



CONCEPTOS  
Y FENÓMENOS  
FUNDAMENTALES  
DE NUESTRO  
TIEMPO

---

UNAM

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES SOCIALES

INTERDEFINIBILIDAD E INTERACCIÓN  
EN LA TEORÍA DE SISTEMAS COMPLEJOS  
ROLANDO GARCÍA

Enero 2009

# INTERDEFINIBILIDAD E INTERACCIÓN EN LA TEORÍA DE SISTEMAS COMPLEJOS

Por Rolando García

## 1.- La interdefinibilidad define un sistema complejo

Un *sistema* es una representación de un recorte de la realidad, analizable (aunque no necesariamente formalizable) como una totalidad organizada, en el sentido de tener un funcionamiento característico. Llamamos *funcionamiento del sistema* al conjunto de actividades que puede realizar (o que permite realizar) el sistema, como resultante de la coordinación de las funciones que desempeñan sus partes constitutivas.

Esta definición permite distinguir dos grandes grupos de sistemas:

- a) sistemas descomponibles
- b) sistemas no-descomponibles o semi-descomponibles

Mientras que los sistemas descomponibles constituyen conjuntos de elementos organizados con un funcionamiento característico pero cuyas partes son aislables y pueden modificarse independientemente unas de otras, los sistemas no-descomponibles o semi-descomponibles están constituidos por procesos determinados por la confluencia de diversos factores que interactúan de tal manera que no son aislables. En consecuencia, estos sistemas no pueden ser descritos adecuadamente, ni su funcionamiento explicado, por mera adición de enfoque parciales provenientes de estudios independientes de cada uno de sus componentes. En un sistema no-descomponible, los distintos componentes sólo pueden ser definidos en función del resto. La **interdefinibilidad** caracteriza a los elementos de un sistema no-descomponible. Los sistemas cuyos elementos están interdefinidos constituyen sistemas complejos.

Así, la **interdefinibilidad** de los elementos constitutivos de un sistema es lo que determina su carácter complejo.

## 2.- Interdefinibilidad dialéctica entre procesos y estados

Cuando se estudia un complejo empírico no es posible analizar “todos” sus elementos, no sólo debido a una imposibilidad material (¿qué significa “todos”?) sino por razones prácticas. Es inevitable, por consiguiente, abstraer un número limitado de elementos del complejo (susceptible de revisión a lo largo de la investigación). Construir un sistema significa elegir los elementos abstraídos del material empírico, e identificar (es decir, inferir) un cierto

número de relaciones entre dicho conjunto de elementos. El conjunto de relaciones constituirá la *estructura* del sistema.

Abstraer elementos (y dejar otros de lado) implica interpretar datos, es decir, construir *observables*. Las relaciones establecidas sobre la base de inferencias y que se designan como relaciones causales entre estos elementos observables abstraídos del complejo, constituyen *procesos*.

Para estudiar un sistema complejo es necesario establecer cortes temporales que exhiban las formas de organización de los elementos del sistema en los momentos correspondientes a cada uno de los cortes. Los cambios observados en la sucesión de formas organizativas sirven de base a las inferencias que permiten conjeturar, en un primer análisis, los procesos en juego en el pasaje de uno a otro de los cortes. En otros términos: se analizan los *estados* sucesivos, para estudiar los *procesos*. Esto no significa un procedimiento unidireccional. Por el contrario, se trata de una **interdefinibilidad** dialéctica a través de la cual los procesos y los estados se clarifican mutuamente, poniendo de manifiesto el funcionamiento del sistema.

El pasaje de la sucesión de estados a la comprensión de la dinámica del sistema está lejos de ser inmediato. Desde el punto de vista epistemológico, involucra el pasaje de la constatación de correspondencias a la inferencia de transformaciones, que es uno de los mecanismos fundamentales de construcción de conocimientos.

### 3.- Interdefinibilidad vs interacción

Una generalización estéril de la **interdefinibilidad** de los elementos de un sistema complejo consiste en considerar que “todo interactúa con todo”. Sin embargo, los sistemas no-descomponibles son también llamados semi-descomponibles porque no todos los elementos se articulan de la misma manera o tienen el mismo grado de interconexión entre sí.

Los factores que directa o indirectamente determinan el funcionamiento de un sistema complejo pueden ser distribuidos en niveles estructuralmente diferenciados, con sus dinámicas propias. Los niveles no son **interdefinibles**, pero las **interacciones** entre niveles son tales que cada nivel condiciona las dinámicas de los niveles adyacentes. Es decir que un sistema complejo se organiza por niveles desacoplados, semi-autónomos y con escalas espaciales y temporales propias. Pero estos niveles son interdependientes.

El *principio de estratificación* constituye el modo particular de organización de un sistema complejo.

El estudio de un sistema complejo comienza generalmente con una situación particular o con un conjunto de fenómenos que tienen lugar en un cierto nivel de organización

denominado nivel de base. Los factores que actúan en dicho nivel corresponden a cierto tipo de procesos y a ciertas escalas de fenómenos agrupadas en *subsistemas*.

Dicho de otra manera, dentro de cada nivel, los elementos pueden agruparse en subsistemas constituidos por aquellos elementos que tienen un mayor grado de interconexión entre sí que con los demás. Estos subsistemas funcionan como subtotalidades que se articulan por relaciones cuyo conjunto constituye la estructura del nivel.

El término subsistema es relativo a una totalidad mayor que lo incluye. Tal relatividad es similar a la que se da en la teoría de conjuntos. Un subconjunto es parte de un conjunto, pero es también un conjunto con sus propios subconjuntos (que serían sub-subconjuntos del conjunto anterior).

Los subsistemas, al constituir “unidades” también complejas, son susceptibles de ser analizados, a su vez, como sistemas en otro nivel del estudio.

#### 4.- Interacción e interrelación entre niveles de organización

El principio de estratificación establece, como característica general de los sistemas complejos, una disposición de sus elementos por niveles de organización con dinámicas propias pero interactuantes entre sí. Para un nivel dado, las **interacciones** con los otros niveles se pueden representar como *flujos* de “entrada” y *flujos* de “salida”.

El concepto de *flujos* es aquí utilizado de manera metafórica, por analogía con el concepto de flujo magnético definido en física como “líneas de fuerza que atraviesan la superficie de un cuerpo sometido a un campo magnético”.

Al efecto neto sobre un nivel dado de las **interacciones** con los otros niveles constituye las *condiciones de contorno* de dicho nivel. Los conceptos de condiciones de contorno y de flujo se aplican también entre subsistemas de un sistema y en las interacciones del sistema total con otros sistemas.

El estudio de un sistema complejo presupone fenómenos, elementos, procesos que persisten en el tiempo, con **interrelaciones** que pueden ser cambiantes pero que mantienen una continuidad que nos permite referirnos a ellos como cambios en un mismo sistema.

Para sostener la continuidad de un mismo sistema debe de haber un ajuste mutuo de las escalas espaciales y temporales de los fenómenos que tienen lugar en los diversos niveles. En caso contrario, el sistema no continuaría integrado como totalidad organizada.

La totalidad debe, además, tener más estabilidad que las partes del sistema, de manera tal que las alteraciones de las partes no alteren la estabilidad del sistema en su totalidad. De hecho, en tales casos la totalidad actúa como regulador del sistema.

La regulación del sistema sobre las partes no excluye acciones de retroalimentación ni procesos que se generan en los elementos y que alteran las condiciones del sistema total.

#### 5.- Interacción entre escalas de fenómenos

Una de las dificultades que se presenta en los estudios empíricos es la distinción entre fenómenos que, aunque coexisten e interactúan, tienen una dinámica propia a cada uno de ellos. Por ejemplo, en el estudio de la atmósfera, las nubes convectivas, las ondas de sotavento sobre una montaña o los ciclones tropicales, pertenecen a escalas de fenómenos cuya dinámica difiere de la que corresponde a los grandes sistemas de circulación general de la atmósfera (anticiclones, ciclones de latitudes medias, ondas largas de la tropósfera media y superior).

Los datos observacionales que pertenecen a diferentes escalas no deben mezclarse. Agregar datos de una escala inferior a los datos de una escala superior no agrega información, sólo introduce “ruido” (en el sentido de la teoría de la información).

Sin embargo, las escalas **interactúan**. En el ejemplo anterior, las nubes convectivas constituyen una de las principales fuentes de energía para los movimientos de gran escala, y éstos, a su vez, determinan condiciones que favorecen o inhiben las escalas menores. El problema que se presenta es, entonces, cómo estudiar las interacciones.

No es posible enunciar reglas generales para abordar este problema. En el ejemplo mencionado de los movimientos atmosféricos, se puede demostrar que las escalas inferiores influyen en las escalas mayores como “efectos integrales”. Es decir, si consideramos a la escala menor como una perturbación de la escala mayor, la interacción se calcula como el integral de los flujos de movimiento y energía.

#### 6.- Interacción de un sistema complejo con el entorno

Los sistemas complejos sufren transformaciones puesto que constituyen sistemas abiertos. Su evolución no se realiza a través de procesos que se modifican de manera gradual y continua, sino que procede por una sucesión de desequilibrios y reorganizaciones. Cada reestructuración conduce a un período de equilibrio dinámico relativo durante el cual el sistema mantiene sus estructuras previas con fluctuaciones dentro de ciertos límites.

La fluctuación de un sistema ocurre bajo la influencia de los elementos que quedaron “fuera del sistema” y que constituyen las condiciones de contorno. Cuando estas fluctuaciones exceden un cierto umbral, alteran las relaciones fundamentales que caracterizan la estructura del sistema.

La disrupción de la estructura de un sistema no solamente depende de la magnitud de la fluctuación sino también de las *condiciones de estabilidad del sistema* determinadas por propiedades intrínsecas de la estructura. Estabilidad e inestabilidad son, por consiguiente, propiedades estructurales del sistema, sobre la base de las cuales se definen otras propiedades estructurales tales como la *vulnerabilidad* (propiedad de una estructura que la torna inestable bajo la acción de ciertas perturbaciones) y *resiliencia* (capacidad para retornar a una condición original de equilibrio después de una perturbación).

En las **interrelaciones** entre el sistema y lo que quedó “fuera”, la velocidad de cambio es de fundamental importancia. La velocidad de cambio está estrechamente relacionada con la *escala temporal* de los fenómenos a estudiar.

Cambios en las condiciones de contorno muy lentos con respecto a cierta escala de tiempo pueden ser representados, en primera aproximación, como constantes. Si, por el contrario, las condiciones varían o fluctúan significativamente dentro de cierta escala, es necesario estudiar con mayor minuciosidad esas variaciones por cuanto ellas pueden determinar reorganizaciones más o menos profundas del sistema en su conjunto.

#### 7.- Interdefinibilidad, interdependencia e investigación interdisciplinaria

La característica determinante de un sistema complejo es la **interdefinibilidad** de sus elementos y la mutua dependencia de las funciones que cumplen estos elementos dentro del sistema total. Esta característica excluye la posibilidad de obtener un análisis por simple adición de estudios sectoriales.

La alteración de un sector se propaga de diversas maneras a través del conjunto de relaciones que definen la estructura del sistema y, en situaciones críticas, genera una reorganización total. Las nuevas relaciones –y la nueva estructura que de allí emerge– implican tanto modificaciones de los elementos como del funcionamiento total.

El juego dialéctico involucrado en la doble direccionalidad de los procesos que van de la modificación de los elementos a los cambios del funcionamiento de la totalidad, y de los cambios de funcionamiento a la reorganización de los elementos, constituye uno de los problemas que ofrece mayor dificultad en el estudio de la dinámica de los sistemas complejos. Estas interacciones entre la totalidad y las partes no pueden ser analizadas fraccionando el sistema en un conjunto de áreas parciales que corresponden al dominio disciplinario de cada uno de los elementos sino que exigen de la investigación interdisciplinaria.

La investigación interdisciplinaria no puede ser definida *in-abstracto* para luego aplicarla a un objeto particular de estudio. Por el contrario, es necesario definir primero el objeto de

estudio y luego la manera de estudiarlo. De tal manera que la investigación interdisciplinaria es el tipo de estudio que requiere un sistema complejo.

Afirmar que la investigación interdisciplinaria es el tipo de estudio requerido por un sistema complejo no excluye, en modo alguno, estudios parciales de alguno de sus elementos o de alguna de sus funciones. Ningún análisis de tales sistemas puede prescindir de estudios especializados. Sin embargo, tan ricos y necesarios como pueden llegar a ser dichos estudios, la simple suma de ellos no podría, por sí sola, conducir a una interpretación de los procesos que determinan el funcionamiento del sistema como tal, es decir, como totalidad organizada.

Un estudio integrado de un sistema complejo sólo puede ser obra de un equipo con marcos epistémicos, conceptuales y metodológicos compartidos. Los equipos de investigación son multidisciplinarios en tanto reúnen especialistas de diferentes áreas. Lo que caracteriza una investigación interdisciplinaria es la metodología con la que dicho equipo trabaje. Dicho de otra manera, una problemática definida como un sistema complejo exige de la investigación interdisciplinaria que sólo un equipo multidisciplinario puede realizar; pero la interdisciplinaria de la investigación no emerge espontáneamente por el solo hecho de que varios especialistas trabajen juntos.

#### 8.- Sistemas sociales complejos

La mayor parte de los problemas que involucran el funcionamiento social obligan a estudios desde una perspectiva sistémica. No basta con visualizar, desde cada disciplina, los problemas involucrados para luego “poner juntos” los resultados de los respectivos análisis. Un sistema complejo funciona como una totalidad. Los procesos que allí tienen lugar están determinados por la **interacción** de elementos o subsistemas que pertenecen a dominios disciplinarios diversos y cuya contribución a cada proceso no es enteramente separable de las otras contribuciones. Esta consideración adquiere fundamental importancia cuando se estudia la evolución del sistema como tal, por cuanto la dinámica de la totalidad no es deducible de la dinámica de los elementos considerados aisladamente.

Al estudiar, por ejemplo, deterioros ambientales, generalmente pueden ser definidos 3 subsistemas: a) medio físico, b) agroproductivo y c) socioeconómico. Cada uno de estos subsistemas suele comprender, a su vez, diversos subsistemas con complejas relaciones internas, pero es posible que estén suficientemente bien diferenciados como para ser considerados unidades de análisis cuyas propiedades integrales y relaciones mutuas definan las características del sistema total.

Para el estudio de cada subsistema es necesario definir las escalas espaciales y temporales en que debe ser abordado el problema, acorde con la naturaleza de los fenómenos examinados. Para el subsistema físico, por ejemplo, puede resultar necesario abarcar una región mucho mayor a la necesaria para ser considerada como representativa del subsistema agroproductivo y/o socioeconómico. Pero, por el contrario, los subsistemas socioeconómicos generalmente requieren consideraciones temporales (históricas) mayores que los subsistemas físicos.

Esta diversidad de escalas temporales no afecta la unidad del sistema que se estudia como tal dentro de un período crítico. Cada subsistema participa del sistema total en función de su propia historia. El estudio sincrónico del sistema en un momento dado incorpora la dinámica de los estudios diacrónicos realizados en cada subsistema.

Los cambios sufridos por un sistema complejo, sometido a modificaciones significativas en sus condiciones de contorno, no son continuos ni lineales, sino que implican cambios estructurales en sucesión más o menos rápida que corresponde a distintos niveles de auto-organización del sistema. La expresión “modificaciones significativas”, la continuidad del proceso de cambio estructural y la “rapidez” de tales cambios, son todos conceptos referidos a la escala de fenómenos que se están considerando.

El estudio sistémico de deterioro ambiental en diversas regiones del mundo es lo que ha permitido, por ejemplo, descartar los cambios climáticos como culpables de la pérdida de cultivos y, por consiguiente, del empobrecimiento de poblaciones cuya actividad económica principal es la agricultura. La introducción masiva de nuevos cultivos ha sido uno de los factores de desestructuración de sistemas con una organización socioeconómica estable. Subsistemas físicos también se han visto afectados por la sustitución de cultivos y el desecamiento de los suelos –una de las “evidencias” con las que se ha considerado la sequía– puede ser el resultado de la disminución del manto freático por el requerimiento mayor de agua de los nuevos cultivos.

Una investigación sistémica de un sistema social complejo generalmente tiene dos objetivos que es necesario diferenciar: a) el diagnóstico y b) determinar acciones concretas y políticas alternativas.

Para elaborar un programa de acción sobre el sistema estudiado se requiere de una investigación específica que tiene analogías y diferencias con los estudios de diagnóstico. El pasaje de una investigación diagnóstica al estudio de políticas alternativas no es lineal. Nuevas estrategias productivas, por ejemplo, pueden tener incidencia en partes del sistema que no fueron (o que no fueron suficientemente) analizadas para el diagnóstico, por no tener



un papel importante en los procesos que estaban en acción con el sistema productivo vigente. Es, por consiguiente, necesario volver repetidamente al diagnóstico en el análisis de cada propuesta de cambio, para investigar aspectos no considerados anteriormente.

La proyección hacia el futuro de un problema bio-socio-ambiental no es banal. La dificultad reside, precisamente, en el juego de **interacciones** entre procesos con dinámicas diversas y con diferentes escalas temporales de desarrollo.

### **Bibliografía sugerida**

- *Sistemas complejos. Conceptos, método y fundamentación epistemológica de la investigación interdisciplinaria* (Rolando García), publicado por Gedisa en 2006, constituye una compilación corregida de trabajos realizados a lo largo de 30 años en los que se desarrolló la Teoría de los Sistemas Complejos. El volumen reúne varios de los trabajos de campo (principalmente sobre problemáticas agrarias) que fueron nutridos, y nutrieron a su vez, las investigaciones epistemológicas realizadas principalmente en el Centro de Epistemología Genética de Ginebra dirigido por Jean Piaget.
- *Psicogénesis e Historia de la Ciencia* (Jean Piaget y Rolando García), publicado por Siglo XXI en 1982 (9na edición 2000) constituye una síntesis de la epistemología genética.
- *El conocimiento en construcción. De las formulaciones de Jean Piaget a la teoría de sistemas complejos* (Rolando García), publicado por Gedisa en 2000, aborda específicamente la estrecha interrelación entre la epistemología constructivista y la Teoría de los sistemas complejos. El complejo cognoscitivo constituye, en este caso, el centro del análisis expuesto.

Los dos volúmenes publicados por Gedisa contienen una amplia bibliografía de fundamentación de los conceptos aquí expuestos de manera sumamente sintética. También ofrecen una discusión detallada con otros autores que utilizan términos similares pero con connotaciones diferentes y con perspectivas epistemológicas distintas al constructivismo.