

## **Hacia un sistema de salud auto-organizante y emergente.**

Carlos Gershenson

Instituto de Investigaciones en Matemáticas y en Sistemas y

Centro de Ciencias de la Complejidad,

Universidad Nacional Autónoma de México

*Los sistemas de salud, incluyendo al Mexicano, se han visto rebasados por la complejidad de las necesidades, enfermedades, poblaciones y organizaciones contemporáneas. Esta complejidad se debe al alto número de interacciones entre distintos factores, las cuales generan información nueva constantemente, la cual provoca cambios y limita la predicción. Para enfrentar la complejidad inherente a los sistemas de salud, se requieren datos para poder tomar decisiones a distintos niveles. La coordinación entre distintos actores no puede ser centralizada, pero la tecnología ya nos permite diseñar sistemas auto-organizantes de gestión los cuales pueden adaptarse a las necesidades en tiempo real. Se detalla la factibilidad de la propuesta y se emiten recomendaciones para mejorar el sistema de salud Mexicano.*

### **Introducción**

Los sistemas de salud son complejos. La palabra complejidad viene del Latín *plexus*, que quiere decir entretejido. Por lo tanto, podemos decir que los componentes de un sistema complejo son difíciles de separar. Esto se debe a que hay interacciones relevantes entre los componentes (Gershenson, 2013). Estas interacciones co-determinan el estado futuro de los componentes (y del sistema), por lo que no es posible estudiar a los componentes de manera aislada. Por ejemplo, la funcionalidad del corazón se necesita estudiar en relación con sus efectos en el resto del sistema circulatorio y del organismo. Esto no quiere decir que no se pueda aprender mucho de estudiar un corazón en un frasco. La implicación es que no podremos comprender la dinámica de un corazón vivo si no lo estudiamos en el contexto de sus interacciones con otros órganos, sistemas y condiciones medioambientales. De manera similar, no podremos tener una descripción adecuada de un hospital si no estudiamos las interacciones tanto internas (entre servicios, entre

personal) como externas (institucionales, económicas, políticas). Para poder mejorar el sistema de salud Mexicano, es necesario considerar las interacciones relevantes de sus componentes a distintas escalas. Es necesario estudiarlo como un sistema complejo.

La emergencia y la auto-organización son conceptos muy relacionados con la complejidad. Podemos decir que una propiedad de un sistema es emergente si no está presente en sus componentes. Por ejemplo, el peso de un organismo es simplemente la suma del peso de sus componentes. No hay emergencia. Pero la funcionalidad del corazón de bombear sangre no es una propiedad de sus componentes (células cardíacas). Una célula cardíaca aislada no puede bombear sangre, necesita coordinarse con miles de otras células. Por lo tanto, podemos decir que el bombeo de sangre es una propiedad emergente de las interacciones entre las células cardíacas. En otro ejemplo, podemos decir que la temperatura, maleabilidad, conductividad y el color de una barra de oro son propiedades emergentes, ya que sus componentes (átomos de oro) no cuentan con estas propiedades, pero son un producto de sus interacciones. De manera general, podemos decir que la emergencia es análoga a la generación de información nueva. Mientras mayor sea la información generada por las interacciones, podemos decir que habrá más emergencia (Fernández et al., 2014). Un máximo de emergencia se obtiene cuando la información es aleatoria o caótica, ya que cada interacción produce información nueva, en el sentido de que no puede predecirse a partir de interacciones pasadas.

La auto-organización se da cuando las propiedades de un sistema son el producto de interacciones de sus componentes de manera dinámica y distribuida (Gershenson & Heylighen, 2003). Ejemplos de auto-organización se pueden ver en multitudes, parvadas, cardúmenes y enjambres. Por ejemplo, las células marcapaso se auto-organizan para que el corazón pueda bombear sangre. Una mayor auto-organización se da cuando hay más orden y regularidad. Un orden máximo se obtiene cuando no hay cambios, lo cual implica una información mínima (no se genera información nueva al quedar un sistema "cristalizado"). Por lo tanto, podemos ver a la auto-organización como el inverso de la emergencia. Sin embargo, la complejidad es máxima cuando hay un balance entre emergencia (información nueva, cambio, caos) y auto-organización (información preservada, estabilidad, orden) (Langton, 1990; Kauffman, 1993; López-Ruiz et al., 1995).

La complejidad como balance entre emergencia y auto-organización es deseable, ya que le permite a los sistemas suficiente robustez para mantener sus propiedades, pero suficiente variabilidad para poder adaptarse a cambios de su entorno. Generalizando la ley de la variedad requerida de Ashby (1956), podemos decir que un sistema *requiere* tener una complejidad mayor a la de su entorno para poder ser viable (Beer, 1966). El sistema de salud Mexicano no tiene la complejidad requerida para poder controlar a su entorno (la demanda de servicios de salud). ¿Cómo podemos incrementar la complejidad del sistema de salud Mexicano, o bien reducir la complejidad de la demanda? Antes veamos cuál es el estado actual del sistema de salud.

### **Estado actual**

El sistema de salud Mexicano está conformado por diversas instituciones, incluyendo a las Secretarías e Institutos de Salud (la nacional y las de cada entidad), IMSS, ISSSTE, DIF, PEMEX, Fuerzas Armadas y un gran número de hospitales, clínicas, consultorios y laboratorios privados, además de múltiples programas públicos y privados. En la mayoría de los casos, cada institución tiene relativamente poca coordinación con las demás e incluso dentro de sus propias subunidades. Simplemente, los datos de un paciente fluyen con dificultad o no fluyen entre instituciones.

A su vez, en la mayoría de los casos, cada institución tiene una estructura jerárquica. Hay un secretario o director, con subsecretarios o un consejo y aunque en muchas decisiones a muchas escalas hay cierta autonomía, la jerarquía puede ser limitante para la adaptación de los sistemas (Bar-Yam, 1997; Gershenson, 2008), ya que todo gran cambio tiene que ser aprobado por las partes superiores de la jerarquía. Esta estructura se ilustra en la Figura 1.

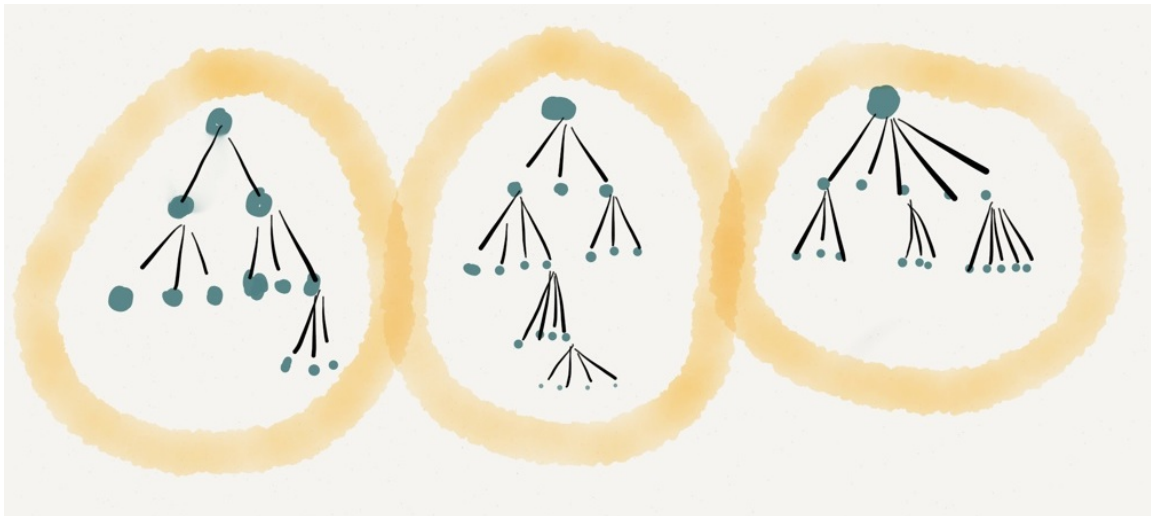


Figura 1. Esquema de la organización del sistema de salud Mexicano: distintas instituciones formadas por jerarquías con pocas interacciones entre ellas.

A nivel interinstitucional, podemos decir que el sistema de salud es demasiado caótico (mucha emergencia y poca auto-organización), ya que las interacciones y la coordinación entre diversas instituciones es limitada. A nivel intrainstitucional, podemos decir que el sistema de salud es demasiado estático (mucha auto-organización y poca emergencia). Sería deseable que el sistema de salud fuese más robusto al nivel interinstitucional y más adaptable a nivel intrainstitucional. Esto puede lograrse fomentando las interacciones interinstitucionales y distribuyendo parcialmente en redes las jerarquías intrainstitucionales (Gershenson, 2008).

Las demandas de atención actuales al sistema de salud se están incrementando rápidamente, principalmente debido a efectos de enfermedades crónico-degenerativas (Stevens et al., 2008). El sistema de salud no ha podido adaptarse a los cambios en las prevalencias de enfermedades. Ya que hay poca coordinación interinstitucional, se limita a tratar las enfermedades y las acciones para tratar de prevenirlas no han sido hasta el momento coordinadas, con efectos limitados. México tiene actualmente uno de los primeros lugares en obesidad y diabetes infantil, la cual ido en aumento en años recientes (Rivera, et al., 2002), lo cual indica que la tendencia de incremento en la prevalencia de enfermedades crónico-degenerativas no cambiará en los próximos años. Una jerarquía a nivel interinstitucional, con un sistema de salud centralizado sería demasiado estática. La coordinación dinámica se puede lograr por medio de la auto-organización. Se necesita

cierta independencia institucional, pero tiene que haber interacciones para alinear esfuerzos. De otra manera, los gastos del sistema de salud no serán costeables para la nación. A nivel interinstitucional, la falta de adaptación de las jerarquías también incrementa los costos y limita la adaptabilidad de las instituciones. La coordinación requerida es no sólo a diversas escalas, sino entre escalas distintas. Se necesita encontrar el balance adecuado entre estabilidad y variabilidad para enfrentar los problemas nacionales de salud.

## **Necesidades**

Aunque se requiera aumentar la auto-organización a nivel interinstitucional y aumentar la emergencia a nivel intrainstitucional, hay distintas medidas que pueden ayudar a lograr ambas cosas.

Las enfermedades crónico degenerativas son complejas, ya que tienen causas múltiples y por lo tanto requieren de prevenciones y curas múltiples (Gershenson, 2011a; Gershenson & Wisdom, 2013). Esto implica que para su tratamiento se requiere de una **medicina personalizada**, ya que cada cáncer o diabetes es distinto y por lo tanto responden de manera distinta a los mismos tratamientos. Algo similar sucede con las enfermedades mentales. Cada enfermedad compleja requiere de un tratamiento complejo.

Para poder ofrecer una medicina personalizada, se requieren **datos**. Los grandes datos (Mayer-Schönberger & Cukier, 2013) permiten detectar patrones de coocurrencia de diversos factores y evaluar los efectos de distintas intervenciones y tratamientos en distintos casos de manera masiva.

¿Cómo conseguir millones de datos de ciudadanos mexicanos? Es necesario que se genere un **expediente clínico electrónico** que sea compatible interinstitucionalmente e intrainstitucionalmente. Ha habido experiencias negativas en el Reino Unido y otros países, pero otras positivas en Estonia, Dinamarca, Países Bajos, Jordania, y Emiratos Árabes. Otros países como Canadá, Australia, India y muchos otros Europeos están en proceso de integrar un expediente electrónico y su sistema de salud a distintas escalas. Tanto de los casos de éxito como los de fracaso puede aprenderse e impulsar el expediente clínico como una prioridad nacional, ya que permitirá no sólo mejorar los

tratamientos de los pacientes. Los grandes datos también servirán para detectar factores de riesgo y de prevención de diversas enfermedades. Más aún, son los datos los que pueden facilitar la "portabilidad" de pacientes y la coordinación interinstitucional.

Ciertamente la privacidad de los datos personales de salud es un tema delicado, pero hay propuestas al respecto. Por ejemplo, de Montjoye, et al. (2014) sugieren que los datos sean propiedad de los ciudadanos, no de las instituciones de salud, públicas o privadas.

Las coordinaciones interinstitucional e intrainstitucional requieren no sólo de datos. Sin embargo, al tener infraestructuras informáticas, es posible explotar los rastros digitales para detectar automáticamente ineficiencias en el sistema a todas las escalas e implementar o sugerir cambios necesarios para incrementar la eficiencia. A continuación detallamos cómo.

## **Alternativa**

El balance requerido entre emergencia y auto-organización para los sistemas de salud puede lograrse con la tecnología actual (Gershenson, 2007). Con la digitalización de distintos sistemas de gestión, se pueden monitorear no sólo el estado de los componentes de los sistemas a distintas escalas, sino sus interacciones y cómo afectan las interacciones a los estados. Con algoritmos sencillos, se pueden detectar y adaptar automáticamente ineficiencias a escalas múltiples (Gershenson, 2008), lo cual puede llevar a un sistema a funcionar de manera óptima o casi óptima (Zubillaga, et al., 2014).

La metodología propuesta (Gershenson, 2007) nos dice que se deben de identificar *agentes* a distintas escalas. Un agente puede ser un individuo, un departamento, una institución, o el mismo sistema de salud. Podemos definir *metas* de los agentes a cada escala. Es posible medir con una variable de "*satisfacción*" qué tanto se han alcanzado las metas (Gershenson, 2011b). En algunos casos, podría haber conflictos entre las metas de distintos agentes, causadas por interacciones negativas que reducen la satisfacción denominadas *fricción*. Hay también interacciones entre agentes que contribuyen a que se incremente la satisfacción, teniendo lugar *sinergia*. Si regulamos con *mediadores* las interacciones de manera tal que se inhiba la fricción y se promueva la sinergia, entonces

incrementaremos la satisfacción (alcanzaremos mejor las metas) del sistema, i.e. un agente de escala superior.

Por ejemplo, en un hospital podemos identificar agentes a nivel de departamentos (urgencias, enfermería, almacén, imagenología, laboratorio, etc.). El buen funcionamiento del hospital depende de una coordinación adecuada entre los agentes, los cuales tienen metas particulares, e.g. atender pacientes urgentes, realizar análisis de manera eficaz, etc. Si sólo intentamos incrementar la eficiencia de los departamentos sin regular sus interacciones, fracasaremos rotundamente, ya que como se ha mencionado, el funcionamiento de cada departamento depende también de sus interacciones con otros departamentos. Por ejemplo, urgencias no podrá alcanzar sus metas si no hay enfermeras disponibles o si hay retrasos en imagenología o si el almacén está desabastecido. La complejidad del hospital es tal y cambia a tal velocidad que los administradores no pueden enfrentarla. Sin embargo, con un sistema de rastros digitales, se podría medir el desempeño y detectar retrasos, faltantes, fallas, errores y cuellos de botella en la mar de interacciones que se dan a distintas escalas. Para muchos de estos casos puede haber respuestas automáticas (e.g. hacer pedidos a proveedores cuando el inventario baje de ciertos umbrales, los cuales se pueden aprender automáticamente con los patrones de consumo), para otros puede haber sugerencias (e.g. reasignar personal de terapia intensiva pediátrica a perinatología los fines de semana), y en otros casos simplemente ofrecer información relevante (e.g. no hay enfermeras suficientes en el turno vespertino. Este faltante genera retrasos de 25 minutos por paciente y 15 minutos por médico. Se requieren dos enfermeras para eliminar estos retrasos).

Además de detectar y reducir fricción y promover sinergia, un sistema de salud debería de adaptarse a sí mismo para ajustar la complejidad requerida de agentes a distintas escalas (Bar-Yam, 2006). Por ejemplo, la medicina preventiva es en su mayoría de baja complejidad, ya que requiere de tareas repetitivas y puede ofrecerse de manera masiva, e.g. vacunación o análisis. Por otro lado, el tratamiento de enfermedades infecciosas es de una complejidad mediana, ya que puede haber tratamientos distintos dependiendo del caso clínico de cada paciente, por lo que los médicos deben de tener una capacitación más extensa a la del personal que ofrece medicina preventiva. Para el tratamiento de enfermedades complejas, donde se requiere ofrecer una medicina

personalizada porque cada caso es distinto, no es suficiente un médico experto. Se requieren varios, coordinados por un sistema de salud eficiente. Más aún, habrá casos particulares de prevención o enfermedades infecciosas que requieran de una complejidad mayor a la media, por lo que un sistema de salud eficiente deberá poder convocar a los expertos requeridos cuando sea necesario.

## **Factibilidad**

Las propuestas expuestas podrían parecer inalcanzables, pero la tecnología para desarrollarlas ya está disponible. Hay sistemas de expediente electrónico abiertos, (e.g. <http://health.gnu.org>), de manejo de datos, y de privacidad de la información (de Montjoye et al., 2014). Las redes distribuidas de cómputo, las cuales consisten en varias computadoras interconectadas, son muy comunes. No es necesario tener un sistema centralizado de manejo de información: cada dependencia puede manejar su propia información e interactuar interinstitucionalmente de manera fluida. Se pueden usar sensores RFID para monitorear las actividades y las existencias dentro de las instituciones. El obstáculo más grande es el factor humano.

Por un lado, el personal de distintos niveles tendría que estar consciente de los beneficios que un sistema de salud digital integrado brindaría al país, a sus pacientes y a ellos mismos, al facilitar su trabajo. A una escala política, los tomadores de decisiones deben de cobrar conciencia de la relevancia de las deficiencias del sistema de salud nacional y de los pasos requeridos para solucionarlas. No es necesario fusionar a todas las instituciones en un sistema de salud unificado. De hecho esto podría ser contraproducente, al instaurar una jerarquía sobre las jerarquías existentes. Sería sano para el sistema de salud mantener instituciones independientes, pero tiene que haber coordinación impulsada por todos. Si nos imaginamos a nuestro sistema de salud como un cardumen de peces, ahora cada pez nada en otra dirección. Necesitamos que todos naden coordinados, en la misma dirección pero que también puedan cambiar de dirección al mismo tiempo, pudiéndose adaptar pero manteniendo cohesión.

## **Conclusiones**



En este capítulo se propone comprender al sistema de salud Mexicano como un sistema complejo. Desde esta perspectiva, es posible ofrecer mejoras considerables para atender grandes problemas nacionales de salud.

Se propone:

1. Desarrollar un expediente médico electrónico compatible a nivel nacional.
2. Desarrollar sistemas mediadores para detectar fricción, promover sinergia y medir complejidad requerida a distintos niveles.
3. Ofrecer la opción a los ciudadanos y a las instituciones de compartir sus datos para estudios científicos de grandes datos.
4. Ofrecer medicina personalizada a los pacientes para enfrentar enfermedades complejas.
5. Ofrecer medicina preventiva coordinada a nivel nacional.

Un sistema de salud que cumpla con estas metas será auto-organizante porque estará regulando su propio comportamiento y funcionamiento a distintas escalas de manera robusta. Será emergente porque podrá producir soluciones nuevas a los problemas actuales y por venir, adaptándose ágilmente. Este balance entre auto-organización y emergencia nos permitirá enfrentar la complejidad requerida del sistema de salud (Gershenson, 2014).

## Referencias

- Ashby, W. R. (1956). *An Introduction to Cybernetics*. Chapman & Hall, London.
- Bar-Yam, Y. (1997). *Dynamics of Complex Systems*. Studies in Nonlinearity. Westview Press, Boulder, CO, USA.
- Bar-Yam, Y. (2006). Improving the effectiveness of health care and public health: A multi-scale complex systems analysis. *American Journal of Public Health* 96 (3): 459–466.
- Beer, S. (1966). *Decision and Control: The Meaning of Operational Research and Management Cybernetics*. John Wiley and Sons, New York.
- de Montjoye Y-A, Shmueli E, Wang SS, Pentland AS (2014) openPDS: Protecting the Privacy of Metadata through SafeAnswers. *PLoS ONE* 9(7):

e98790.

- Fernández, N., Maldonado, C. & Gershenson, C. (2014). Information measures of complexity, emergence, self-organization, homeostasis, and autopoiesis. En *Guided Self-Organization: Inception*, M. Prokopenko, (Ed.). *Emergence, Complexity and Computation*, vol. 9. Springer, Berlin Heidelberg, 19–51.
- Gershenson, C. (2007). *Design and Control of Self-organizing Systems*. CopIt Arxives, Mexico.
- Gershenson, C. (2008). Towards self-organizing bureaucracies. *International Journal of Public Information Systems* 2008 (1): 1–24.
- Gershenson, C. (2011a). Epidemiología y las redes sociales. *Cirugía y Cirujanos*, 79(3):199–200.
- Gershenson, C. (2011b). The sigma profile: A formal tool to study organization and its evolution at multiple scales. *Complexity* 16 (5): 37–44.
- Gershenson, C. (2013). The implications of interactions for science and philosophy. *Foundations of Science* 18 (4): 781–790.
- Gershenson, C. (2014). Enfrentando a la complejidad: Predecir vs. adaptar. En Massip, A. and Bastardas, A., (Eds.), *Complexica: cervell, societat i llengua des de la transdisciplinarietat*. En prensa.
- Gershenson, C. & Heylighen, F. (2003). When can we call a system self-organizing? En *Advances in Artificial Life, 7th European Conference, ECAL 2003 LNAI 2801*, W. Banzhaf, T. Christaller, P. Dittrich, J. T. Kim, and J. Ziegler, (Eds.). Springer, Berlin, pp. 606–614.
- Gershenson, C. & Wisdom, T. (2013). Previniendo enfermedades crónico-degenerativas con vacunas sociales. *Cirugía y Cirujanos*, 81(2):83–84.
- Kauffman, S. A. (1993). *The Origins of Order*. Oxford University Press, Oxford, UK.
- Langton, C. G. (1990). Computation at the edge of chaos: Phase transitions and emergent computation. *Physica D* 42: 12–37.
- Lopez-Ruiz, R., Mancini, H. L., and Calbet, X. (1995). A statistical measure of complexity. *Physics Letters A* 209 (5-6): 321–326.
- Mayer-Schönberger, V., & Cukier, K. (2013). *Big data: A revolution that will*

transform how we live, work, and think. Houghton Mifflin Harcourt.

- Rivera, J. A., Barquera, S., Campirano, F., Campos, I., Safdie, M. & Tovar, V. (2002). Epidemiological and nutritional transition in Mexico: rapid increase of non-communicable chronic diseases and obesity. *Public Health Nutrition* 5(1A): 113–122.
- Stevens, G., Dias, R. H., Thomas, K. J. A., Rivera, J. A., & Carvalho, N. (2008). Characterizing the epidemiological transition in Mexico: national and subnational burden of diseases, injuries, and risk factors. *PLoS Med* 5:e125.
- Zubillaga, D., Cruz, G., Aguilar, L. D., Zapotécatl, J., Fernández, N., Aguilar, J., Rosenblueth, D. A., and Gershenson, C. (2014). Measuring the complexity of self-organizing traffic lights. *Entropy* 16 (5): 2384–2407.