Watts, D. J. (1999). *Small worlds: The dynamics of networks between order and randomness*. Princeton University Press.
- [9] Winfree, A. T. (2001). *The geometry of biological time* (2nd ed.). Springer.