

LA TEORÍA DEL CAOS EN LAS CIENCIAS SOCIALES

por Víctor A. Beker*

Introducción

Un fantasma recorre el mundo (de las ciencias): es el fantasma de la teoría del caos.

Habiendo producido una importante transformación en el campo de la Física, ha sido acogida con entusiasmo en el campo de las Ciencias Sociales¹. ¿Por qué? ¿Qué ofrece a los científicos sociales la teoría del caos?

Básicamente, la posibilidad de modelar y explicar el cambio. Más específicamente el cambio abrupto, las discontinuidades que de tanto en tanto nos ofrece ese gran laboratorio de experimentación social que es la Historia.

El súbito derrumbe del sistema socialista, el repentino desplome de Wall Street el llamado Lunes Negro de octubre de 1987, la inesperada invasión a Kuwait a fines de 1990, el imprevisto efecto tequila desencadenado por la devaluación mejicana de diciembre de 1994 o los picos hiperinflacionarios de Alemania en los '20, de Hungría en los '40 o de Argentina a fines de los '80 son tan solo algunos ejemplos de saltos bruscos que atentan contra la idea intuitiva de continuidad en los fenómenos y que sí podrían encontrar explicación en la teoría del caos.

¿Por qué se precipitaron las ventas en Wall Street el Lunes Negro y no el viernes anterior? ¿Debemos considerar la invasión de Saddam Hussein como

* Profesor Titular de la Universidad de Buenos Aires y de la Universidad de Belgrano. Director de Relaciones Internacionales de esta última institución. Premio Academia Nacional de Ciencias de Buenos Aires 1996 otorgado por el trabajo "La teoría del caos y la dinámica no lineal en la ciencia económica".

¹ Para el caso de la Economía, pueden consultarse las referencias incluidas en mi trabajo "Dinámica no lineal, inestabilidad y caos" en M. TEUBAL (editor), *Teoría económica y estructura económica*, Siglo XXI, en impresión. En el campo de la Sociología, R.A. EVE, S.HORSFALL y M.E.LEE (editores), *Chaos, Complexity. and Sociology*, Sage Publications, 1997. En Psicología, S.J. GUASTELLO, *Chaos, Catastrophe, and Human Affairs*, Lawrence Erlbaum Associates, Mahwah, 1995. En Ciencias Políticas, puede consultarse el *Survey of Chaos and Complexity Researchers on Planning and Public Policy* en la dirección electrónica siguiente: <http://www.mcli.dist.maricopa.edu/~long/source/chaosresearchers.html>.

un rayo en el cielo sereno de la posguerra fría? Marx, seguramente, se estará regocijando en su tumba contemplando que ni siquiera un sistema erigido invocando su nombre pudo eludir su inexorable teoría que toda vez que las relaciones de producción se convierten en una traba para el desarrollo de las fuerzas productivas, aquéllas saltan hechas añicos; pero lo cierto es que ni aún los mas atrevidos informes de la C.I.A. llegaron a atisbar el proceso que tuvo lugar en el Este europeo a partir de la *perestroika*.

El atractivo de la teoría del caos es que nos ofrece un modelo en el cual cambios *cuantitativos* de igual magnitud pueden arrojar resultados *cualitativamente* distintos y, algunos de ellos, totalmente *impredecibles*.

Pero antes de hablar del caos propiamente dicho, debemos hacer la presentación de la familia a la cual este personaje pertenece: la de los procesos dinámicos no lineales.

Procesos dinámicos no lineales

Hablamos de un proceso dinámico cuando el mismo tiene lugar **en el tiempo**, en el sentido que no sólo interesan los valores que las variables asumen en distintos momentos, sino que, además, el estado actual está influido por algún hecho del pasado y va a influir en algún estado futuro.

Así, si el plato de comida que elegimos hoy depende de lo que comimos ayer, estamos en presencia de un proceso dinámico: para explicar nuestro consumo de hoy debemos relacionarlo con el de ayer. Obviamente, éste es un punto de vista opuesto al de la teoría económica tradicional que supone que el consumidor elige con independencia de las elecciones pasadas y futuras, pero ésta es otra historia...

Vayamos ahora a la distinción entre procesos lineales y no lineales.

Si deposito \$100 en un banco y la tasa de interés es del 8% anual, al cabo de un año habré obtenido un interés de \$8; si duplico el capital invertido, se doblará el interés percibido. En este caso decimos que el interés depende *linealmente* del capital invertido. En general, linealidad significa que ante un cambio de cierta magnitud en la causa, la variación en el efecto será la misma, tanto en magnitud como en dirección.

Estamos habituados a razonar intuitivamente en términos lineales. Siempre esperamos que si tardamos 2 horas en recorrer 200 kilómetros necesitaremos otro tanto para completar los 400 kilómetros. Pero no siempre la realidad se comporta así: puede suceder que al llegar al kilómetro 210 se corte la correa del ventilador o se tape el carburador o se produzca cualquier otro inconveniente producto del uso anterior acumulado.

Volviendo a nuestro ejemplo anterior, supongamos que en vez de depositar el dinero por un año, lo dejamos por 20 años. ¿Ahora el interés ganado será 20 veces el anterior, o sea \$160? No, ¡será de \$366!, como bien saben los que están familiarizados con los cálculos a interés compuesto.

Cuando la respuesta a iguales variaciones en la causa no es uniforme, estamos en presencia de un proceso *no lineal*.

Observemos que en ambos casos la magnitud del efecto depende del nivel ya alcanzado: es distinta en el kilómetro 210 que en el 200; es diferente cuando el capital es de \$100 que cuando -por la acumulación de intereses- es, por ejemplo, de \$200. La intensidad del efecto repercute, a su vez, sobre la magnitud de la causa: cuanto mayor es el interés acumulado, mayor es el incremento de capital y mayor será el nuevo interés acumulado.

Estamos aquí en presencia de lo que se ha dado en llamar la *retroalimentación positiva*. Detengámonos un momento en este nuevo concepto.

Retroalimentación positiva

Cuando una empresa opera bajo rendimientos crecientes a escala, a medida que crece en tamaño aumenta su productividad y ello le posibilita expandirse, lo cual genera nuevos aumentos en productividad y así de seguido. Estamos en presencia de una retroalimentación positiva.

Este comportamiento también ha sido bautizado como el principio de San Mateo, aludiendo al párrafo siguiente de su Evangelio: "Porque al que tiene, le será dado y tendrá más". El círculo virtuoso de la riqueza no es sino otro ejemplo de retroalimentación positiva. El llamado efecto "carro triunfal" es otro ejemplo, en este caso en el campo de la ciencia política.

Las llamadas economías de aglomeración son otra muestra de este fenómeno. Cuando un grupo de empresas se instalan en determinada localización aseguran que en el lugar existan servicios (agua, luz, gas, teléfono), mano de obra, etcétera, lo cual actúa atrayendo otras firmas hacia el lugar. El efecto repercute sobre la causa, amplificándola, y ésta genera un efecto aún mayor.

Atractores

Cuando se está en presencia de un sistema sujeto a un proceso dinámico, el mayor interés se centra en determinar cuál es su tendencia a largo

plazo. Es decir, hacia dónde se dirigirá el sistema cuando el proceso que opera sobre él haya tenido tiempo suficiente para desarrollarse. Es lo que se denomina el comportamiento *asintótico* de la dinámica analizada.

Ello nos lleva a introducir el concepto de **atractor**.

Como su nombre lo sugiere, es el estado hacia el cual el sistema es atraído en virtud del proceso dinámico que opera sobre él.

Existen tres tipos básicos de atractores: puntual, periódico y caótico.

Consideremos un péndulo al que se le da un impulso inicial. El mismo oscilará hasta volver a un estado de reposo en la posición vertical. Estamos acá en presencia de un *atractor puntual*; es decir, el sistema es atraído hacia un punto en el plano de dos dimensiones (posición y velocidad del péndulo).

Supongamos ahora el mismo péndulo pero operando en condiciones ideales: sin enfrentar ningún tipo de resistencia ni fricción. Si el impulso inicial es suficiente como para que dé un giro completo, seguirá girando indefinidamente. Aquí estamos en presencia de un *atractor periódico*: el péndulo vuelve a pasar por el mismo punto del espacio a intervalos regulares.

Para hablar de la tercera clase de atractores debemos referirnos primero al fenómeno del caos.

Caos

Para entender a qué llaman caos los científicos vamos a utilizar un sencillo ejemplo que presenta Reeves (1992).

Supongamos que existiera un reloj ideal que marcara el tiempo con absoluta exactitud. Telefonemos al servicio y lo ponemos en hora. Podemos decir que nuestro reloj nos da la hora con una precisión invariable de "más o menos un segundo".

En el mundo real todos los relojes tienen algún grado de imprecisión. Supongamos un segundo reloj, entonces, que marque la hora con una precisión de más o menos un segundo *por día*. Ello significa que al cabo del primer día la hora nos será suministrada con una precisión de más o menos dos segundos (uno proviene del dato inicial y el otro es la imprecisión acumulada en el día). Al segundo día la imprecisión será de tres segundos, al cuarto día, de cuatro y así sucesivamente. El grado de imprecisión crece *linealmente* con el tiempo: al duplicarse el tiempo transcurrido, se multiplica por dos el grado de incertidumbre.

Veamos ahora qué sucede si tenemos un tercer reloj cuyo grado de inexactitud no varía en forma constante como en el ejemplo anterior sino que se *duplica* diariamente (un segundo después del primer día, dos segundos

después del segundo, cuatro después del tercero, etc.). Se trata, entonces, de un crecimiento *no lineal*.

Pero en este caso, al cabo de dieciséis días nuestro reloj nos dará la hora con una precisión de ¡más o menos doce horas! Nuestro reloj será absolutamente inútil: la hora verdadera será cualquiera que esté en el intervalo dado por la hora que marca el reloj más o menos doce horas. ¡El margen de error tiene igual dimensión que el valor que queremos medir!

Esto nos lleva al concepto que caracteriza al caos: la dependencia sensible de los datos iniciales.

En nuestro ejemplo el dato inicial es la puesta en hora, que en los tres casos tiene la misma precisión de más o menos un segundo. El primer reloj mantiene constante ese grado de indeterminación; en cambio, el segundo la aumenta linealmente y el tercero la amplifica exponencialmente de modo que, al cabo de poco tiempo, todo conocimiento desaparece.

Decimos que este tercer reloj tiene una **dependencia sensible de los datos iniciales**. Cualquier error inicial crece en forma exponencial hasta que el tamaño del mismo iguala la magnitud que se desea medir.

Llegamos así a lo que constituye la esencia del comportamiento caótico: el mismo ocurre cuando trayectorias que parten de puntos tan próximos como se quiera se alejan unas de otras de manera exponencial a lo largo del tiempo. Ello implica que cualquier error de medición inicial se amplifica con el transcurso del tiempo y, más tarde o más temprano, llega un momento en que la magnitud del error es mayor que lo que queremos medir.

La *impredecibilidad* es una consecuencia inmediata de la dependencia sensible de los datos iniciales. Toda medición tiene un grado de precisión limitado, tanto más restringido cuanto menor es el número de decimales utilizado. Esa imprecisión -por insignificante que sea- se multiplicará en un sistema caótico a lo largo del tiempo. A partir de cierto *horizonte temporal* toda predicción se torna imposible. Puede extenderse dicho horizonte aumentando la exactitud de nuestras mediciones pero nunca podrá ser eliminado por un incremento *finito* de la información disponible.

Adviértase que el fenómeno del caos nunca podría tener lugar en un sistema lineal. En este caso un error inicial permanece constante. Es la no linealidad la que lleva a amplificar cualquier discrepancia inicial y fija un límite a la posibilidad de formular predicciones.

Como el lector ya habrá inferido, hablamos de un *atractor caótico* cuando el estado hacia el cual tiende el sistema tiene un comportamiento caótico.

La sensibilidad a los datos iniciales y, por ende, la presencia del caos, aumenta rápidamente con el *número de variables* que interactúan. Los fenómenos que estudian las ciencias sociales, en los que interactúan nume-

rosas variables económicas, psicológicas, políticas, sociales, etcétera, parecen candidatos naturales a experimentar tal tipo de fenómeno.

El caos desafía al demonio de Laplace

La paradoja del caos es que estamos en presencia de un comportamiento impredecible no obstante que es generado por un proceso totalmente determinístico.

Determinístico es lo opuesto a aleatorio. Cuando arrojo un dado, el resultado es aleatorio: es producto del azar. El movimiento de los planetas, en cambio es típicamente determinístico. El que no esté sujeto a ningún elemento aleatorio significativo es lo que nos permite saber con extrema precisión dónde estarán la Luna, Venus o Marte de acá a un siglo.

Ello llevó a identificar determinismo con predecibilidad. El demonio de Laplace es el símbolo de esta identificación.

El famoso matemático y astrónomo del siglo XVIII imaginó que si existiera un ser omnisciente capaz de conocer la exacta ubicación y velocidad de cada uno de los objetos en el universo en un momento determinado así como todas las fuerzas intervinientes, podría a partir de ahí deducir su evolución pasada y futura.

El determinismo clásico concebía al universo como un reloj de enorme precisión en el cual el presente es simplemente la consecuencia del pasado y la causa del futuro. En un mundo determinístico, si uno contara con *todos* los datos no habría dificultad para formular predicciones exactas. Las predicciones fallidas sólo mostrarían que hay datos faltantes. Por eso se ha sostenido que el azar es el nombre que damos a nuestra ignorancia, esto es a las variables que influyen en un fenómeno pero que no hemos sabido o podido detectar. Eliminado el azar toda predicción sería absolutamente exacta.

Pero el caos nos enfrenta a una situación inédita: un proceso absolutamente determinístico y que, sin embargo, se torna impredecible. Determinismo y predecibilidad dejan de ser equivalentes.

Lo que la teoría del caos ha puesto de manifiesto es que aún cuando conociéramos los valores de *todas* las variables intervinientes en un fenómeno, la impredecibilidad igualmente puede surgir por la imposibilidad de tener una absoluta precisión en nuestras mediciones.

Determinismo y aleatoriedad

Una primera conclusión que surge de lo expuesto es que debe repensarse la relación entre determinismo y aleatoriedad.

El caos aparece como una suerte de *punteo* entre uno y otro concepto: es determinístico, por un lado, pero genera comportamientos propios de lo estocástico.

En la base tanto del caos como de la aleatoriedad hay un elemento común: *la limitación congoscitiva del ser humano*. En el primer caso, ella se manifiesta como la imposibilidad de alcanzar una precisión infinita en nuestras mediciones; en el segundo, en la incapacidad de identificar todas y cada una de las múltiples variables que intervienen en los fenómenos complejos. Ambas manifestaciones resultan en la inexactitud de nuestros pronósticos.

En lugar de la tradicional oposición polar entre determinismo y aleatoriedad hoy nos sentimos inclinados a pensar en un *continuo* donde la dinámica caótica ocupa un lugar intermedio entre el determinismo simple y lo puramente aleatorio.

Ello también nos conduce a un replanteo de la relación entre los conceptos de libertad y necesidad en la Naturaleza y en la sociedad. Volveremos de inmediato sobre este tema.

Estabilidad estructural y bifurcaciones

Se dice que un sistema es *estructuralmente estable* si se comporta de manera equivalente a otro sistema cercano al mismo. En principio, ésta aparece como una propiedad altamente deseable puesto que significa que si nuestra representación del sistema que queremos estudiar no es exacta ello no afectará nuestras conclusiones, ya que cualquier sistema suficientemente próximo goza de igual comportamiento. Sin embargo, los sistemas estructuralmente inestables también tienen su interés.

Un sistema es estructuralmente inestable cuando un pequeño alejamiento del mismo nos conduce a un sistema dinámicamente diferente. Se denomina *bifurcación* al cambio de comportamiento que un sistema dinámico experimenta al variar el valor de uno o varios de los parámetros que lo caracterizan.

Cuando se agrega carga sobre el lomo de un camello, llega un momento en que el animal no puede soportar un mayor peso. Basta con agregar una paja para que el animal se desplome. El sistema "camello" experimenta una bifurcación: pasa de la posición erguida a yacente. El peso de la carga es aquí

el parámetro. En las proximidades de la carga límite el sistema se torna altamente inestable. Un pequeño cambio en el valor del parámetro y cambia totalmente el comportamiento de aquél. En las cercanías del punto de bifurcación existe una *dependencia sensible de los parámetros*: un pequeño cambio en el valor de los mismos genera drásticas modificaciones en el modo de funcionamiento del sistema.

Pero ello significa también que cuando un sistema es inestable se vuelve altamente sensible a cualquier perturbación. Factores que en un sistema estable ejercen una influencia absolutamente despreciable pueden ser aquí los responsables de generar una perturbación pequeña pero suficiente para producir una bifurcación. En tiempos de sequía, basta una sola chispa para incendiar miles de hectáreas de bosque. Un simple rumor puede desatar una corrida bancaria cuando la gente desconfía de la salud del sistema financiero.

Aquí aparece una nueva óptica para enfocar la relación entre libertad y necesidad.

Libertad y necesidad

Ya los estoicos se plantearon el dilema de cómo compatibilizar la creencia simultánea en un mundo sujeto a leyes naturales y en el libre albedrío de los seres humanos.

Ahora tenemos nuevos elementos para ensayar una respuesta.

En los sistemas estables, cualquier perturbación no significativa ejerce un efecto despreciable. Lo determinista juega un rol dominante y lo aleatorio es secundario.

Distinta es la situación bajo inestabilidad. Aquí lo aleatorio puede ser decisivo. Cualquier fluctuación, cualquier perturbación puede desplazar el comportamiento del sistema cuando éste se encuentra cerca de un punto de bifurcación. La nariz de Cleopatra pudo haber jugado un rol decisivo en la batalla de Actium si el equilibrio de fuerzas era tal que cualquier mínimo error de cualquiera de los contrincantes podía convertirse en ventaja decisiva para el otro. En cambio, no parece haber ejercido influencia perturbadora alguna sobre la marcha triunfal de Julio César.

La bifurcación, en algunos casos, significa el paso de un régimen a otro. En otros casos, se presenta la opción entre múltiples alternativas igualmente posibles. Aquí también la influencia de cualquier factor -que en otras circunstancias pasaría desapercibido- puede ser decisiva en la elección de la alternativa hacia la cual se mueve el sistema. El aleteo de una mariposa en Pekín puede ser el origen de un huracán en California; pero si aletea en Cantón

quizá el resultado sea un tornado sobre Méjico.

Pero una vez que el evento singular determina hacia dónde va el sistema, tal opción cierra el camino a las restantes y se vuelve *irreversible*. Es lo que ilustra el llamado “principio de QWERTY”². ¿Cuál es la razón por la cual el teclado de mi computadora tiene un determinado orden de letras? La primera parte de la respuesta es que es el mismo que tenían las máquinas de escribir desde su origen, en el siglo pasado. Aunque para memorizar el teclado había otras alternativas más eficientes (el orden alfabético, por ejemplo) ésta fue elegida en su momento porque el mayor problema en las máquinas originales era la tendencia a encimarse los tipos. Una forma de evitarlo era, precisamente, asegurarse que el tipista no escribiera a demasiada velocidad. Este problema desapareció en gran medida más tarde y, por supuesto, es inexistente hoy para las computadoras pero seguimos usando el mismo tipo de teclado. Los fabricantes de máquinas de escribir siguieron utilizando el mismo diseño porque era en el que los dactilógrafos estaban prácticos y cuando salieron las computadoras se trató de aprovechar dicha ventaja. Seguramente hay diseños mucho más prácticos y racionales, pero una vez adoptado el QWERTY quedamos atrapados por la decisión tomada de manera más o menos accidental hace un siglo atrás. Algo similar se puede argumentar respecto a la decisión de que la circulación vehicular se haga por la derecha o por la izquierda.

Ambos son ejemplos de lo que se conoce como “dependencia de la trayectoria”: adonde llegues depende del camino que has elegido. Antes de decidir tienes varias alternativas pero una vez quemadas las naves no hay opción: eres esclavo de la decisión adoptada. Y el resultado puede no ser el óptimo, como el caso del teclado lo evidencia.

El resultado es histórico-dependiente. No hay una única historia *posible* desde Adán y Eva hasta nuestros días pero sí hay una única historia *realizada*. Ello es así porque el tiempo es irreversible: elegida una alternativa, no hay posibilidad de desandar el camino ya recorrido.

No puede entenderse la evolución de un sistema al margen de su historia. Y en esa historia se combina la necesidad y la libertad.

La trayectoria de un sistema atraviesa períodos de estabilidad, donde rigen comportamientos unívocamente predecibles, alternados con períodos de inestabilidad, donde aquél puede “elegir” entre varias alternativas.

Lo necesario y lo aleatorio construyen así la Historia.

² Paul David, un especialista en Historia Económica, de la Universidad de Stanford, lo bautizó así en su artículo “Clio and the Economics of QWERTY”, American Economic Association, Papers and Proceedings, Mayo de 1985.

El futuro está "abierto". La teoría del caos nos enseña que aún si el mundo estuviera regido exclusivamente por leyes determinísticas sería *intrínsecamente impredecible* más allá de cierto horizonte temporal. Aunque cada página de la historia cósmica ya estuviera escrita desde antes del Big Bang nunca lo podremos probar: en el mejor de los casos sólo podemos llegar a conocer el próximo capítulo.

Autoorganización

Hemos visto cómo en las cercanías de un punto de bifurcación una perturbación puede generar un cambio de régimen. El sistema opta por alguna de las alternativas viables: se **autoorganiza**. Cambia siguiendo un determinado sendero. ¿Cómo se produce tal evolución? Los sistemas naturales pueden ser ilustrativos al respecto.

Mientras en los sistemas en reposo es prácticamente inexistente la comunicación entre sus unidades constitutivas -cada una ocupa su lugar sin preocuparse que hacen las restantes-, ello cambia radicalmente en las cercanías de un punto de bifurcación.

La "inestabilidad de Bénard" ha sido ampliamente utilizada como ejemplo típico de autoorganización. Se tiene un recipiente conteniendo un líquido que es calentado uniformemente por la parte inferior. Al alcanzarse una cierta diferencia de temperatura bien definida entre la superficie inferior -permanente calentada- y la superior -en contacto con el medio ambiente- se forman vórtices que distribuyen la capa líquida en celdas hexagonales de determinado tamaño. ¿Cómo es que millones de moléculas abandonan súbitamente su movimiento confuso y desordenado y lo reemplazan por un comportamiento coherente y organizado? Ello no sería posible sin la "comunicación" que se establece aún entre las partículas más alejadas. Mientras en las regiones estables la materia permanece en estado latente, en las regiones inestables se activa y se autoorganiza dando lugar a nuevas estructuras. Ello se ve posibilitado porque en esas áreas la activación de la materia se traduce en un desarrollo de las "comunicaciones de larga distancia" entre partículas.

Pensar determinados movimientos sociales como fenómenos de autoorganización, donde individuos, hasta ayer apáticos y aislados, se comunican y organizan en pos de determinados objetivos, no parece una pretensión absurda.

Comunicación

La comunicación juega un papel fundamental en los cambios sistémicos. No sólo porque, como hemos visto, la misma se intensifica en las cercanías de un punto de bifurcación sino también porque el *nivel* de comunicación o de aislamiento de un sistema define su capacidad de resistencia al cambio.

No siempre una perturbación en un sistema inestable genera una nueva estructura. Muchas veces, las fluctuaciones son amortiguadas y el sistema permanece estacionario. Para que una perturbación sea exitosa debe establecerse firmemente en una región y de ahí invadir el resto del sistema. Estudios teóricos y simulaciones numéricas han demostrado que el tamaño requerido del núcleo inicial para que una fluctuación sea exitosa es tanto menor cuanto mayor es el aislamiento de la región dentro del sistema. Es decir, a menor vinculación, menor estabilidad. Ello es así porque el medio que rodea a la región sujeta a perturbación tiende a atenuarla. Su éxito dependerá, entonces, del grado de aislamiento de dicha región respecto al resto del sistema.

Por otra parte, cuanto más complejo es un sistema, más numerosos son los tipos de perturbación que amenazan su estabilidad. Por tanto, a mayor complejidad, mayor es el requerimiento de comunicación para preservar la estabilidad del sistema.

Ahora bien, la teoría de las organizaciones nos dice que cuanto más grande una organización, mayor es el camino que debe recorrer la comunicación y mayor, por tanto, la cantidad de "ruido" que la afecta.

Por ende, uno podría colegir que los sistemas altamente complejos tienden a estar sujetos a una mayor cantidad de fluctuaciones perturbadoras y, al mismo tiempo, a una menor eficiencia en sus comunicaciones. Ambos factores juegan en favor de la inestabilidad. El derrumbe de grandes imperios, de enormes conglomerados o de sistemas sociales íntegros, podría ser analizado desde esta óptica.

Una vez que la perturbación se afianza en una región del sistema y las condiciones de éste lo acercan a un punto de bifurcación, se activan las comunicaciones y ello permite transmitir las fluctuaciones al resto de aquél.

Claro está que ello no significa que todo sistema complejo esté condenado a desaparecer. Basta con que sus intercambios internos sean suficientemente fluidos para que dicha posibilidad pueda aventarse. En tal caso, la dimensión crítica que una perturbación debe alcanzar para amplificarse y destruir al sistema es tan grande que la probabilidad de su ocurrencia es mínima. Pero eso sí: cuanto más complejo el sistema, mayores los requerimientos de fluidez comunicacional para preservar su estabilidad.

Orden y caos

Tradicionalmente, estos dos conceptos han sido vistos como antónimos. Allí donde imperaba el orden, era posible a la ciencia formular leyes. La existencia de orden significa que nada sucede en forma incondicional, arbitraria o irregular: todo acontecimiento responde a alguna ley objetiva, la conozcamos o no.

Por el contrario, caos proviene del griego *kaos*, que significa abismo. En las antiguas teogonías, el Caos precedía a todo tiempo y lugar, era como un espacio inmenso y en tinieblas. Decía Voltaire: "*Dieu debrouille le chaos, Dieu parle et le chaos se dissipe a sa voix*"³. El verbo disipa el caos, porque organiza, introduce orden donde no lo había. El caos fue siempre concebido como la ausencia de leyes. Los fenómenos caóticos eran aquéllos que se resistían a obedecer las leyes científicas. Hablar de una Ciencia del Caos parecía una contradicción en los términos.

Sin embargo, hoy existe una Ciencia del Caos. Extraño como suene, el caos también está sujeto a leyes. Este descubrimiento ha hecho posible una revolucionaria ampliación de las fronteras de la ciencia. El caos ha dejado de ser *terra incognita*, convirtiéndose, por tanto, en un nuevo territorio también sujeto al análisis científico.

Una de las mayores sorpresas que ha brindado la teoría del caos ha sido descubrir que un *mismo* proceso puede desembocar tanto en un estado ordenado como en un estado caótico, dependiendo de determinadas circunstancias. Pero en ambos casos, *la ley que rige el fenómeno es exactamente la misma*.

Más aún, la transición al caos sigue una ruta perfectamente regular y predecible, señalizada por una sucesión de bifurcaciones. Y dicha ruta es absolutamente universal, en el sentido que ha sido encontrada en muy diversos sistemas naturales.

El caos aparece así ya no como una manifestación del desorden sino como *una forma más compleja del orden*.

Evolución

La dinámica no lineal nos permite concebir el cambio social como un proceso de autoorganización, donde un sistema alejado de la región de

³ Véase Rocha (1992).

estabilidad alcanza un punto de bifurcación y experimenta un cambio de régimen.

La acumulación de cambios tecnológicos que culmina en la transición de una sociedad agraria a una industrial, el deterioro institucional generado por la derrota en una guerra que abre paso a las revoluciones políticas o, finalmente, las turbulencias sociales originadas por la disolución del sistema económico imperante que culminan en la instauración de uno nuevo son ejemplos ilustrativos.

En un nivel menos dramático, J. Lesourne (1993) ilustra el enfoque evolutivo aplicado al mercado laboral presentando tres modelos: uno describe el proceso de creación de un sindicato; el segundo analiza el proceso de diferenciación entre categorías de diferente nivel de calificación mientras que el tercero describe la dinámica de localización espacial de la fuerza laboral.

El análisis de la evolución prioriza el estudio de los **procesos** sobre las estructuras⁴. Y los procesos tienen lugar solamente en el tiempo. Pero el tiempo se desplaza en un solo sentido; por ende, los procesos son **irreversibles**. Lo ocurrido no puede ser des-ocurrido, si se nos permite la licencia.

El punto de vista atemporal, prevaleciente en la Física clásica, contrastaba con la necesidad del análisis de procesos temporales en las ciencias sociales. Por ello, los trasplantes metodológicos no podían menos que sentirse como un incómodo corsé impuesto a las ciencias sociales. Hoy, en cambio, los métodos desarrollados para el análisis de los procesos irreversibles junto con el redescubrimiento del tiempo en la Física, gracias a la labor de la escuela de Prigogine, han abierto un camino para el reencuentro entre las ciencias naturales y las sociales.

El cambio, como proceso de autoorganización generado por la evolución endógena de las fuerzas actuantes en un sistema, puede ser así pensado por las ciencias sociales en este nuevo marco analítico.

Conclusión

La dinámica no lineal nos provee de una herramienta conceptual más abarcativa que la dinámica lineal ya que un *mismo* modelo permite generar comportamientos *cualitativamente* distintos en respuesta a cambios cuantita-

⁴ Hemos definido una **estructura** como una cristalización temporaria de un proceso, un momento de éste -más o menos prolongado- en que los cambios son despreciables y la identidad se preserva. Véase Beker (1992). pág. 15.

tivos. En términos hegelianos, el cambio cuantitativo se traduce en cambios cualitativos.

Postular un comportamiento no lineal implica sostener que en la porción de realidad analizada la respuesta a iguales cambios no es uniforme. En cambio, la linealidad implica una suerte de pensamiento **precolombino**: significa que si, por ejemplo, nos movemos hacia el Oeste seguiremos siempre haciéndolo a igual velocidad y en la misma dirección; nunca podríamos llegar al Este. La linealidad implica que la respuesta ante cambios iguales será siempre de igual magnitud y dirección.

La dinámica no lineal abre el camino al estudio de los comportamientos cíclicos (periódicos) y caóticos.

La dependencia sensible a los datos iniciales es la característica esencial del caos. Su consecuencia más importante, la existencia de un horizonte temporal más allá del cual toda predicción es imposible.

El caos puede ser entendido como una forma compleja del orden.

Finalmente, la dinámica no lineal nos permite concebir el cambio social como un proceso de autoorganización, donde un sistema alejado de la región de estabilidad alcanza un punto de bifurcación y experimenta un cambio de régimen.

REFERENCIAS

BEKER, VÍCTOR A., "Hacia una teoría del no equilibrio económico", *Económica*, La Plata, Nos. 1-2, págs. 3-20, 1992.

LESOURNE, JACQUESJ, "Self-Organization as a Process in Evolution of Economic Systems" en DAY, RICHARD H. Y CHEN, PING (editores), *Nonlinear Dynamics and Evolutionary Economics*, Oxford University Press, Nueva York, págs. 150-166, 1993.

REEVES, HUBERT, *Malicorne: Reflexiones de un observador de la naturaleza*, Emecé Editores, Barcelona, 1992.

ROCHA, LUIS F., Una introducción a los sistemas caóticos, *Anales de la Academia Nacional de Ciencias de Buenos Aires*, Buenos Aires, págs. 2-29, 1992.