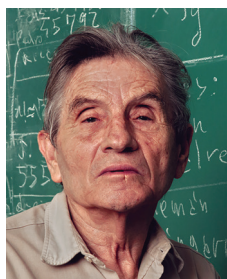


## El estudio de los sistemas complejos, una visión que cambiaría la ciencia

Entrevista a Germinal Cocho



GERMINAL COCHO GIL es sin duda uno de los científicos mexicanos de mayor prestigio en el área de los sistemas complejos y la interdisciplina. Nació en 1936 en la ciudad de Madrid un primero de mayo, el día internacional de los trabajadores. Todos los que lo conocen admiten tácitamente dos aspectos muy distintivos de su personalidad: una extraordinaria intuición científica, que le ha permitido tender puentes entre distintas áreas del conocimiento, y una manera muy particular de expresar sus puntos de vista, que en esta entrevista está aderezada por su entusiasta agudeza que en momentos se acompaña de risas. Su labor ha sido reconocida por la comunidad científica a través del Premio de Investigación de la Academia Mexicana de Ciencias, (1969) y el Premio Universidad Nacional de Investigación (1991). Es investigador emérito tanto de la UNAM como del Sistema Nacional de Investigadores. Esta entrevista se realizó en dos sesiones, una en enero y otra en abril de 2015 en su cubículo del Instituto de Física de la UNAM.

101

### Estudiar medicina. La contingencia de tener mala letra

Cuando yo estaba en la secundaria, iba a un laboratorio de análisis clínico de un médico español amigo de mis padres. Ahí aprendí a ver en el microscopio huevecillos de *Taenia saginata* y de otras lombrices, a hacer citologías somáticas; esto me gustaba menos, pero bueno, lo pasé bien.

Mi padre era abogado y mi madre escribía en periódicos, luego escribía cuentos, y ambos tenían un fuerte compromiso con las necesidades de la sociedad. Con frecuencia nos decían: “miren, tanto en México como en España sobran abogados, sobran licenciados: necesitamos médicos, necesitamos ingenieros...”

De investigación científica ellos no conocían gran cosa y, por lo tanto, tampoco mi hermano Flavio ni yo. Pero sí eran personas de preparación hu-

---

\* Instituto de Física – Universidad Nacional Autónoma de México. Correo electrónico: cocho@fisica.unam.mx

manista que sostenían que en nuestros países lo que falta es gente científica y técnica.

En la preparatoria tuve un maestro muy bueno que dio dos cursos de física, y entonces ahí fue donde me empezó a gustar esta ciencia.

A la hora ya de elegir carrera, yo quería meterme en ingeniería, no sabía que existía una Facultad de Ciencias, ni de lejos, pero entonces un maestro mío de matemáticas me dice: "mira, tú tienes mala letra y vas a tener problemas con el dibujo; te va a ir muy mal en ingeniería. ¿Por qué no te metes a medicina?"

Como en secundaria había tenido alguna experiencia con los análisis clínicos que ya comenté, pues me fui a medicina. En resumen, la razón de estudiar medicina fue un poco una contingencia, la contingencia de tener mala letra, de que un maestro te diga por qué no te vas a medicina. Yo no tenía relaciones con médicos, pero tenía relaciones con un laboratorio y dije: pues ahí le entro.

Entré a la Facultad de Medicina en la UNAM y en los primeros años se daba anatomía, donde jugaba un papel importante la memoria. Yo hice la primaria en un pueblo en España, y allí una de las cosas que nos enseñaron era a memorizar, entonces los que veníamos de España éramos unos más listos y unos más tontos, pero no necesitábamos de una grabadora, no, teníamos capacidad.

Ya en el tercer año, al menos la mitad de las clases se tomaban en el Hospital General. A mí la clínica no me convenía, la cirugía no me gustaba nada; lo que es medicina interna, pues no me molestaba, pero yo sentía que por allí tampoco iba mi inclinación. De hecho dormía mal, en cierto sentido tuve una crisis, hasta que platicando encontré que en México había una tradición muy fuerte de investigación en fisiología, que los médicos se recibían y luego aprendían o se dedicaban a la investigación en fisiología o bioquímica, y entonces me dije ¡ah pues ya sé lo que voy a hacer!, voy a hacer investigación, termino medicina y sigo ese camino.

Mientras, otras cosas ocurrían en paralelo. Mi hermano Flavio estudiaba ingeniería y yo en preparatoria había llevado un buen curso de cálculo diferencial e integral. Con frecuencia leía sus libros y mientras estaba en medicina aprendí, de manera autodidacta, ecuaciones diferenciales y álgebra vectorial. Después también aprendí algo de mecánica. Esto era un poco contradictorio porque en los cursos de mecánica de Flavio tenía que hacer los diagramas de cuerpo libre, donde ponía uno las fuerzas; yo lo intentaba, pero siempre me faltaban fuerzas.

Flavio tenía un libro de física teórica y aprendí a escribir el lagrangiano<sup>1</sup> de ciertos problemas. En resumen, aparte de medicina sabía islotes de matemáticas, islotes de física con grandes lagunas, y tenía la inclinación de que yo quería hacer investigación, pero tenía que hacer algo más básico. Veía la fisiología así,

---

<sup>1</sup> Función escalar donde se pueden obtener la evolución temporal, leyes de conservación y otras propiedades importantes de un sistema dinámico.

muy gruesa, quizás también la bioquímica y me decía: a nivel de física bien básico, ahí, ahí quiero entrar.

Finalmente terminé medicina. Estaba asociado a un laboratorio, que más bien era la Unidad de Patología de Ruy Pérez Tamayo, y las autopsias eran para mí un problema, pero en fin, ahí aprendí histopatología y otras cosas, y como no estaba apuntado de planta, pues no tenía que hacer cosas que no me gustaban, por ejemplo las autopsias.

### **El ingreso a la Facultad de Ciencias. La posibilidad de explicar fenómenos diferentes en escalas distintas**

Era un buen médico, vi muchos enfermos, en cardiología vi un montón, pero era un médico que sabía islotos de matemáticas, islotos de física y que quería hacer investigación fundamental que se relacionase con la física.

En aquella época era cuando empezaban a observarse, a nivel de difracción de rayos X, las primeras estructuras de proteínas, en particular de la mioglobina, y uno de los laboratorios que trabajaban en esto estaba en Inglaterra, en la Universidad de Leeds. Estaba dirigido por alguien que obtuvo el Premio Nobel. Decidí ir a Leeds a aprender eso de la estructura de proteínas y verlas en el espacio. Pero para eso necesitaba beca y eran difíciles de conseguir. Lo intentó Ruy Pérez Tamayo, lo intentó Pepe Laguna, pero no había, no se logró sacar becas a pesar de que Ruy y José Laguna eran muy prestigiosos. Más adelante Laguna fue director de la Facultad de Medicina, en fin. Entonces yo estaba, como se dice en inglés en *stand by*. ¿Y ahora, qué?

Entonces ocurrieron dos cosas. Una de ellas es que como yo era y soy una persona de pensamiento de izquierda, que conocía en aquel entonces bastantes aspectos de marxismo y de materialismo dialéctico, comencé a pensar que tanto en la naturaleza como en la sociedad, hay diferentes niveles de organización y el cambio entre esos niveles podía ser descrito en el lenguaje de física como transiciones de fase. Me dije ¡que padre, está bueno! Que los diversos aspectos de la materia tienen cosas genéricas y cosas específicas, y yo pensaba ¡esto es lo que me gustaría trabajar!

Haciendo un paréntesis, esto es uno de los aspectos principales de los sistemas complejos. Si yo me he adelantado en algunos puntos de la teoría de los sistemas complejos no es tanto porque hayamos tenido aquí un Departamento de Sistemas Complejos en el Instituto de Física de la UNAM antes que en otros lugares, sino porque yo venía pensando, vía materialismo dialéctico desde que tenía veintitantos años, en los diversos niveles de la materia, sus similitudes y diferencias, y que tales sistemas trabajan en zona crítica. Ese es el punto.

La segunda es que me enteré de que había una Facultad de Ciencias en la UNAM. Esto y un suceso ocasional, aunque anecdótico, me empujaron a estudiar física. Yo estaba leyendo un libro de la revolución copernicana en el cual se hacía una crítica a la cosmogonía de Ptolomeo que, como es sabido, se basa en círculos, epiciclos; es decir, muchos parámetros con los cuales se pueden ajustar muchas órbitas. Sin embargo, desde la teoría de Kepler la respuesta parece ser: no, definitivamente no necesitas tantos parámetros; es que las órbitas son elipses. Era un libro cautivante para una persona como yo. En aquel entonces en la calle de Madero estaba la librería *American Book Store*. En las afueras de la misma había unas bancas, uno tomaba los libros y te dejaban leerlos y ahí estaba este libro que comento. Había otro que era sobre galaxias. En el mismo se proponía, según recuerdo, la estructura actualmente admitida del Universo: galaxias, cúmulos de galaxias y cúmulos de cúmulos de galaxias. Varios niveles. Allí encontré las distribuciones de leyes de potencias de los fractales, y entonces se me ocurrió una idea loca. Dije: con Ptolomeo eran necesarios muchos parámetros y resulta que bastan unos pocos. El secreto está en la distribución. Empecé a reflexionar en lo maravilloso de que pocas distribuciones sirvieran para explicar tantos fenómenos diferentes, en tantas escalas distintas. Me pareció maravilloso que una persona logre guardar en su cerebro, que es un objeto pequeño en su volumen, toda la información acerca de la estructura de las galaxias que son objetos gigantescos. Este tipo de reflexiones, desordenadas, lo confieso, me metieron a la Facultad de Ciencias de la UNAM.

Me tocó estudiar durante la época dorada de la investigación en partículas elementales. En 1953 había un curso de temas selectos de física contemporánea impartido por Juan B. Oyarzábal y que abarcaba cosas muy de frontera en la época. Ahí leíamos cosas de quienes acababan de recibir el Premio Nobel, éste era, pues si no moderno... ¡hipermoderno!

Y me dije: ¡ah, esto si me gusta! y quedé atrapado por la física de partículas y eventualmente me fui a hacer un doctorado a Princeton en física teórica y cosas de esas.

## **El estudio de los sistemas complejos. Interés en la ciencia de frontera desde el materialismo dialéctico**

La motivación por la complejidad surgió antes de que entrara a la Facultad de Ciencias vía el marxismo. Estando en Princeton, en el doctorado, realicé un trabajo en física de partículas elementales. Tuve una crisis depresiva. Cuando uno está afuera haciendo el doctorado de repente la vida es menos sabrosa de lo que la gente cree, y en parte porque yo era un bicho de izquierda y Estados Unidos no era muy de izquierda, pero en fin, así fueron las cosas.

Finalmente terminé mi doctorado. En el transcurso de mi trabajo me reencontré con un compañero de la Facultad de Ciencias, habíamos hecho la tesis de licenciatura juntos. Él estaba en la Universidad de Boston y trabajaba en temas de bioquímica. Yo iba a verlo y en una de esas pláticas hablamos con el director de un laboratorio de biofísica, el cual nos contaba de que en Harvard tenían un problema en aquella época. Los estudiantes de medicina no tenían la capacidad de pensar en algún modelo que explicara varias enfermedades como variantes, les faltaba la generalidad que tenían los alumnos de ciencias. Me propuso que cuando terminara en Princeton fuera ahí y me darían una beca y un cubículo. El reto era echar a andar la biofísica en Harvard. Yo dije que sí, pero lo veía negro.

Regresé a México, donde estaba mi novia, y ya me quedé aquí en el Instituto de Física, por un lado trabajando en partículas y, por otro, en proyectos con Rafael Pérez y José Negrete; este último andaba en el Instituto de Biomédicas. Intentamos echar andar una licenciatura o una maestría sobre biofísica en la Facultad de Ciencias, pero no funcionó. Durante bastante tiempo yo daba materias que eran básicamente de biofísica molecular. Digo esto para enfatizar la idea de que me quedó la motivación de empujar el proyecto en México, aunque yo hacía también otro tipo de investigación.

Más adelante, el relevo lo tomaron personas como Pedro Miramontes en el Departamento de Matemáticas. En conclusión, quiero decir que no fue tanto el ambiente de la Universidad de Princeton, sino mi historia previa y el hallazgo de mi colega en Boston los que me motivaron al estudio de la complejidad.

El Programa Ciencia y Sociedad nació en parte en virtud de los movimientos del año 1968. La gente siente que la ciencia no es independiente de la estructura social, que algunos científicos apoyaban la guerra en Vietnam mientras estudiaban matemáticas.

Mi hermano Flavio, Marco Martínez Negrete y algunos más que éramos gente de izquierda montamos en la Facultad de Ciencias un seminario en el que veíamos un poco de ciencia organicista, que no era Carlos Marx, porque se suponía que sabíamos marxismo. Veíamos a Aristóteles, Piaget, Darwin y Freud; eran cosas organicistas para tener un panorama más amplio. Queríamos tener una visión menos reduccionista y conocer lo que tenían en común Aristóteles, Piaget y Freud. Estábamos ahí gente con doctorado; también estaban algunos estudiantes que llevaban física y filosofía que eran muy buenos. Manuel Pérez Rocha, quien era profesor por horas, tenía un seminario de Ciencia y Sociedad, entonces con él se nos ocurrió organizar el Programa de Ciencia y Sociedad. Juan Manuel Lozano, quien era director de la Facultad de Ciencias nos dijo escriban algo y yo los apoyo. Era buena onda.

Yo estaba en el Instituto de Física, pero en la Facultad impartía Física Moderna II, que era un curso del quinto semestre de la licenciatura en física cuyo

objetivo era revisar la ciencia de frontera e introducir además algo de marxismo. Trabajaba con Ilán Semo, un cosmólogo que luego estudió en la Facultad de Ciencias Políticas y Sociales; de ayudante quedó Gloria Koenigsberger, quien luego fue directora del Instituto de Astronomía. Es así como nació el programa de Ciencia y Sociedad.

Había diferencias con otros programas de la época post sesenta y ocho. Por dar un ejemplo, en la Universidad de Florencia estaba Angelo Baracca que era un físico de partículas que escribió un libro de termodinámica y mecánica estadística muy tradicional, pero que al final hablaba un poco sobre historia de la ciencia con la intención de demostrar que la ciencia en su lenguaje tenía categorías con un origen histórico. Y a nosotros, básicamente a Flavio y a mí, eso no nos gustaba. Creíamos que había una crisis similar al Renacimiento, que iba a cambiar la ciencia y que había que meter en los programas visiones diferentes. En aquel entonces, al menos para nosotros dos, la visión era lo que ahora llamamos sistemas complejos, que venían del materialismo dialéctico.

## La medicina es un sistema complejo típico

Si queremos hablar de sistemas complejos y medicina, tiene sentido hablar de ciertos rasgos generales de los primeros y en qué se parecen ambos. Podemos hablar de sistemas simples y sistemas complejos en el siguiente sentido: en un sistema simple tenemos un sólo tipo de objetos, todos parecidos entre sí y una regla dinámica. Un ejemplo de esto es la gravitación universal en la que sólo hay un tipo de objetos, los planetas, de los cuales sólo interesa su masa puesta en el centro de cada uno y, por otro lado, hay una ley universal única, que estos se atraen de modo proporcional al producto de las masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que los separa. Con eso se puede resolver la posición de éstos. De esta forma lo resolvió Newton (1642-1727).

En una instancia siguiente se puede hablar de la termodinámica. En este cuarto, por ejemplo, tenemos alrededor de  $10^{25}$  moléculas y para describir este sistema requeriríamos, en el paradigma newtoniano, una ecuación por cada una. Si ese es el caso, ni Newton ni nosotros ni nadie puede con él. Pero lo que vieron personas como Sadi Carnot (1796-1832), es que aunque no podamos decir qué va a hacer cada una de las moléculas, podemos observar cantidades colectivas que obedecen leyes, también sencillas. En particular la ecuación de la termodinámica de los gases perfectos es la que vale en este caso. Ésta dice que la presión es proporcional a la densidad por la temperatura. Y eso, independientemente de cualquier tipo de molécula, si la densidad no es muy alta, vale. Si bien no podemos saber qué hace cada una de las moléculas, sí hay aspectos colectivos que siguen leyes muy fieles. En este caso hay muchas moléculas, todas

se parecen y la dinámica es que chocan unas con otras. Esto es, hay muchos cuerpos y la dinámica es una sola y la misma.

El último paso es ¿qué pasa cuando tenemos muchos cuerpos y muchas dinámicas? Dentro de estas dinámicas algunas ayudan, son positivas, y otras son negativas. Esto es, la coexistencia de fuerzas de atracción y de repulsión. Aquí no va a haber una solución única, como en el caso de la termodinámica, sino que va a haber soluciones cuasi equivalentes. Por ejemplo, si tenemos tres factores dinámicos: A, B y C, lo que puede suceder es que si mejoramos A, se estropean B y C, o bien si mejoramos B, se estropean A y C. Uno puede optar por mejorar A con detrimento de B y C, o equivalentemente optar por mejorar B estropeando A y C, o bien C, aunque se me estropee A y B. Si fuesen iguales A, B y C serían soluciones equivalentes, pero si son un poco diferentes van a tener algunas similitudes y un conjunto de diferencias entre cada solución.

Los sistemas complejos son casos en los que hay aspectos parecidos, lo que permite leyes de escalamiento que son universales para sistemas físicos, biológicos y sociales pero están las diferencias que importan para cada caso. Por ejemplo, si hablamos de psicología, en una manifestación la gente puede seguir reglas colectivas y, sin embargo, cada cabeza es un mundo; cada una de esas personas tiene problemas diferentes que hacen la diferencia y no lo que tengan en común.

Los sistemas complejos se distinguen por tener grandes similitudes, leyes generales que trascienden haciendo que los sistemas (físicos, biológicos y sociales) sean susceptibles de ser analizados con herramientas que los complejólogos conocen; pero cada uno tiene diferencias que pueden ser importantes.

En medicina se dice que no hay enfermedades sino enfermos; mientras que en el caso de los gases, si tomo la presión ahora o después tal vez haya diferencias, pero son pequeñas para esos modos colectivos. Y en los sistemas complejos los modos colectivos tienen diferencias que son importantes. Pensando en un puente con enfoque médico: en los sistemas complejos típicos importa el diagnóstico diferencial: no sólo las similitudes sino sus diferencias.

En la medicina importa el diagnóstico diferencial. Si un paciente tiene neumonía no es lo mismo que tener neumonía y diabetes y encima de todo una cepa más agresiva. Entonces, ¿en qué se parece la medicina a los sistemas complejos? En que en ambos importa el diagnóstico diferencial. La medicina es un sistema complejo típico.

En virtud de esto, podemos hablar de enfermedades complejas multifactoriales; en particular de las enfermedades degenerativas, la diabetes tipo II, el cáncer, los accidentes cardiovasculares, coronarios o cerebrales. Entonces ¿cómo podemos definir las enfermedades complejas? Como lo hicimos antes: que tengan muchos factores, en los que algunos se sumen y otros se resten, es decir,

que se contrapongan. ¿Qué esperamos de esto? Que todas estas enfermedades tengan factores en común de modo que las causas tengan leyes sencillas para poder trabajarlas teóricamente y, por otro lado, que haya diferencias. A nivel concreto ¿qué parecidos podemos encontrar? Hay trabajos que indican que controlando la dieta, el peso y no fumando se pueden reducir a la quinta parte la frecuencia de enfermedades tales como las diabetes tipo II, los accidentes cardiovasculares y algunos tipos de cáncer. Guardan la similitud de que son multifactoriales; por ejemplo en la diabetes es importante hacer ejercicio y cierta dieta. Aunque tienen diferencias, se puede ver la convergencia cuando un conjunto de acciones comunes las ayudan y fomentan, de tal forma que es fácil pensar que el mal funcionamiento en el que convergen puede estropear todo el sistema.

A nivel de medicina hay dos tendencias: una asociada a la especialización, la medicina genética que está asociada a cada enfermedad y a cada enfermo. Eso por el momento es difícil y además es caro. Y, por otro lado, el hecho de que haya causas comunes en un país como México, independientemente de que el desarrollo tecnológico siga su curso; hay que buscar alternativas que le peguen a varias causas. Si los sistemas complejos tienen leyes generales y aspectos específicos, se pueden atacar las causas generales aprovechando que las enfermedades complejas comparten un nodo causal común, apostando a que de esta forma se pueden atacar problemas relacionados de forma eficiente.

El parecido entre enfermedades degenerativas y sistemas complejos es que hay factores generales que, dependiendo de si están prendidas o están apagadas, tienen mayor incidencia a gran escala en todo el sistema, y factores específicos a nivel de enfermedades y de persona específica.

El neoliberalismo le apuesta a la individualización, y a lo mejor una revolución científica le pega y permite el acceso a la medicina individualizada, pero uno como complejólogo y como mexicano le quiere pegar a los factores que, controlados en parte, puedan reducir la letalidad de las enfermedades degenerativas, aunque para una persona específica se tenga que individualizar el tratamiento.

Yo soy optimista. Creo que, estamos en una zona de transición parecida al Renacimiento. Tengo confianza en la especie humana, en que colectivamente se va a elegir el mejor camino. Las formas del neoliberalismo se agotan. Se dice a veces que se puede ir a una nueva era tecnológica, una época más justa y creo que el ser humano organizado podrá realizarlo; pero para eso necesitamos que cada quien ponga su granito de arena.

¿Se puede garantizar que no será una nueva edad media tecnológica? ¿Como China pero peor? Eso no lo sé. Se puede usar en esto un poco la metodología que indica que en la historia, el pasado, presente y futuro tienen aspectos comunes y diferencias. Y si estudiamos la historia nos van a indicar cosas en común y nos van a servir ahora, pero también van a indicar diferencias.



En particular en los tiempos de transición, en las revoluciones sociales, estos momentos se parecen. Mirar otros momentos históricos en los que ha habido crisis y determinar cuáles han sido los distintos caminos, puede ser útil. Esto me hace tener fe. A nivel práctico, mirando otras situaciones en el pasado, viendo lo parecido y lo diferente para poder mover las cosas en una buena dirección.

También está el hecho de que cuando se está en una zona crítica, el esfuerzo coordinado de un pequeño grupo de personas puede mover las cosas. Para esto hay que tener conciencia de los problemas, entenderse, formar bloques históricos. A nivel de que, como los sistemas complejos, las transiciones, las revoluciones tienen parecidos y diferencias. Los parecidos nos pueden dar normas para la transición y las diferencias para ser cautos en que no vamos a poder mapear tal cual.

### **Cooperar al tránsito a una sociedad más justa**

A decir verdad, en lo científico a mí me da mucha satisfacción desde resolver un crucigrama hasta el tratar de hacer algo para resolver problemas relacionados con enfermedades degenerativas. Es mi modo de ser: resolver enigmas me complace. Pero, por otro lado, el que uno sienta que puede cooperar al tránsito a una sociedad más justa, pues me llena aún más.

En lo laboral, el trabajo que tiene uno mientras lo pueda hacer sin restricciones, pues es buen oficio. Como primero estudié medicina y luego física me he movido impulsando primero la biología teórica en matemáticas y luego los sistemas complejos. No me gusta estar encasillado en una cosa, sino moverme de un lado a otro, eso implica trabajo adicional. Lo he podido hacer, las condiciones de trabajo me permiten hacerlo y estoy contento. En ese sentido, resolver problemas de diversos tipos me satisface, pero el que sean cosas de implicación social me satisface aún más.

En lo político, quizá la zona más política era la Facultad de Ciencias donde teníamos un Programa de Ciencia y Sociedad en la que había cosas académicas, pero también íbamos a dar pláticas a sindicatos y otros sitios. Entonces, juntar la parte académica y la política me ponía contento. Fueron buenos tiempos...

En lo afectivo depende más de la familia, de cosas individuales. En el trabajo académico-político el estar contento, el componente afectivo y familiar tiene mayor peso. Mi esposa siempre me apoyó, fue un elemento positivo. El aspecto afectivo no depende sólo del trabajo universitario y si sólo depende de él es que hay una patología. El ser académico o ser político no implica que se olvide la vida individual y familiar. ■

