

# SISTEMAS COMPLEJOS Y FÍSICA ESTADÍSTICA: DESDE ESTOCOLMO HASTA LA HABANA

## COMPLEX SYSTEMS AND STATISTICAL PHYSICS: FROM STOCKHOLM TO HAVANA

A. LAGE-CASTELLANOS

Director, Centro de Sistemas Complejos y Física Estadística

La definición de Sistemas Complejos resulta algo escurridiza. Cautelosamente, podríamos decir que son sistemas de muchas partes interactuantes que muestran propiedades emergentes. Se consideran sistemas complejos el clima, las redes biológicas, las pilas de arena, el movimiento colectivo de animales, y muchos otros: varios de estos temas se encuentran reflejados en artículos originales de este número de la Revista Cubana de Física. Conceptos de la física estadística y la termodinámica, como los macro y micro estados, las transiciones de fase y los estados estacionarios o transientes, encuentran paralelismo y utilidad en los sistemas complejos. El hecho de abarcar muchos temas –quizás demasiados– fue obviamente de gran ayuda para el comité Nobel, cuando hubo de conferir el galardón de Física de este año. Sugiero al lector que consulte el artículo sobre el tema que aparece en la sección “Física para físicos y no-físicos” en este número, donde Roberto Mulet ha hecho un loable esfuerzo por destilar los elementos verdaderamente unificadores que justifican la decisión del comité Nobel 2021.

### I NUCLEACIÓN DE FASE

La semilla de los sistemas complejos en la Facultad de Física la siembran a finales de los años 90 los profesores Oscar Sotolongo y Ernesto Altshuler. Lo hacen en paralelo con la tendencia mundial de buscar nuevos espacios para la aplicación de conceptos físicos (entropía, desorden, leyes de escala, autosimilaridad) en ramas de la ciencia supuestamente más “blandas” que la Física convencional. En el caso de Cuba, un elemento que contribuiría a este cambio de paradigma era la propia crisis económica de los años 1990’s, y su impacto negativo en el desarrollo de la industria electrónica nacional. Soto y Altshuler comienzan a explorar campos fuera de la física del estado sólido, que era la tradición más fuerte en la Facultad de Física. El incipiente grupo de sistemas complejos publica importantes artículos sobre micro-gotas en emulsiones de combustible, y sobre la dinámica de avalanchas en vórtices superconductores y pilas granulares. A finales de la propia década, el entonces recién graduado Roberto Mulet realiza una estancia en el grupo del Profesor Giorgio Parisi –uno de los recién galardonados con el Nobel de Física– y se introduce en el mundo de las nuevas aplicaciones de la física estadística.

### II TRANSIENTE

En los primeros años del siglo XXI este trío de investigadores, junto con colaboradores y estudiantes

internos y externos, constituyó la Cátedra de Sistemas Complejos “Henri Poincaré” (2002), primeramente, y luego el Grupo de Sistemas Complejos y Física Estadística. Su impacto se dejó sentir con fuerza en el quehacer de la Facultad. Se modernizaron los currículos de postgrado con asignaturas como Sistemas complejos, Análisis dimensional, Experimentos Avanzados de Física, Medios granulares y Sistemas desordenados, entre otros. Se hizo una amplia labor formativa sobre estudiantes de pregrado y postgrado con decenas de tesis defendidas. Se publicó una sustancial cantidad de artículos en revistas de alto impacto y amplio espectro; la temática ha estado fuertemente representada en términos de reconocimiento nacional e internacional. Notoriamente, en los últimos años, los intereses del grupo se han expandido hacia las ciencias de la vida, incluyendo el establecimiento de lazos científicos con centros del llamado “Polo Científico del Oeste de La Habana”, como el Centro de Inmunología Molecular y el centro de Neurociencias.

### III CAMBIO DE ESTADO

Entre los temas explorados más recientemente por el grupo está la dinámica de sistemas desordenados en redes. Esto incluye desde modelos de átomos magnéticos, hasta modelos de redes de proteínas, cascadas metabólicas, modelos ecológicos, y... epidemiológicos. Desde 2015, investigadores del grupo intentaron impulsar una idea que en otras partes del mundo ya tenía resultados: usar los datos de la telefonía móvil para modelar la movilidad de las personas con fines diversos fines, entre ellos, el epidemiológico.

Esta idea, después de los lógicos contratiempos iniciales, ha contado con muchos apoyos: de la Organización Panamericana de la Salud, de ETECSA, de la dirección universitaria y, finalmente el interés directo del Ministerio de Comunicaciones y del gobierno mismo. Todo se fue dando en cadena, y visto en retrospectiva, podría decirse que más rápido que un estornudo. Lamentablemente, pronto los estornudos jugarían un rol protagónico en la vida del Centro, del país, y del planeta.

El proyecto estaba todavía en fase de prueba cuando en Wuhan (China) comienza a diseminarse una rara neumonía. La aparición del SARS-CoV2 justificó acelerar este proyecto, y en los primeros meses de la pandemia el entonces Grupo de Sistemas Complejos y Física Estadística pudo contribuir,

además de con modelación matemática, con análisis de patrones de movilidad que ponían a prueba la efectividad de las medidas implementadas en el país durante marzo y abril de 2021.

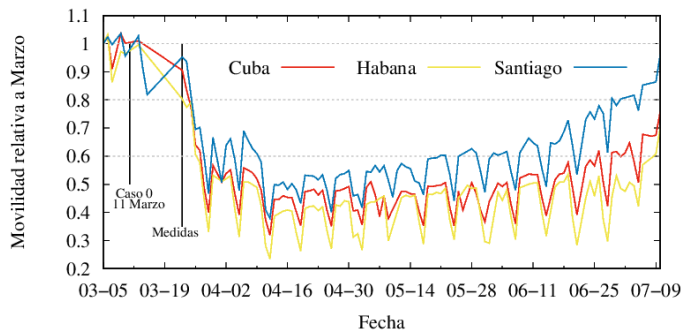


Figura 1. Movilidad de las personas en plena pandemia, determinada mediante la señal de los teléfonos celulares. Desde luego, la data se trabajó anónimamente.

Hacia mediados de 2020, el Viceministro de Comunicaciones Wilfredo González, quien ha impulsado el desarrollo de la llamada “Big Data” en el país como parte de la estrategia de gobierno para la modernización tecnológica y la solución de problemas basados en la ciencia, visitó la Universidad de La Habana, y discutió con su Rectora Miriam Nicado cómo consolidar los resultados que se iban obteniendo desde las facultades de Física y de Matemática y Computación. El 28 de diciembre de 2020 se firma la resolución ministerial que crea el Centro de Sistemas Complejos en la Facultad de Física, con cuatro objetivos fundamentales: investigación de primer nivel, colaboración dentro y fuera del espacio académico, formación de capital humano y coordinación de grupos afines.

El proyecto de análisis de los datos de movilidad ha seguido siendo una prioridad del centro durante este primer año. Muestra de su potencial ha sido la contribución dada al Proyecto de Movilidad Urbana Sostenible de la Dirección Provincial de Transporte de La Habana. En medio de la pandemia, la posibilidad de realizar encuestas de movilidad estaba muy limitada. Los datos de telefonía se usaron para comprender la dinámica de los flujos de población en la

ciudad, y se compararon con resultados de encuestas en los centros laborales. Sin embargo, los métodos basados en Big Data tienen el poder que les da la masividad de los datos y la disponibilidad diaria de estos. En la actualidad, se continúa trabajando en los análisis para el transporte y se prevé usar en otros temas, como la modelación de la epidemia de COVID-19.



## CENTRO DE SISTEMAS COMPLEJOS

Figura 2. Logotipo del Centro de Sistemas Complejos y Física Estadística de la Facultad de Física, Universidad de La Habana.

Cuando se crea una institución científica, se potencia un grupo científico y se da por sentado que sus mejores años están por venir. El Centro de Sistemas Complejos y Física Estadística ha nacido con el reto de mantener y ampliar el impacto nacional e internacional de los resultados científicos que ha venido desarrollando un perseverante colectivo de investigadores de la Facultad de Física de la Universidad de La Habana y sus colaboradores, a lo largo de décadas.

Hace muy poco, uno de esos pioneros pisó por vez primera los nuevos locales asignados al Centro. Hacía algunos años que no entraba al edificio de Física, cuyo largo y tortuoso proceso de renovación ha transcurrido –y aun transcurre– gracias a la extraordinaria obstinación y esfuerzo del claustro de la facultad. “Nunca pensé que esto se podía haber logrado” –nos dijo, con un brillo juvenil en los ojos. Aunque el Centro representa mucho más, el sólo hecho de provocar tales emociones hace que el esfuerzo haya valido la pena.