

# Teoría de sistemas y “pensamiento complejo”

Jorge Riechmann



- # Decimos a veces que necesitamos una **ontología relacional, evolutiva y sistémica**.
- # La parte evolutiva: nuestra lectura de Wolfgang Welsch.
- # La parte relacional: podemos valernos de Arne Naess.
- # Vamos a pensar a lo largo de esta lección en la parte sistémica.

# Índice

---

- # 1. Enfoque sistémico para estudiar totalidades complejas
  - # 2. ¿Qué son los sistemas?
  - # 3. Propiedades emergentes y bucles de realimentación
  - # 4. Umbrales y cambios de estado
  - # 5. Epigénesis
  - # 6. Pensamiento sistémico
  - # 7. Independencia a partir de la dependencia
  - # 8. Recapitulación final: siete principios de la mano de Edgar Morin
-



# **#1. Enfoque sistémico para estudiar totalidades complejas**



# Enfoque sistémico

---

- # En el decenio de los cuarenta del siglo XX emerge un nuevo punto de vista o “paradigma” (si empleamos este término en sentido laxo) dentro de las ciencias: el **enfoque sistémico**.
- # Frente al talante analítico y reductivo de la ciencia clásica, el enfoque sistémico pone a la orden del día el **estudio de las totalidades complejas**.

# Por ejemplo, un ecosistema

---

- # El conjunto de los seres vivos (**biocenosis**) en su medio ambiente (**biotopo**) constituye un **sistema que se organiza a sí mismo**.
- # Relaciones entre diferentes especies: asociación (simbiosis, parasitismo...), complementariedad (entre predadores y presas, por ejemplo)...
- # Intercambios de materia y energía, jerarquías, regulaciones... Se crea un sistema con sus determinismos, sus interacciones, sus ciclos, sus probabilidades, sus contingencias.

# Exploración científica de “todos” y “totalidades”

“La ciencia clásica procuraba aislar los elementos del universo observado –compuestos químicos, enzimas, células, sensaciones elementales, individuos en libre competencia y tantas cosas más–, con la esperanza de que volviéndolos a juntar, conceptual o experimentalmente, resultaría el sistema o totalidad –célula, mente, sociedad– y sería inteligible. Ahora hemos aprendido que para comprender no se requieren sólo los elementos sino las relaciones entre ellos –digamos, la interacción enzimática en una célula, el juego de muchos procesos mentales conscientes e inconscientes, la estructura y dinámica de los sistemas sociales, etc. (...) La teoría general de los sistemas es la exploración científica de 'todos' y 'totalidades' que no hace tanto se consideraban nociones metafísicas que salían de las lindes de la ciencia.”

Ludwig von Bertalanffy: *Teoría general de los sistemas*, FCE, México 1981, p. xiii-xiv.

# Von Bertalanffy, el fundador de la filosofía sistémica

---

- ✦ La introducción clásica a la teoría de sistemas sigue siendo la *Teoría general de los sistemas* del biólogo austriaco Karl Ludwig von Bertalanffy (1901-1972).
- ✦ La primera edición inglesa de este libro seminal es de 1968, pero alguno de los escritos más antiguos que reelabora se publicó en fecha tan temprana como 1940.
- ✦ Von Bertalanffy avanzó la idea de una *teoría general de sistemas* en 1945-47, y la *Sociedad para la Investigación General de Sistemas* se fundó en 1954.



# Dos escuelas de pensamiento a partir de la cibernética

---

- # La otra gran raíz de la teoría de sistemas (además del enfoque filosófico de von Bertalanffy) es la **cibernética**.
- # Fritjof Capra: “De la cibernética surgieron dos escuelas de pensamiento, ambas teorías de sistemas. Una es la escuela asociada con John von Neumann, que fue un genio matemático, el inventor del ordenador (...). Esta escuela de pensamiento sigue siendo una teoría mecanicista de sistemas; (...) creó el modelo de organismos vivos como máquinas procesadoras de información.”

En la imagen: Wiener



- # “La otra escuela se halla ligada a Norbert Wiener, y parte del concepto de **autoorganización**. Considera los sistemas vivos como autoorganizados.
- # En los años cuarenta y cincuenta [del siglo XX] y en las décadas que siguieron, la escuela de John von Neumann se impuso con el gran éxito de la cibernética, el desarrollo de los ordenadores, los sistemas *input-output* y todo lo demás.”

- # “La escuela de autoorganización experimentó una interrupción en su desarrollo y pasó desapercibida hasta comienzos de los años sesenta. Por lo que se refiere a los sistemas vivos, ésta es ahora la escuela más interesante de pensamiento.
- # Se considera la autoorganización –en otras palabras, autonomía– como la característica definidora de la vida, y esta noción ha sido explorada en una variedad de contextos, desde el nivel de las células (Humberto Maturana, Francisco Varela)” en adelante... Fritjof Capra y David Steindl-Rast, *Pertenecer al universo*, EDAF, Madrid 1994, p. 101.

# Holismo y propiedades emergentes

- # “El todo es más que la suma de las partes” (en sociología Durkheim, por ejemplo, podría encarnar el holismo). Aunque ello está abierto a interpretación: Harry Alpert y Raymond Boudon lo caracterizarían como un “relacionalista realista”, para quien la realidad social está constituida por los sistemas concretos de interacción social. Cf. *La logique du social*, p. 39. Una oración interesante pero imprecisa.
- # **Propiedades emergentes** o sistémicas: una totalidad posee propiedades de las que carecen sus partes componentes.
- # Ejemplos sociales: la organización de una fábrica o la historia de una nación.
- # Ejemplos psicológicos: la percepción, los sentimientos o la ideación (respecto de los sistemas neuronales).

# Por ejemplo, el agua: no podemos predecirla...

---

- # “El agua es la sustancia más común en la biosfera y en el organismo humano, pero también es la más insólita, con una serie de propiedades únicas (‘anómalas’ según los científicos) sin las cuales la vida sería química y físicamente imposible.
- # Cuando el agua se congela se expande y se vuelve menos densa (alcanza su mayor densidad a 4°C); de no ser así, el hielo en vez de flotar se hundiría y se extendería por el fondo marino, dejándolo sin vida.”

# ...a partir de lo que sabemos...

---

- # “El hielo asombra por sus propiedades deslizantes y por su viscosidad (podemos hacer bolas de nieve pero no bolas de arena). Y cuando se comprime cristaliza en un mínimo de doce estructuras (del hielo 1 al hielo 12) con propiedades distintas.
- # El agua tiene puntos de fusión y ebullición insólitamente altos, y se calienta y se enfría mucho más lentamente que la mayoría de las sustancias conocidas, líquidas o sólidas.
- # Es muy corrosiva y lo disuelve casi todo.”

# ...sobre el oxígeno y el hidrógeno

---

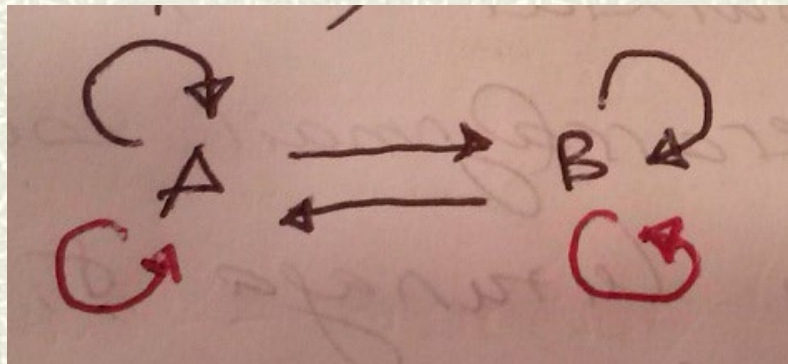
- # “A nivel molecular está mucho más estructurada que la mayoría de los líquidos, semejante a un cristal. Los copos de nieve tienen (casi siempre) seis ramificaciones más o menos idénticas, pero cada copo presenta un diseño distinto: cada nevada es un derroche de creatividad geométrica.
- # (...) Tan escurridiza es el agua que su molécula no se deja simular con precisión en el ordenador. Tampoco es posible reproducir el agua de mar en el laboratorio.”

- # “Y contra lo que cabría esperar, dos corrientes que confluyen tienden a no mezclarse y a mantener su propio curso, incluso en el fondo oceánico.
- # No sería posible predecir el agua a partir de todo lo que sabemos sobre el hidrógeno y el oxígeno.” Jordi Pigem, *Buena crisis*, Kairós, Barcelona 2009, p. 110-111.



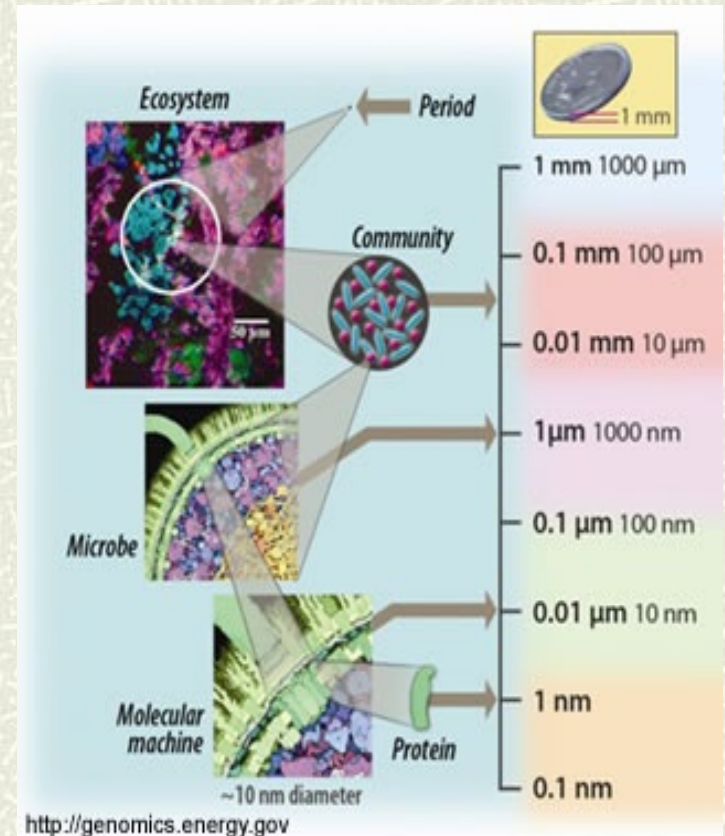
# Ciencia newtoniana/ ciencia de la complejidad

- # La ciencia newtoniana se centra en **relaciones lineales causa-efecto y una imagen mecánica del mundo**. Cabe simbolizar así las relaciones básicas:  $A \rightarrow B$
- # Pero en la realidad (**complejidad, dinámicas sistémicas, propiedades emergentes, coevolución**) lo que hallamos sería más bien algo semejante a esto:



# Propiedades emergentes

# **Emergencia fuerte:** el comportamiento de un sistema multipartito no es reducible al comportamiento agregado de todas esas partes. Cf. Sean Carroll, *El Gran Cuadro, Pasado & Presente*, Barcelona 2017, cap. 13.



# Los organismos son biosistemas y tienen propiedades emergentes:

---

- # Mantienen un medio interno bastante constante
- # Las actividades de sus partes están coordinadas
- # Pueden, hasta cierto punto, repararse a sí mismos
- # En principio, pueden reproducirse
- # Cooperan en algunos aspectos y compiten en otros
- # Están sometidos a evolución...

# Componente débil del holismo: su posición antianalítica

---

- ✦ Pero no es que “el todo determine las partes”. Desde la perspectiva sistémica, más bien **son las interacciones entre las partes las que determinan el todo**, el cual, a su vez, **condiciona el comportamiento de las partes**.
- ✦ **El componente más débil del holismo es su posición antianalítica**: el análisis —ya sea conceptual o empírico— es inherente a todas las ciencias (y a las humanidades).
- ✦ La perspectiva sistémica recoge el elemento de verdad del holismo.

# El antiguo paradigma mecanicista

---

- # En la ciencia del siglo XIX y de los primeros decenios del siglo XX predomina la idea del **mundo como caos**, según la cual la vida es un producto accidental de procesos físico-químicos, y la mente mero epifenómeno.
- # Se trata del **paradigma analítico, positivista, mecanicista y unidireccionalmente causal** de la ciencia clásica.

# El mundo como gran organización

---

- # Frente a esta concepción mecanicista surge desde el enfoque sistémico una interpretación del **mundo como gran organización**: como una jerarquía de niveles complejamente organizados.
- # En suma, una interpretación en términos de sistemas. ¿Pero qué son sistemas?



---

## **#2. ¿Qué son los sistemas?**

---

# ¿Qué es un sistema?

---

- # Como primera aproximación, y si se quiere una definición muy sencilla pero no trivial, sistema es un **conjunto de elementos en interacción**.
- # Con más precisión: sistema es una totalidad, compuesta por elementos y relaciones entre estos elementos, en la que **las relaciones entre los elementos son más importantes que los elementos mismos**.



# Precisamente éste es el punto de vista que adopta la ciencia ecológica.

# Así, el ecólogo Ramón Margalef señala que en el estudio de los ecosistemas “interesa más el conocimiento de las relaciones entre los elementos interactuantes que la naturaleza exacta de estos

**elementos**, los cuales son estudiados por alguna otra ciencia que explica sus características en función de las relaciones entre componentes de un orden inferior. En ecología no hay que preocuparse demasiado por la organización de los seres que forman los ecosistemas y la biosfera entera, y si se desea saber sobre ellos suele acudir a la información que proporcionan las ciencias que los estudian expresamente como la botánica, la zoología o la bacteriología.”

Ramón Margalef: *Ecología*, Planeta, Barcelona 1981, p. 16.

# La definición de Mario Bunge

---

“Un **sistema** es un todo complejo cuyas partes o componentes están relacionadas de tal modo que el objeto se comporta en ciertos aspectos como una unidad y no como un mero conjunto de elementos. Y un **sistema concreto** es un sistema cuyos componentes son objetos concretos o cosas. Cada uno de los componentes de un sistema concreto influye sobre algunos otros componentes del sistema.” Mario Bunge: *Epistemología*, Ariel, Barcelona 1980, p. 101

# De todo sistema puede analizarse...

- # su **composición** (conjunto de sus partes)
- # su **entorno** (conjunto de objetos distintos de sus componentes y relacionados con estos)
- # su **estructura** (conjunto de relaciones entre los componentes, y entre estos y los elementos del entorno)
- # y su **mecanismo** (conjunto de procesos que le son peculiares; aquello que lo hace funcionar).

Mario Bunge, *Crisis y reconstrucción de la filosofía*, Gedisa, Barcelona 2002, p. 91.

# Niveles de organización de la realidad

---

- # Bunge –en su libro *Epistemología*– prosigue distinguiendo diversos géneros de sistemas concretos, cada uno de los cuales constituye un nivel de organización de la realidad:
- # (A) FISIOSISTEMAS como una roca y un campo magnético;
- # (B) QUIMIOSISTEMAS como una hoguera y una batería eléctrica;

- # (C) BIOSISTEMAS tales como una bacteria y un banco de coral;
- # (D) PSICOSISTEMAS tales como un pájaro y un mamífero;
- # (E) SOCIOSISTEMAS tales como una tropa de macacos y una comunidad humana;
- # (F) TECNOSISTEMAS tales como una fábrica y un hospital.

# Ecosistemas

---

- # En ecología la noción más importante es la de ecosistema (cierta clase de biosistemas).
- # Un **ecosistema** es el conjunto formado por comunidades vivientes de muchos microorganismos, plantas y animales que interactúan en un ambiente físico, el cual proporciona un escenario de características definibles.

# Biosfera

---

- # Todo ecosistema puede interpretarse en términos de la superposición de un ciclo y un flujo: **un ciclo (más o menos) cerrado de materia y un flujo abierto de energía**, ambos regulados por los organismos vivos a través de los **eslabones tróficos** (productores, consumidores y descomponedores).
- # El conjunto de los ecosistemas forman la **biosfera**.

# Sociosfera, tecnosfera

---

- # Al conjunto de los sociosistemas humanos podemos llamarlo **sociosfera**.
- # El conjunto de los tecnosistemas humanos es la **tecnosfera**.
- # Vivimos en **sociedades complejas**.
- # Pero esto no es algo que se haya inventado Edgar Morin: ya fue reconocido con lucidez por Karl Polanyi (1886-1964). Cf. el último capítulo de su clásica obra *La gran transformación* (1944), titulado precisamente “La libertad en una sociedad compleja”.



# Dos criterios para reconocer si algo es un sistema

---

“Para reconocer si una cosa u objeto concreto es un ente simple, o bien un mero agregado (o conglomerado), o bien un sistema, se puede recurrir a uno u otro de los criterios siguientes. Primer criterio: una cosa es un sistema si y sólo si se comporta como un todo en ciertos aspectos, o sea, si tiene leyes propias en cuanto totalidad. Segundo criterio: una cosa es un sistema si y sólo si su comportamiento cambia apreciablemente cuando se quita uno de sus componentes o se reemplaza por otro de clase diferente.” Mario Bunge: *Epistemología*, Ariel, Barcelona 1980, p. 102.



---

# **#3. Propiedades emergentes y bucles de realimentación**

---

# Propiedades emergentes

- # Muy característico de los sistemas es la aparición de propiedades emergentes. Podemos definir las del siguiente modo:
- # P es una **propiedad resultante o hereditaria** de x si y sólo si también algunos componentes de x poseen P;
- # P es una **propiedad emergente o colectiva** de x si y sólo si ningún componente de x posee P. Mario Bunge: *Epistemología*, Ariel, Barcelona 1980, p. 120.

- # **Importa resaltar que algunas de las propiedades de cualquier sistema son emergentes, por la propia def. de sistema.**
- # **Así, por ejemplo, los seres vivos son emergentes respecto de los sistemas bioquímicos, éstos respecto de los químicos, y a su vez éstos lo son respecto de los físicos.**

# Bucles de retroalimentación

---

- # Una noción básica y central en teoría de sistemas es la de los **bucles de retroalimentación** o realimentación (*feedback loops*). La idea viene de la cibernética...
- # “Estamos acostumbrados por la experiencia de la vida a aceptar que existe una relación entre causa y efecto.
- # Algo menos familiar es la idea de que un efecto puede, directa o indirectamente, ejercer influencia sobre su causa.”

# Efectos que actúan sobre las causas

- # “Cuando esto sucede, se llama realimentación (*feedback*). Este vínculo es a menudo tan tenue que pasa desapercibido.
- # La causa-efecto-causa, sin embargo, es un bucle sin fin que se da, virtualmente, en cada aspecto de nuestras vidas, desde la homeostasis o autorregulación, que controla [entre otros parámetros] la temperatura de nuestro cuerpo, hasta el funcionamiento de la economía de mercado.” Jane King y Malcolm Slesser, *No sólo de dinero... La economía que precisa la Naturaleza*, Icaria, Barcelona 2006, p. 54.

# Realimentación positiva y negativa

---

- # Si son **bucles positivos**, tienden a hacer crecer un sistema y desestabilizarlo (en esa medida, y si se me permite la broma, los bucles positivos resultan negativos).
- # Si se trata de **bucles negativos** tienden a mantener la integridad de un sistema y estabilizarlo.
- # Los primeros son “revolucionarios” y los segundos “conservadores”.

# Para la estabilidad de los sistemas

- # “La realimentación positiva sin límite, al igual que el cáncer, contiene siempre las semillas del desastre en algún momento del futuro. [Por ejemplo: una bomba atómica, una población de roedores sin depredadores...]
- # Pero en todos los sistemas, tarde o temprano, se enfrenta con lo que se denomina realimentación negativa. Un ejemplo es la reacción del cuerpo a la deshidratación. (...)
- # En el corazón de todos los sistemas estables existen en funcionamiento uno o más bucles de realimentación negativa.” Jane King y Malcolm Slesser, *No sólo de dinero... La economía que precisa la Naturaleza*, Icaria, Barcelona 2006, p. 56.



# Ejemplo de realimentación positiva (*positive feedback*)



# Algunos ejemplos de bucles estabilizadores (realimentación negativa)

---

- # Ejemplo: **sudar** para mantener constante la temperatura corporal.
  - # Un **termostato** para mantener constante la temperatura de una alcoba...
  - # El **infanticidio selectivo** para mantener constante la población, en algunas culturas sometidas a ciertas condiciones ambientales.
-

# Ejemplo: la hipótesis Gaia (o Gea)...

- # La hipótesis Gaia, “enunciada por vez primera por el biólogo James Lovelock, ve el mundo natural como un sistema dinámico de realimentaciones positivas y negativas que actúan entre sí. Una suerte de homeostasis global, similar a la que mantiene nuestros cuerpos en equilibrio químico y dentro de un estrecho margen de temperatura. La hipótesis de Gaia explica por ejemplo cómo el porcentaje de oxígeno en la atmósfera se mantiene en torno al 21% y por qué ha sido así desde hace aproximadamente trescientos millones de años.”

# ...y la estabilidad de la proporción de oxígeno en la atmósfera

---


- # “Y bien que sea así, porque si creciese hasta un 25% la vegetación se incendiaría, y si bajase a un 17% los animales y los seres humanos no podrían sobrevivir.
  - # (...) Así es como sucede: cuando las plantas absorben dióxido de carbono, liberan oxígeno. La causa es la fotosíntesis; el oxígeno es un efecto. Otro es que el carbono queda retenido en la biomasa vegetal.
  - # Si este proceso continuase indefinidamente, la proporción de oxígeno crecería sin parar y las plantas reaccionarían fijando menos dióxido de carbono, al ser éste menos abundante: una realimentación negativa (...).”
-

- # “Sin embargo, el oxígeno también desaparece cuando reacciona con rocas recién expuestas y finalmente se sumerge en los océanos, donde los organismos lo limpian. Luego, estos mueren y, en ausencia de aire, se descomponen de forma anaerobia, liberando metano, el cual, una vez alcanzada la atmósfera, reacciona con el oxígeno para producir dióxido de carbono.
- # Así, la atmósfera habitable de la Tierra se mantiene mediante una compleja cadena de realimentaciones positivas y negativas. La periodicidad de este ciclo es del orden de miles de años.” Jane King y Malcolm Slesser, *No sólo de dinero... La economía que precisa la Naturaleza*, Icaria, Barcelona 2006, p. 58-59.

# Fenómenos de no-linealidad

---

- # Ferrán Puig-Vilar: “Estamos programados culturalmente para suponer una linealidad en los fenómenos. A doble causa corresponde doble efecto. (...) Sin embargo, tanto los fenómenos de la naturaleza como los sociales, y desde luego la interacción entre ambos, tienen carácter sistémico, y muchas veces evolucionan exponencialmente.”
-



---

# “Un sistema contiene, de forma general, lazos de retroalimentación. En ellos, el efecto resultante (respuesta) de una causa (perturbación del sistema) produce a su vez una variación en la intensidad de la propia causa que la produce, de tal forma que el efecto o bien resulta atenuado (retroalimentación negativa) o aumentado (retroalimentación positiva). Esta sola característica está en el origen de la forma exponencial –o sea, no lineal– de la evolución de la respuesta a la perturbación.”

---

- # “Se ha demostrado que somos muy torpes al evaluar las respuestas exponenciales más simples (...). También sabemos que en el sistema climático de la Tierra predominan abrumadoramente los lazos de retroalimentación positiva, en los que el efecto amplifica la causa. Además un sistema contiene, de forma general, retardos, lo que significa que puede transcurrir un lapso de tiempo entre la aparición de la perturbación y la manifestación de la respuesta...” Ferrán Puig Vilar, “¿Reducir emisiones para combatir el cambio climático? Depende”, en *mientras tanto* 117 (monográfico sobre *Los límites del crecimiento: crisis energética y cambio climático*), Barcelona 2012, p. 98. En las siguientes páginas este investigador desarrolla con cierto detalle el funcionamiento del sistema climático de la Tierra.



# Realimentación positiva, realimentación negativa y azar

- # **Bucles de retroacción –o realimentación— positiva**, que son mecanismos de autorrefuerzo;
- # **bucles de retroacción negativa**, que son mecanismos de reequilibrio;
- # **y azar**. Dice Peter M. Allen que **con esos tres mimbres sistémicos se teje el cesto de la vida en el universo**: la perspectiva es interesante. Lo menciona Juan Antonio Rivera en *El gobierno de la fortuna. El poder del azar en la historia y en los asuntos humanos*, Crítica, Barcelona 2000, p. 353.



---

# **#4. Umbrales y cambios de estado**

---

# El ejemplo del calentamiento global

---

- # Nuestra mayor inquietud es que los cambios dejen de ser lentos y graduales para convertirse en **rápidos, descontrolados, no lineales y abruptos**, una vez sobrepasado uno o varios *tipping points* (puntos de inflexión, o más bien de vuelco) que desencadenen **potentes realimentaciones positivas del calentamiento**.

# No linealidad y puntos sin retorno

- # No linealidad quiere decir que **puede haber cambios bruscos desde un estado a otro muy diferente, cuando se sobrepasan ciertos umbrales.** Anthony D. Barnosky y otros, “Approaching a state shift in Earth’s biosphere”, *Nature* vol. 486, del 7 de junio de 2012.
- # Superado cierto umbral (*tipping points*), el calentamiento gradual podría disparar varios de estos mecanismos, lo que conduciría a un cambio rápido, incontrollable y seguramente catastrófico. Tenemos todas las razones para temer estarnos acercando a ese punto sin retorno...

# Luis González Reyes insiste en que el cambio climático no es un proceso lineal

---

# “Pasado un umbral determinado (que probablemente esté en un incremento de temperatura de 1’5°C, del que ya estamos muy cerca), va a dar igual cuantas emisiones realice el metabolismo humano, porque el propio planeta se convertirá en emisor neto de gases de efecto invernadero. Y esto no cesará hasta alcanzar otro nuevo equilibrio 4-6°C superior al preindustrial, que haría inhabitable para el ser humano la gran mayoría de la Tierra. Como se ve, no es en absoluto irrelevante si se supera dicho umbral”. LGR, “Cambios sistémicos para crisis sistémicas”, *El Salto*, 3 de agosto de 2020; <https://www.elsaltodiario.com/mecambio/cambios-sistemicos-para-crisis-sistemicas>

# Otro ejemplo: umbrales en el proceso de desertización de un territorio

---

# “Casi la cuarta parte de la superficie terrestre está a punto de convertirse en desierto para finales de siglo. El proceso de desertización, además, no será gradual sino abrupto. Según un estudio liderado por científicos españoles, el calentamiento inducido por el cambio climático acumula pequeños cambios hasta que una tierra árida se convierte en desértica. Una vez pasado ese umbral, ya no hay vuelta atrás.”

# “(...) Lo más novedoso quizá de esta investigación es el carácter abrupto de estos cambios de estado identificados con una serie de umbrales de aridez que, una vez pasado, hacen que todo el ecosistema cambie. El estudio detecta tres valores en el camino al desierto: el paso a un grado de aridez de 0,54, otro en el cociente de 0,69 y, ya en la antesala desértica, 0,83.

# “Las tierras áridas que superan un cociente de aridez de 0,54 entran en una nueva fase caracterizada por un cambio generalizado de la vegetación. Por ejemplo, al escasear el agua, las especies dominantes cambian, la hoja se encoge y redondea. Esto reduce la cantidad de fotosíntesis que pueden realizar las plantas y esto genera toda una cascada de efectos. Estas nuevas especies pueden, por ejemplo, no atraer a las aves de siempre, con lo que uno de los mecanismos para la dispersión de semillas se ve alterado...”



- “Pero si el umbral de aridez que se alcanza es el de 0,69 se produce otro descenso abrupto que hace que los suelos sean menos fértiles y más erosionables. ‘El suelo es el soporte esencial de las plantas, y por extensión del ecosistema’, apunta Manuel Delgado-Baquerizo, de la Universidad Pablo de Olavide y coautor del estudio. ‘Una vez que este umbral de aridez se sobrepasa se ven afectados de golpe muchos atributos fundamentales del ecosistema. Las plantas que sobreviven son principalmente arbustos que son capaces de obtener agua en capas profundas del suelo. Los microorganismos del suelo, que desempeñan un papel fundamental en el reciclado de nutrientes, cambian radicalmente, con un aumento de abundancia relativa de especies patógenas a expensas de especies beneficiosas como los hongos micorrícicos. El suelo pierde su estructura y es más vulnerable a la erosión’, añade.”

# “El desierto llega cuando se supera el umbral de 0,83. Apenas hay vegetación y bajo el suelo sobreviven poco más que cianobacterias. La única vida que queda es la que vive a impulsos, la que surge tras las escasas y repentinas lluvias para aprovechar esa breve ventana de oportunidad. Según los modelos, el 39% de la superficie de España superará el 0,83 para finales de siglo.” Miguel Ángel Criado, “Así se convierte la tierra en un desierto”, *El País*, 17 de febrero de 2020; [https://elpais.com/elpais/2020/02/14/ciencia/1581660259\\_023671.html](https://elpais.com/elpais/2020/02/14/ciencia/1581660259_023671.html)



---

# #5. Epigénesis

---

# Epigénesis

---

- # La **epigénesis** apunta hacia los mecanismos que permiten a un individuo **modificar ciertos aspectos de su estructura interna o externa como resultado de la interacción con su entorno** inmediato.
- # Si hablamos de organismos, la epigénesis representa por tanto **el proceso de “sintonización” final, mediada por la experiencia**, gracias al cual cada individuo se adapta de forma más o menos eficiente a su entorno a partir de las capacidades contenidas en su código genético.

- # Los genes son **parte de una red compleja de interacciones que se retroalimenta** y, por ende, no actúan como identidades independientes.
- # Ejemplos evidentes de sistemas con capacidad de aprendizaje, siguiendo la teoría epigenética, los constituyen **el sistema nervioso central o el sistema inmune.**

# En el caso del sistema nervioso central, la capacidad de aprendizaje (que se basa en la gran plasticidad neuronal del cerebro mamífero) resulta de vital importancia, pues el número estimado de conexiones sinápticas en un cerebro humano supera con creces el número de nucleótidos contenidos en el genoma humano (en promedio, una sola neurona del cerebro humano tiene 50.000 sinapsis).

# Un cerebro humano plástico y dinámico

- # Las neurociencias modernas apoyan un **modelo dinámico del cerebro humano**. Éste es un órgano plástico, proyectivo y narrativo, que actúa de manera autónoma (de forma tanto consciente como inconsciente) y resulta de una **simbiosis sociocultural- biológica**.
- # El control genético sobre la arquitectura cerebral es **importante pero no definitivo: ésta se desarrolla en interacción constante con los entornos biofísico y sociocultural**. Véase Kathinka Evers, *Neuroética*, Katz, Madrid/ Buenos Aires 2010, capítulo 3.



# **#6. Pensamiento sistémico**

---



# Individualismo metodológico

---

- # La expresión es de von Hayek hacia 1940, recogida enseguida por Popper.
- # “Las ‘acciones’ de colectivos, tales como los estados o los grupos sociales, deben ser reducidas (...) a las acciones de individuos humanos.” Karl Popper, *The Open Society and Its Enemies*, 3ª ed. revisada, Routledge & Kegan Paul, Londres 1957, p. 91.

- # El problema aquí es la palabra *reducidas*. En sentido estrecho, no puede aceptarse la proposición: los sistemas sociales tienen **propiedades emergentes** y en ese sentido “el todo es más que la suma de las partes”.
- # Pero si nos olvidamos de una “reducción” dogmática a los “átomos sociales” no hay problema: el individualismo metodológico de un Raymond Boudon, por ejemplo, es compatible con un punto de vista **sistémico**. Quizá volvamos sobre esta cuestión en una lección posterior.

# Análisis sistémico en cc. sociales

- # No hay que pensar que la perspectiva o el análisis sistémico se limite a las ciencias naturales.
- # En sociología, por ejemplo, cabe denominar análisis sistémico a toda investigación, teórica o empírica, que, partiendo del postulado según el cual la realidad social ofrece las características de un sistema, **interprete y explique los fenómenos sociales por los lazos de interdependencia, que hacen de ellos una totalidad.** Guy Rocher, *Introducción a la sociología general*, Herder, Barcelona 1973, p. 363.

# Hacia la unidad de los saberes científicos

---

- # En ciencias sociales, el enfoque sistémico conduce a descartar un atomismo que descuida el estudio de las relaciones, o la “física social” que desprecia la especificidad de los sistemas.
- # La ambición de la perspectiva sistémica es muy grande: se trataría de **aplicar el mismo tipo de análisis científico a todos los niveles de la realidad**, desde la célula orgánica hasta el universo sociocultural.

- # Se trataría de conseguir la **unidad del saber científico sobre la base de un mismo método en todo el ámbito de las ciencias** (tanto las ciencias naturales como las ciencias sociales).
- # Esta unificación se derivaría del principio heurístico según el cual **encontramos organización en todos los niveles de la realidad.**

# Pensamiento sistémico

---

- # La teoría de sistemas tiende a generar un punto de vista filosófico particular, un **pensamiento sistémico**.
- # Se concibe al mundo como un **haz de pautas de comportamiento interrelacionadas que se desarrollan dinámicamente**.
- # La atención del investigador familiarizado con la teoría de sistemas se dirige a las interconexiones, las causaciones y los vínculos recíprocos, las retroalimentaciones, las propiedades emergentes, los fenómenos no lineales...

# Desde una perspectiva sistémica...

---

- # **No maximizar, porque todas las propiedades de una cosa están interrelacionadas;**
- # **de modo que la maximización de una de ellas probablemente minimice otras.**
- # **Todo beneficio tiene su precio (“no hay almuerzos gratis” en la naturaleza...) Cf. Mario Bunge, *Filosofía política*, Gedisa, Barcelona 2009, p. 123 y 284.**

# En los orígenes de la conciencia ecológica...

---

- # Un desarrollo de la teoría de sistemas que seguramente resultará familiar a cualquier lector o lectora preocupados por cuestiones ecológicas es la **dinámica de sistemas** creada por Jay Forrester.
- # Su trabajo está en la base del modelo Mundo 3 que sirvió para elaborar el primer informe al Club de Roma, *Los límites del crecimiento* (1972).



# Más sobre pensamiento sistémico

---

- # El “informe sobre el aprendizaje” al Club de Roma (*Aprender, horizonte sin límites*) enumeraba en 1979 los rasgos esenciales de ese **pensamiento integrador o sistémico** cuyo desarrollo resulta necesario:
- # (1) Evaluación de las **consecuencias a largo plazo** de las decisiones actuales.
- # (2) Consideración de las **consecuencias de segundo orden** (i.e. los efectos colaterales imprevistos).

- # (3) Capacidad de proponer **planes y estrategias para el futuro**, de controlar y modificar tales planes (“**planificación sobre la marcha**”) y de realizar evaluaciones para detectar a tiempo los signos de posibles problemas.
- # (4) Habilidad en el pensamiento sistémico, que consiste en la capacidad de **ver tanto el todo como sus partes, y las causas y efectos múltiples más bien que los individuales**, así como **estar atentos a los fenómenos no lineales**.
- # (5) Capacidad de **detectar relaciones recíprocas y de evaluar su importancia**, que a menudo es mayor que la de los elementos relacionados. James W. Boktin/ Mahdi Elmandjra/ Mircea Malitza: *Aprender,*

*horizonte sin límites*, Santillana, Madrid 1979, p. 137.

# Y ¿por qué es hoy tan importante el pensamiento sistémico?

---

- # “El cambio climático, la inseguridad alimentaria, las sequías, la escasez de recursos y la pobreza son distintas caras de la misma crisis global de sostenibilidad. (...) Estas crisis constituyen un problema terrible: se trata de cuestiones de una ‘gran complejidad e incertidumbre, que traen consigo importantes riesgos y dilemas sobre la dirección a tomar’ (Rotmans y Kemp 2003:7). A menudo no se pueden adoptar medidas a nivel local porque las causas y las consecuencias de problemas como el cambio climático y la pérdida de biodiversidad están normalmente alejados geográficamente (tanto en los países en vías de desarrollo como en los desarrollados) y/o en el tiempo (desde la generación actual hasta las futuras). Por otra parte, los intentos de abordaje del problema de manera convencional y directa suelen fracasar debido a los complicados bucles de retroalimentación del sistema.”
-

# ¡Porque nos enfrentamos a una crisis sistémica!

- ✦ “Por ejemplo, surgen los llamados ‘efectos rebote’ en los que los resultados que en un principio eran positivos son contrarrestados por los efectos secundarios que se generan indirectamente en el sistema (Jackson 2010:62 y ss.). Del mismo modo, los temas se interrelacionan de manera sistémica, de manera que la solución a un problema a menudo conduce a otro problema (p. ej. la agricultura intensiva permite gestionar la escasez de alimentos, pero también contribuye a que los suelos se vuelvan estériles y que aumenten las emisiones de gases de efecto invernadero). Es evidente que no es posible abordar la crisis de sostenibilidad global de forma adecuada si nos centramos en problemas y síntomas aislados...” SMARTCSOs: *Estrategias para la Gran Transición* (informe elaborado por Michael Narberhaus con la colaboración de Christina Ashford, Maike Buhr, Friederike Hanisch, Kerem Sengün y Burcu Tunçer), 2011, p. 6. Publicado en español por la Fundación Ecología y Desarrollo ([www.ecodes.org](http://www.ecodes.org)).



# **#7. Independencia a partir de la dependencia**



# Sistemas abiertos y cerrados

---

- # Los seres vivos –y entre ellos los seres humanos– somos **sistemas abiertos**.
- # Un sistema cerrado –un mineral por ejemplo– no efectúa intercambios con el entorno exterior.
- # En cambio **un sistema abierto “se alimenta” del exterior** (en el caso de un ser vivo, del ecosistema).

# Contingencia, singularidad

---

- ⌘ Como ha subrayado Edgar Morin, **un sistema abierto vivo (auto-organizador) es relativamente independiente** en el ecosistema.
- ⌘ Produce su determinismo propio para responder a las contingencias exteriores, y sus “libertades” (o contingencias propias) para responder al determinismo exterior.
- ⌘ Por eso es un **ser singular**.

# Independencia y dependencia

---

- # “Pero esta independencia es dependiente del ecosistema, es decir, se construye multiplicando los vínculos con el ecosistema.
- # Así, por ejemplo, un individuo autónomo del siglo XX construye su autonomía a partir del consumo de una gran variedad de productos, de una enorme cantidad de energía [y materiales] (extraídos del ecosistema) y de un larguísimo aprendizaje escolar (que no es sino el aprendizaje del mundo exterior).”



- # “Así pues, **cuanto más independientes nos hacemos, más dependientes del mundo exterior nos volvemos**: éste es el problema de la sociedad moderna, que cree en cambio emanciparse del mundo exterior dominándolo.
- # Añadamos que cuanto más evolucionado sea un sistema –es decir, más complejo y rico–, tanto más abierto será.”

- # “El ser humano es el más abierto de todos los sistemas, el más dependiente en la independencia.
- # La civilización jamás había dependido de un número tan grande de factores ecosistémicos, y entiendo aquí por ecosistema no sólo la naturaleza, sino el ecosistema tecnosocial, que se superpone al primero y lo vuelve todavía más complejo.”

# ¡No somos sujetos en un mundo de objetos!

- # “Podría mostrar que el ecosistema no es sólo nutriente de materia y energía: confiere asimismo organización y orden, nutre al hombre de neguentropía. **Es, para todo ser vivo incluido el ser humano, coautor, cooperador, coprogramador de su propio desarrollo.**
- # Es preciso invertir, pues, toda la ideología occidental desde Descartes, que hacía al ser humano sujeto en un mundo de objetos.” Edgar Morin, *El año I de la era ecológica*, Paidós, Barcelona 2008, p. 15-16.

# Neguentropía

---

- # Los seres humanos –como los demás animales– no nos nutrimos sólo de materia y energía (que tomamos de nuestro entorno).
- # También –como decía Schrödinger– de **“neguentropía”**, es decir, de orden y complejidad.
- # Los organismos trabajan sin descanso. Para mantenerse, degradan su energía: necesitan renovarla extrayéndola de su entorno, por lo que dependen de este último.

# Para ser independiente hay que ser dependiente

- # Así, cualquier organismo –y también los seres humanos– **dependemos del entorno para poder asegurar nuestra independencia.**
- # “Para ser independiente hay que ser dependiente. Y cuanto más independencia queremos conseguir, más debemos pagarla con la dependencia.” Edgar Morin, *El año I de la era ecológica*, Paidós, Barcelona 2008, p. 35.
- # En los seres humanos: dependencias tanto ecológicas como sociales.

# Independencia a través de la práctica de la interdependencia

---

“Las personas somos –todas– radicalmente dependientes. Es verdad que en la cultura occidental hemos ocultado cosa tan obvia, por admiración hacia esa otra capacidad nuestra, la autonomía, que los individuos y los pueblos persiguen como una aspiración. Para la cultura latina el *in-firmus*, el enfermo es alguien de segunda, porque le falta firmeza, le falta seguridad, un desprecio que hereda de Grecia. Y, sin embargo, a cada persona acompañan desde la raíz la inevitable dependencia y la aspiración a la autonomía, la vulnerabilidad y la capacidad de hacer la propia vida.”

“Por eso, curiosamente, la única forma humana de conquistar una cierta independencia es la práctica de la interdependencia. Parece un juego de palabras, pero no lo es. Es el sueño de los viejos anarquistas, el apoyo mutuo, que hace progresar a los individuos y a las especies. El sueño cristiano y socialista de la solidaridad.” Adela Cortina, “Ética de la dependencia”, *El País*, 6 de septiembre de 2008.



# **#8. Recapitulación final: siete principios de la mano de Edgar Morin**





# Recapitulación final: siete principios...

---

- # Siete principios de un “pensamiento que une” para reemplazar “la causalidad unilineal y unidireccional por una causalidad en bucle y multirreferencial” y completar “el conocimiento de la integración de las partes en un todo, mediante el reconocimiento de la integración del todo en el interior de las partes”. Edgar Morin, *La mente bien ordenada*, Seix Barral, Barcelona 2000, p. 122.
-

# ...de la mano de Edgar Morin. 1. principio sistémico

---

- # 1. **Principio sistémico** que liga el conocimiento de las partes con el conocimiento del todo según la lanzadera indicada por Pascal: “Considero imposible conocer las partes sin conocer el todo, y tampoco conocer el todo sin conocer particularmente las partes”.
  - # La idea sistémica que se opone a la reduccionista es que el todo es más que la suma de las partes.
  - # “Del átomo a la estrella, de la bacteria al ser humano y a la sociedad, la organización de un todo produce unas cualidades o propiedades nuevas con respecto a las partes consideradas aisladamente: las **emergencias**”  
(Morin, op. cit., p. 123).
-

## 2. Principio “holográfico”

---

- # **2. Principio “holográfico”**: en las formas complejas de organización, **no sólo la parte se encuentra en el todo, sino que el todo está inscrito en la parte.**
- # “De este modo, cada célula es una parte de un todo – el organismo global– pero el todo está en sí mismo en la parte: la totalidad del patrimonio genético está presente en cada célula individual; la sociedad está presente en cada individuo en tanto que un todo a través de su lenguaje, su cultura, sus normas...” Morin, op. cit., p. 124.

# 3. Principio del bucle retroactivo y 4. principio del bucle recursivo

---

- # **3. Principio del bucle retroactivo:** frente a la idea de causalidad lineal, aquí **el efecto actúa sobre la causa** (como en un sistema de calefacción donde el termostato regula la marcha de la caldera).
  - # **4. Principio del bucle recursivo:** bucle generador donde los productos y los efectos son ellos mismos productores y causantes de lo que los produce. Aquí se supera la noción de regulación por la de **autoproducción y autoorganización.**
-

# 5. Principio de autonomía/dependencia

---

# “Los individuos humanos producen la sociedad en y por sus interacciones, pero la sociedad, en tanto que un todo emergente, produce la humanidad de estos individuos aportándoles el lenguaje y la cultura.” Morin, *La mente bien ordenada*, op. cit., p. 125.

# **5. Principio de autonomía/dependencia, o auto/eco/organización, o independencia a través de la dependencia.**

---

# “Los seres vivos son seres autoorganizadores que sin cesar se autoproducen y por lo mismo gastan energía para mantener su autonomía. Como tienen necesidad de extraer de su entorno energía, información y organización, su autonomía es inseparable de esta dependencia, y ésa es la razón por la que es necesario concebirllos como seres auto-eco-organizadores. El principio de auto-eco-organización vale evidentemente de modo específico para los seres humanos que desarrollan su autonomía mientras dependen de su cultura y para las sociedades que se desarrollan dependiendo de su entorno geo-ecológico.” Edgar Morin, *La mente bien ordenada*, Seix Barral, Barcelona 2000, p. 125.

## 6. Principio dialógico o dialéctico

---

- # **6. Principio dialógico o dialéctico**, que une dos nociones que deben excluirse mutuamente, pero que son indisociables en una misma realidad. Así, Heráclito acuñó la fórmula “vivir de muerte, morir de vida”: y hecho un organismo vivo se regenera permanentemente a través de la muerte de las células que lo componen.
-

# “La dialógica permite asumir racionalmente la inseparabilidad de unas nociones contradictorias para concebir un mismo fenómeno complejo. Niels Bohr reconoció, por ejemplo, la necesidad de concebir las partículas físicas a la vez como corpúsculos y como ondas. Los individuos son como corpúsculos autónomos desde cierto punto de vista, al mismo tiempo que se desvanecen, desde otro punto de vista, en el seno de las dos continuidades que son la especie y la sociedad...” Edgar Morin, *La mente bien ordenada*, Seix Barral, Barcelona 2000, p. 126.



# 7. Principio de la reintroducción del conoedor en todo conocimiento

---

**# 7. Principio de la reintroducción del conoedor en todo conocimiento.** Tal principio “opera la restauración del sujeto, y descubre el problema cognitivo central: desde la mera percepción a la teoría científica, todo conocimiento es una reconstrucción/ traducción efectuada por un espíritu/ cerebro en una cultura y un tiempo dados.” Morin, op. cit., p. 127.

---

Un buen texto para completar este ppt:

[https://www.15-15-](https://www.15-15-15.org/webzine/2019/02/03/bailar-con-sistemas/)

[15.org/webzine/2019/02/03/bailar-con-sistemas/](https://www.15-15-15.org/webzine/2019/02/03/bailar-con-sistemas/)



# Para seguir leyendo

---

- # Mario Bunge, *Un mundo de sistemas* (volumen 4 del *Tratado de filosofía*), Gedisa, Barcelona 2012.
- # Ferran Puig Vilar, *¿Hasta qué punto es inminente el colapso de la civilización actual?*, 2014.  
<http://ustednoselocree.com/2015/01/25/hasta-que-punto-es-inminente-texto-completo-descargable/>
- # Sean Carroll, *El Gran Cuadro, Pasado & Presente*, Barcelona 2017