

RETOS Y DESAFIOS: El Desarrollo Cognitivo desde los Sistemas Dinámicos No Lineales

Rebeca Puche Navarro Ph.D
Mauricio Cortés
Doctorado en Psicología
Universidad del Valle
2009

Los últimos cuarenta años del siglo XX

- Estuvieron marcados, en lo que a la psicología del desarrollo se refiere, por una situación de crisis y de orfandad de las grandes teorías, algunas de las cuales venían haciendo agua. Autores como Hans Fisher, no vacilarán en denominar ese período, como el Final de los grandes Proyectos. Y Marc Lewis define esas décadas como de fragmentación e insularidad.
- Posteriormente al desarrollo de la crisis, irrumpe en la psicología un proyecto teórico novedoso. Basado en principios científicos generales y potentes. Ese proyecto teórico son los sistemas dinámicos no lineales (de aquí en adelante SDNL).

Cual es la situación de la disciplina psicológica en ese contexto?

- El panorama que la psicología ofrece, es el de una amplia divergencia entre tradiciones teóricas diversas que formulan proyectos que terminan siendo insulares cuando no incompatibles entre sí. Cada perspectiva es limitada, incompleta, y excesivamente especializada (Lewis, 2002).
- Los intentos de integración o síntesis para una visión comprensiva del desarrollo humano, se hacen cada vez más necesarios a pesar de ser cada vez más escasos. La cuestión es si es posible esa integración en la psicología del desarrollo, y como lograrla.

- Cuando nos preguntamos cuál es la característica fundamental de este final de siglo, debemos responder que es el énfasis en la inestabilidad, la evolución y las fluctuaciones, rasgos que podemos encontrar en todos los niveles, tanto en la sociedad como en la ciencia.

A qué debe responder una nueva propuesta de Psicología del Desarrollo?

Ese proyecto desde los SDNL debe responder a la fragmentación que se manifiesta en la proliferación de pequeñas teorías sobre el desarrollo.

Debe intentar responder con una propuesta mas integral que recoja la multiplicidad de factores que afectan y definen la naturaleza del desarrollo, así como la naturaleza desigual que presenta.

A que debe responder una nueva propuesta de Psicología del Desarrollo?

Igualmente debe proporcionar nuevas metodologías para completar el proceso de re-planteamiento conceptual. Los abordajes que caracterizan los tratamientos actualmente no parecen estar en capacidad de capturar la naturaleza del desarrollo.

La manera como el desarrollo de un patrón (léase cognitivo, social o afectivo) es afectado y es consecuencia de iteraciones, es quizá uno de los problemas que presenta mayores dificultades para capturarse y resolverse. Algunos autores, también, reclaman el divorcio entre teoría y cuerpos de datos, como una situación a resolver (Valsiner, 2002, Lewis 2000)

Características de los fenómenos del desarrollo cognitivo

- El desarrollo cognitivo planteado como el resultado de un conjunto de factores, tiene tradiciones teóricas diversas.

Dificultades sobre la naturaleza del desarrollo

- Mucho se ha dicho que los procesos de conocimiento, así como el aprendizaje, y en general el acceso al conocimiento, no son lineales (Valsiner, Van Geert, Fisher). Carecen de secuencias fijas, y determinadas, no tienen los mismos pre-requisitos ni condiciones.
- Por otra parte, los ritmos en el desarrollo no son estables, y aunque a nivel macro existe una cierta regularidad, el nivel micro está muy marcado por la variabilidad, tanto inter-sujetos como intra-individual. En ese estado de cosas, los SDNL ofrecen un conjunto de tratamientos desde los cuales dar cuenta de discontinuidades que hasta el momento han sido difíciles de modelizar.

Qué son los sistemas dinámicos no lineales?

Constituyen una amplia teoría, que se puede aplicar a “cualquier cosa o proceso particular compuesto de un número de variables y que definen parámetros del sistema.

Al asignar valores cuantitativos a estas variables, crea una imagen matemática del sistema. El SDNL es un modelo matemático que describe la variación de esta imagen sobre el tiempo”. (McNabb, 1999)

En los tres volúmenes de Henri Poincaré sobre *Les méthodes nouvelles de la mécanique céleste* 1890-

- Se anuncia la teoría del caos, aunque ella solamente se desarrollara a partir de 1960.
- “Puede suceder que pequeñas diferencias en las condiciones iniciales, engendren unas diferencias muy grandes en los fenómenos finales. Un pequeño error inicial puede producir un enorme error al final. La predicción se vuelve imposible y entonces tenemos fenómenos inesperados” dicho de otra manera “Una pequeña variable que se nos escapa puede interaccionar con otras, y cuyo efectos no podemos ver, entonces decimos que ese efecto es debido al azar”.

Poincaré, con la solución al problema de los tres cuerpos celestes y a la estabilidad del sistema solar, siembra las bases de la conceptualización del caos, a finales del siglo XIX, partiendo de una pregunta acerca de la estabilidad del sistema solar:

“Al sistema ideal de dos cuerpos se añadió un término que incrementaba la complejidad no lineal (retroalimentación) de la ecuación y se correspondía con el efecto pequeño producido por el movimiento de un tercer cuerpo”. Briggs y Peat, 1994 *"Poincaré abrió el rumbo para tratar los problemas de estabilidad en sistemas dinámicos complejos"* (Sametband, 1994, pp.71-72.

Sir James Lighthill, presidente de la Unión Internacional de Mecánica Pura y Aplicada, en 1986 decía

- “Llegados a este punto debo hacer un alto y hablar en nombre de la hermandad de los expertos en mecánica. Talvez el entusiasmo de la mecánica newtoniana nos llevó a hacer generalizaciones en el campo de las predicciones que han resultado falsas.
- Queremos pedir disculpas colectivamente por haber inducido a error al público al propagar, a propósito del determinismo de los sistemas que cumplen las leyes newtonianas del movimiento, unas ideas que después de 1960 ya no se pueden sostener” (Prigogine, 1999, p 45)

Por lo menos dos enfoques para la teoría del caos

El uno se identifica con el atractor extraño de Ed Lorenz. El otro, con los trabajos de Ilya Prigogine.

La propuesta de Lorenz se desarrolla más en un nivel técnico y es más prolija en los cálculos y en las fórmulas que utiliza.

La de Prigogine está más centrada en el surgimiento espontáneo del orden y la auto-organización de los sistemas caóticos. Tiene más extensiones de carácter cualitativo y heurístico. Pretende abarcar otras dimensiones del conocimiento más allá de la física y de la termodinámica.

EL CAOS PARA LORENZ

Bircchoff, heredero de Poincaré, va a dirigir la tesis de doctorado de Lorenz .

‘Procesos que parecen comportarse de acuerdo con el azar aunque, de hecho, su desarrollo esté determinado por leyes bien precisas’ (Lorenz, 1993).

- Lorenz descubre el ‘atractor más extraño del mundo’ (1963), que describe trayectorias de un sistema que no acaban ni en un punto fijo, ni en un ciclo límite estable, pero que sin embargo no divergen a infinito. Buena parte del valor del sistema de ecuaciones que trabaja Lorenz, es que se trata de ecuaciones no lineales que producen comportamientos no periódicos

El atractor mas extraño del mundo es el **efecto mariposa**?

Lorenz dice que no está seguro si esto se debe a un malentendido en la vulgarización exitosa del libro de James Gleick, o al hecho que el atractor toma la forma de las alas de una mariposa.

De todas maneras y según Lorenz “la mariposa ha sacado muchas ventajas a sus potenciales competidores desde el libro de J.Gleick”, cuando la realidad es que sus alas no podrían sostener todo el peso de sus implicaciones. Es decir, el atractor extraño pone al descubierto que factores muy pequeños pueden afectar sistemas muy complejos. (Lorenz, 1995)

El atractor mas extraño del mundo es el efecto mariposa?

El interés del descubrimiento del atractor extraño es el vínculo existente entre la falta de periodicidad de un sistema y su impredecibilidad. (Declaración de Lorenz realizada en una entrevista con J. Gleick, 1987, pág. 26).

Se trata de sistemas en los que el determinismo y predecibilidad dejan de ir juntos. Los sistemas caóticos, son deterministas en la medida en que se generan por unas reglas que no encierran en sí mismas ningún elemento de azar. Pero por otra parte, el comportamiento es impredecible al cabo de un breve tiempo. Las pequeñas incertidumbres se agrandan hasta dominar el sistema

Cuando la trayectoria es cerrada el movimiento es determinista y el atractor estable. Cuando la trayectoria es abierta es un atractor inestable

Las diferencias iniciales en los sistemas determinísticos no se incrementan siempre de la misma manera

- En algunos casos “una diferencia inicial de una unidad entre dos estados se incrementa hasta en centenar de unidades, mientras que otros, con una diferencia de una millonésimas puede incrementarse en una centésima” (Lorenz 1995 p. 7) A los primeros se les considera caóticos, pero no a los segundos, aunque comparten algunas propiedades”.
- Las teorías caóticas de Lorenz entonces son la posibilidad de descubrir un orden oculto dentro de sistemas con dinámicas caóticas (Navarro Cid, p50).

La posición de Prigogine

- Con Poincaré se abre la posibilidad de introducir sistemas inestables, lo que para Prigogine implica reorganizar una concepción mas general de ciencia. “La introducción del caos obliga a generalizar la noción de ley de la naturaleza y a introducir en ella los conceptos de probabilidad e irreversibilidad. (Prigogine, 1999, p 13).
- El fondo de la cuestión de la estabilidad y de la inestabilidad, y, consecuentemente, del límite de la predictibilidad, está realmente en saber si el universo se rige por leyes deterministas o no.

- Prigogine cuestiona un único marco de las leyes causa-efecto, propia de la tradición de la mecánica, para encontrar todas las explicaciones, incluidas las explicaciones para la clase de fenómenos en el que no se mantienen las condiciones de sistemas en equilibrio.
- Lo que cuestiona no es el paradigma, sino el permanecer dentro de él, como el único para todos los sistemas (Prigogine,& Stengers, 1984)).

Algunas características de los sistemas caóticos :

1. No son posibles las predicciones a largo plazo,
 2. Son fuertemente sensibles a las condiciones iniciales
 3. Buscan patrones en escala holística, no restrictiva
 4. Solo se entiende la conducta a largo plazo,
 5. Se ocupa de sistemas inestables y aperiódicos.
- En el que las variables nunca caen en un patrón regular de repetición sino que parecen divagar de manera aparentemente aleatoria.

Frente a dinámicas de punto fijo, un valor que se repite en el tiempo, o dinámicas cíclicas, valores por los que pasa periódicamente el sistema

- Los SC tienen la propiedad de no visitar el mismo lugar dos veces. Como diría Shaw, los sistemas caóticos, o en concreto los atractores extraños, son máquinas de información.
- De alguna forma, la no linealidad crea información donde no la hay. El movimiento fortuito no está en las ecuaciones de Lorenz, por ejemplo. “Parecía algo gratuito o algo brotado de la nada” (Doyme Farmer, declaración realizada en una entrevista con J. Gleick,

La aproximación a los SD y algunos elementos que conciernen la teoría del caos

Para entender mejor el entronque de los SD con los problemas de una concepción de desarrollo en psicología, se esbozan algunos de sus elementos conceptuales fundacionales.

Igualmente se ilustran algunas alternativas metodológicas posibles desde los SD para recoger y para tratar la información en el caso de estudios del desarrollo cognitivo.

Identificación de algunas Características Claves de los SDNL

- Los SDNL introducen una serie de conceptos pertinentes y promisorios para el análisis de los fenómenos encontrados en el desarrollo cognitivo.
- 1. Auto-organización, iteración y emergencia
- 2. No linealidad,
- 3. Rompimiento de una concepción esquemática de relaciones causa efecto, y presencia de interacciones interdependientes
- 4. Ruptura de la separación tajante entre sujeto – objeto y consideración de formas mas integradoras.

En un nivel mas metodológico conceptos fractales y atractores

- Fractales unidad de analisis que permite visualizar mecanismos
- Atractores que concretizan las tendencias hacia las movilizaciones

Atractores

- Atractores que concretizan las tendencias hacia las movilizaciones
- Unidades de análisis permiten descubrir zonas o campos de atracción que atrapan la conducta del sistema. Moviéndose dentro de ciclos periódicos de comportamiento regular, el atractor representa una danza orbital predecible pero al mismo tiempo única, puesto que la trayectoria del atractor nunca pasa por el mismo punto. (Cornejo Alvarez, 2000)

Inextricablemente unidos y relacionados

- Los cuatro principios expuestos no se pueden concebir de manera aislada, la realidad es que están inextricablemente ligados

Auto-organización

- Este principio provee la idea de que coherencia es generada por las relaciones entre los componentes orgánicos, las constricciones y oportunidades del medio (Smith & Thelen, 2003) Principio integrador de las múltiples facetas del desarrollo en diversidad. Para Thelen, diferentes partes de un sistema no requieren de un agente o un programa que produzca la organización de los patrones.
- Cuando un sistema complejo se auto-organiza, el desarrollo puede ser enfocado entonces como unas series de patrones envolventes de una estabilidad dinámica, mas que como una inevitable marcha hacia la madurez. (Smith & Thelen, 2003)

Auto-organización

- Tal vez es Marc Lewis uno de los autores que mas ha insistido y formulado la auto-organización como concepto fundacional en una psicología desde los SDNL
- Para él el término emergencia tiene un significado especial, en una explicación científica : se refiere a la aparición de nuevas formas o de propiedades a través del surgimiento de procesos intrínsecos al propio sistema.
- Complementariamente a auto-organización significa que ningún elemento en particular tiene una prioridad causal. Como muy lúcidamente lo señala Thelen

Auto-organización

- Desde los SD se puede empezar a ver el cambio en el desarrollo, tan indeterminado como creativo, y capaz de responder y caracterizarlo más como una emergencia que como un crecimiento, aprendizaje o construcción. Ninguna teoría particular de la auto-organización se ha establecido en el campo del desarrollo humano (aunque Thelen y Smith estuvieron cerca). Sin embargo los principios de la auto-organización son capaces de resolver algunas de las contradicciones entre enfoques tradicionales, incorporando sus insights, y sugieren el camino para una integración (Lewis)

No linealidad y relación causa efecto

- En los sistemas no lineales las relaciones causa-efecto no son sencillas. Un cambio en una de las variables, puede afectar de manera desproporcionada el valor de otra.
- Causa y Efecto funcionan dentro de una lógica de la proporcionalidad que responde a las leyes de la física
- Entonces para dos variables con trayectorias inicialmente cercanas, el comienzo de turbulencia puede ser que una se diverja radicalmente de manera no predecible por la física clásica. El motor de la no-linealidad es lo que se conoce como *iteración* o el fenómeno de *retroalimentación positivo*

Y las relaciones causa-efecto ?

Ningún elemento tiene una prioridad causal.

- . Así como en la naturaleza de muchos otros sistemas complejos, esos sistemas pueden exhibir una conducta coherente : las partes son coordinadas sin un agente ejecutivo o un programa que produzca la organización de los patrones. El ejemplo de la conducta de gatear. Conducta estable por algunos meses, que se desestabiliza al aparecer los patrones del caminar y de pararse. No hay un 'programa' para gatear, no hay genes en el Sistema Nervioso para gatear. Lo que hay es una auto-organización para solucionar un problema (moverse a lo largo de un cuarto) que mas tarde es reemplazada por una solución mas eficiente

La emergencia no es simplemente otra metáfora

- Es un principio general que puede ser aplicado a comprender cambios y novedades en todo sistema natural y es la principal llave de entendimiento de los principios subyacentes a la auto-organización (Lewis)
- Aquí hay un análisis recursivo interno interesante del cambio en las propias conceptualizaciones psicológicas
- Antes de entender esta noción profunda de la auto-organización, es importante ver como los modelos emergen de cada una de las tradiciones teóricas en la psicología del desarrollo. (Lewis)

- El desarrollo del organismo, desde el marco de los SDNL es un sistema complejo compuesto de muchos elementos individuales encapsulados y que se abre a un complejo entorno. Son series de patrones envolventes con una estabilidad dinámica La coherencia es generada únicamente de las relaciones entre los componentes orgánicos y las constricciones y oportunidades del medio.

Y de la separacion artificial del sujeto-objeto

Los SC se componen de gran número de partes o elementos que interactúan de manera no lineal y entre los cuales existen fuertes interdependencias. El carácter no lineal de las interacciones conlleva a que el comportamiento caótico, sea un ingrediente fundamental de los sistemas complejos” (Campos, 2003, p.83)

Se trata entonces de un sistema en el que la iteración es fundamental. Para generar caos hace falta inestabilidad (no-linealidad) y retroalimentación.

Ilustraciones para el desarrollo cognitivo

- El modelo de crecimiento logístico como ejemplo elemental de un SDNL y sus características (no lineal, iterativo, determinístico, auto-organizado, con atractores...

La ecuación logística

- El modelo de crecimiento logístico propone que :
- El nivel de crecimiento de una variable (léxico, comprensión de roles sociales, ...) se explica o depende de su tasa de crecimiento y su nivel máximo posible (o de equilibrio).

$$V_t = V_{t-1}(1+r-r(V_{t-1}/K))$$

- $V_t = V_{t-1} + r t \dots$ nada de esto sucede

- Esto se puede computar matemáticamente como:

- $V_t = V_{t-1}(1+r-r(V_{t-1}/K))$

- Donde

V_t = Nivel de la variable en periodo t

r= tasa de crecimiento

K=nivel máximo de la variable o de equilibrio.

- Veamos a partir de este modelo las propiedades de los sistemas dinámicos no lineales:

- $V_t = V_{t-1}(1+r-r(V_{t-1}/K))$



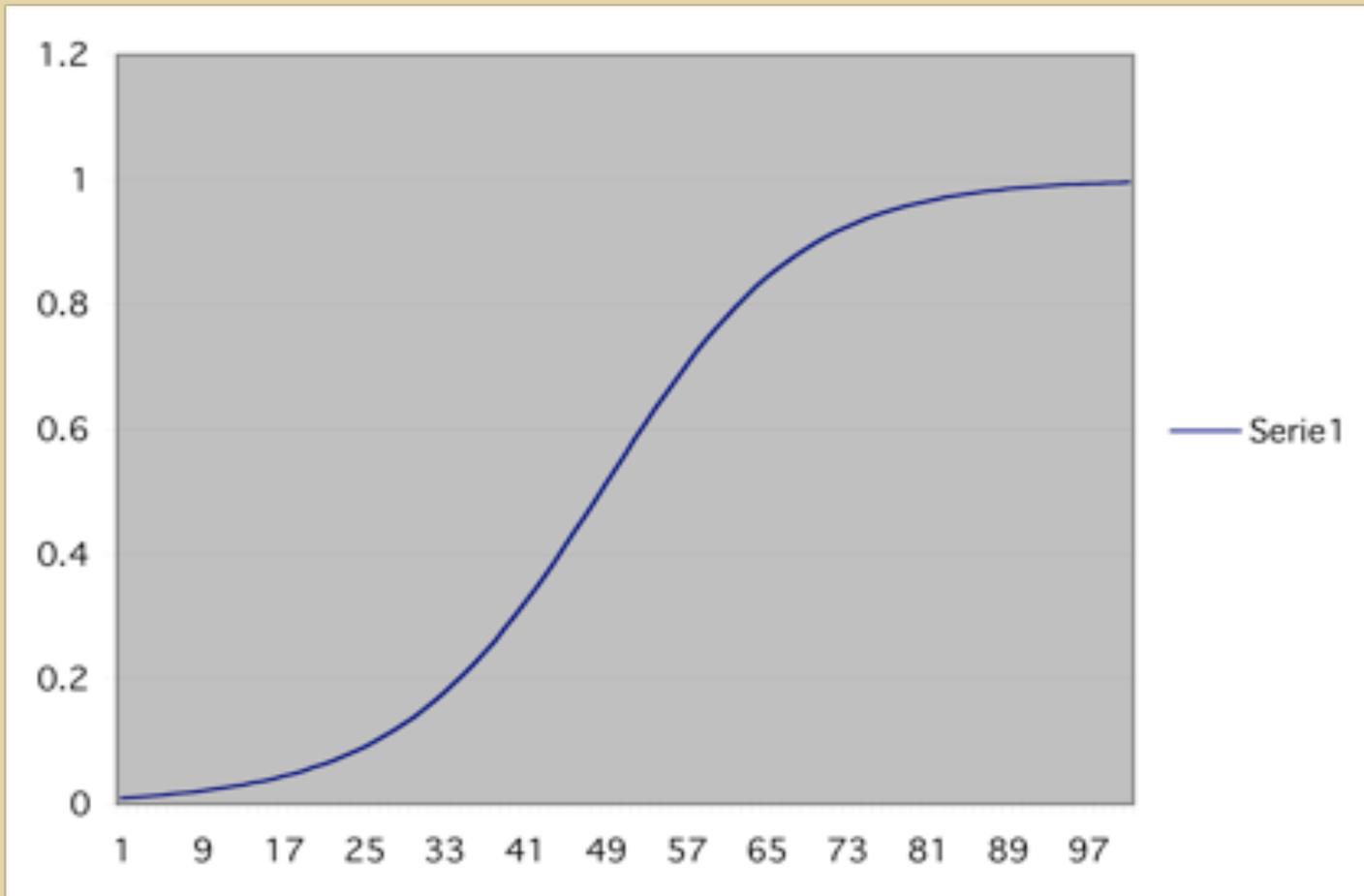
- Es iterativo o recursivo porque para hallar el nivel o estado en un momento (V_t) se requiere su valor en el pasado (V_{t-1}).
- Es determinístico porque el valor de V_t está determinado por completo por la ecuación definida

- $V_t = V_{t-1}(1+r-r(V_{t-1}/K))$

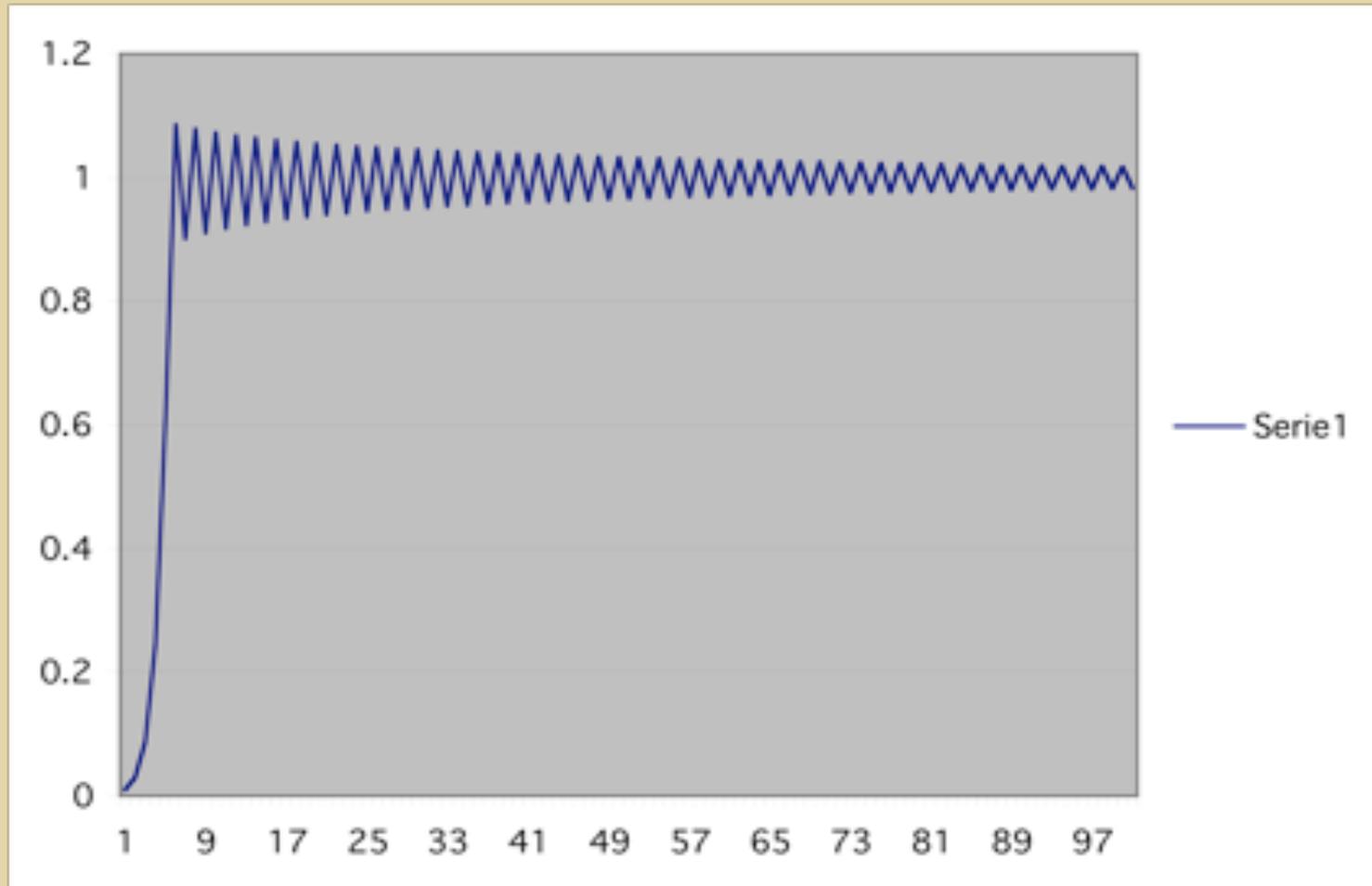
- Es no lineal porque si se cambian los parámetros (por ejemplo r , la tasa de crecimiento, el parámetro de control) los efectos sobre la variable V_t pueden cambiar cualitativamente y de manera significativa.
- Puede no ser proporcional genera un salto abrupto. Los resultados no son proporcionales a las causas

- $V_t = V_{t-1}(1+r-r(V_{t-1}/K))$
- Es auto-organizado o autocatalítico pues no depende de influencias externas para su funcionamiento y del el emergen sus propios resultados, que pueden ser totalmente novedosos.
- Es sensible a las condiciones iniciales.
Veamos...

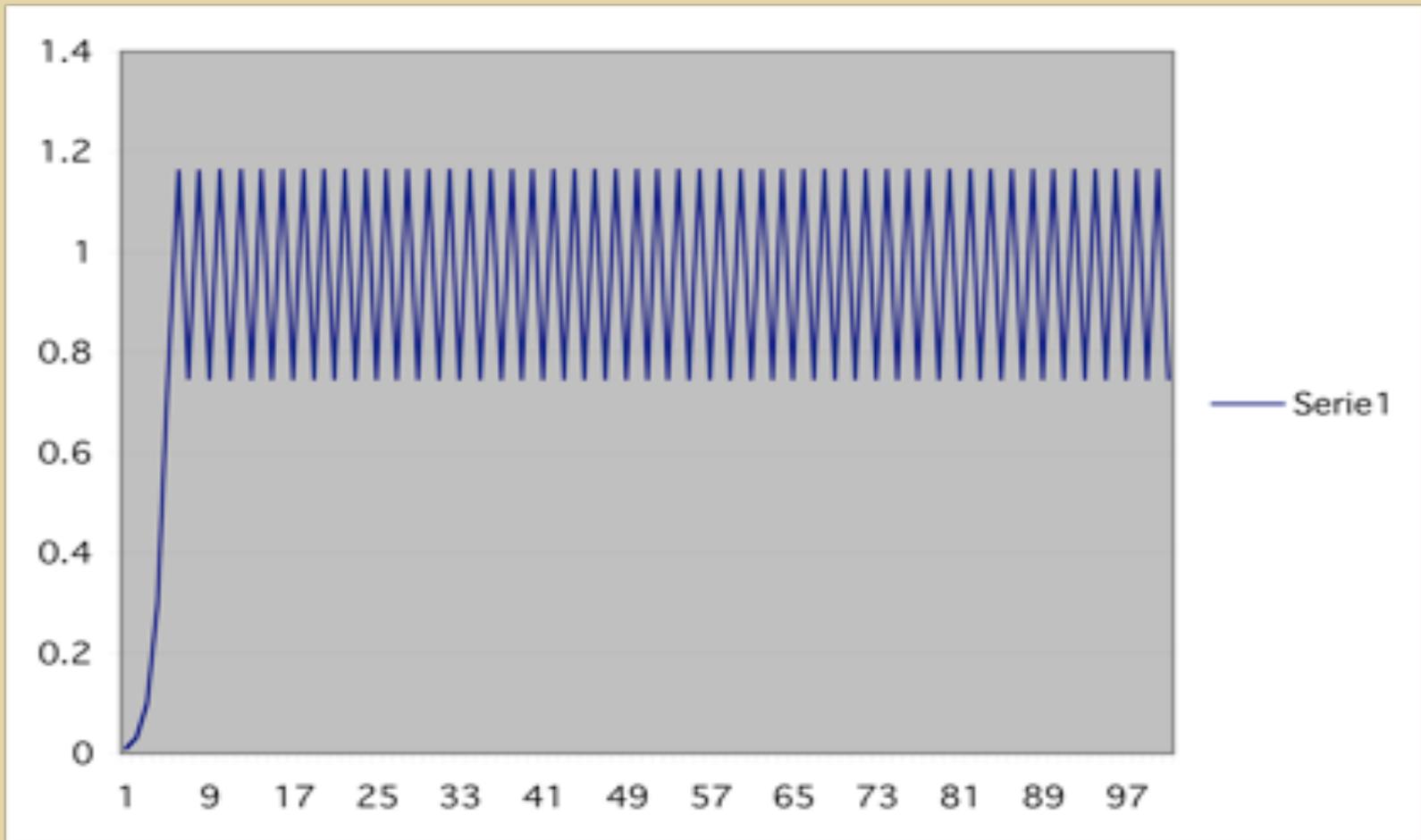
No linealidad: Si r es menor a 1 (0.1), se da un crecimiento asintótico (atractor de punto)



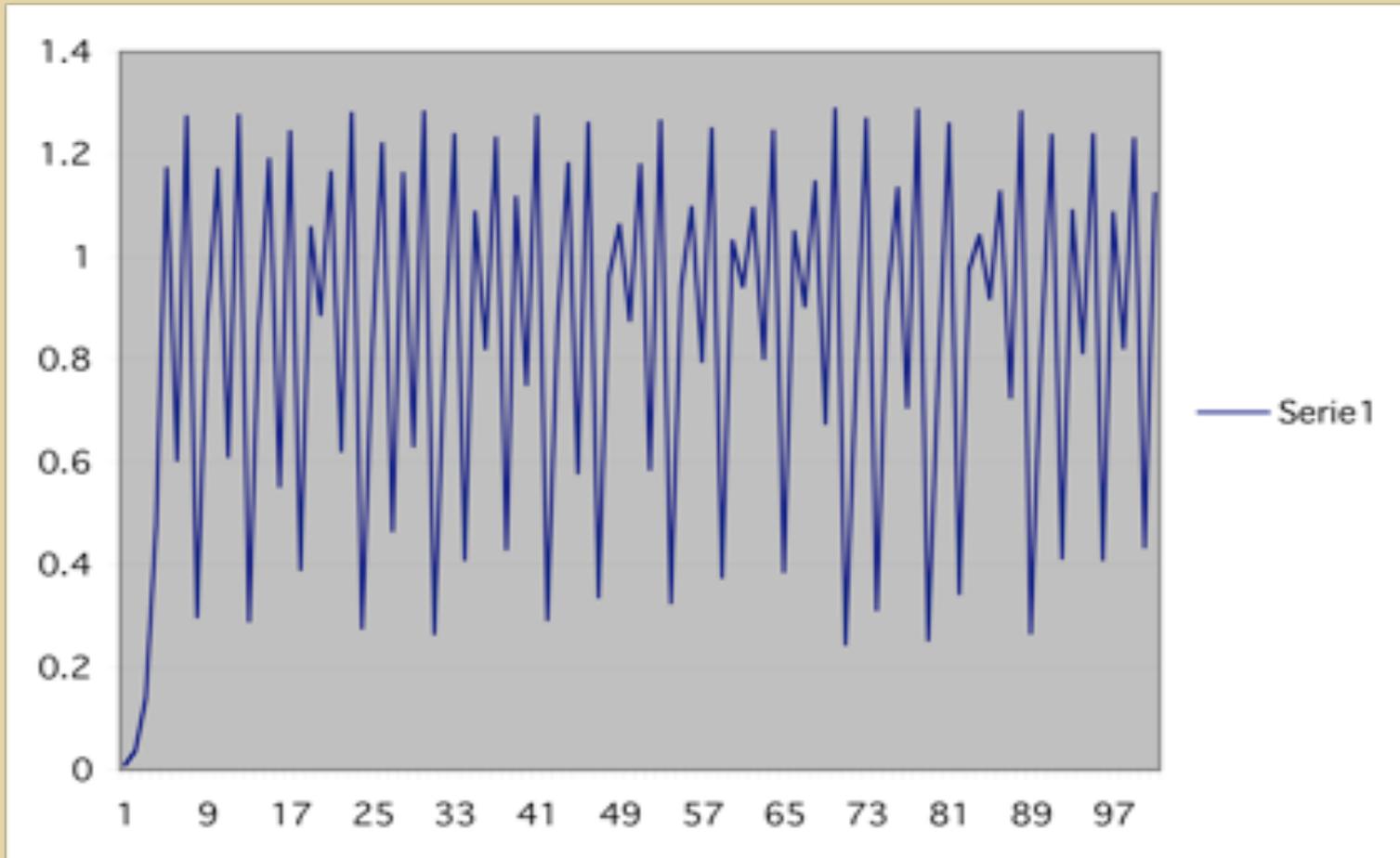
No linealidad : pero si r está entre 1 y 2 (1.99)
se da un crecimiento aproximado (atractor de punto)



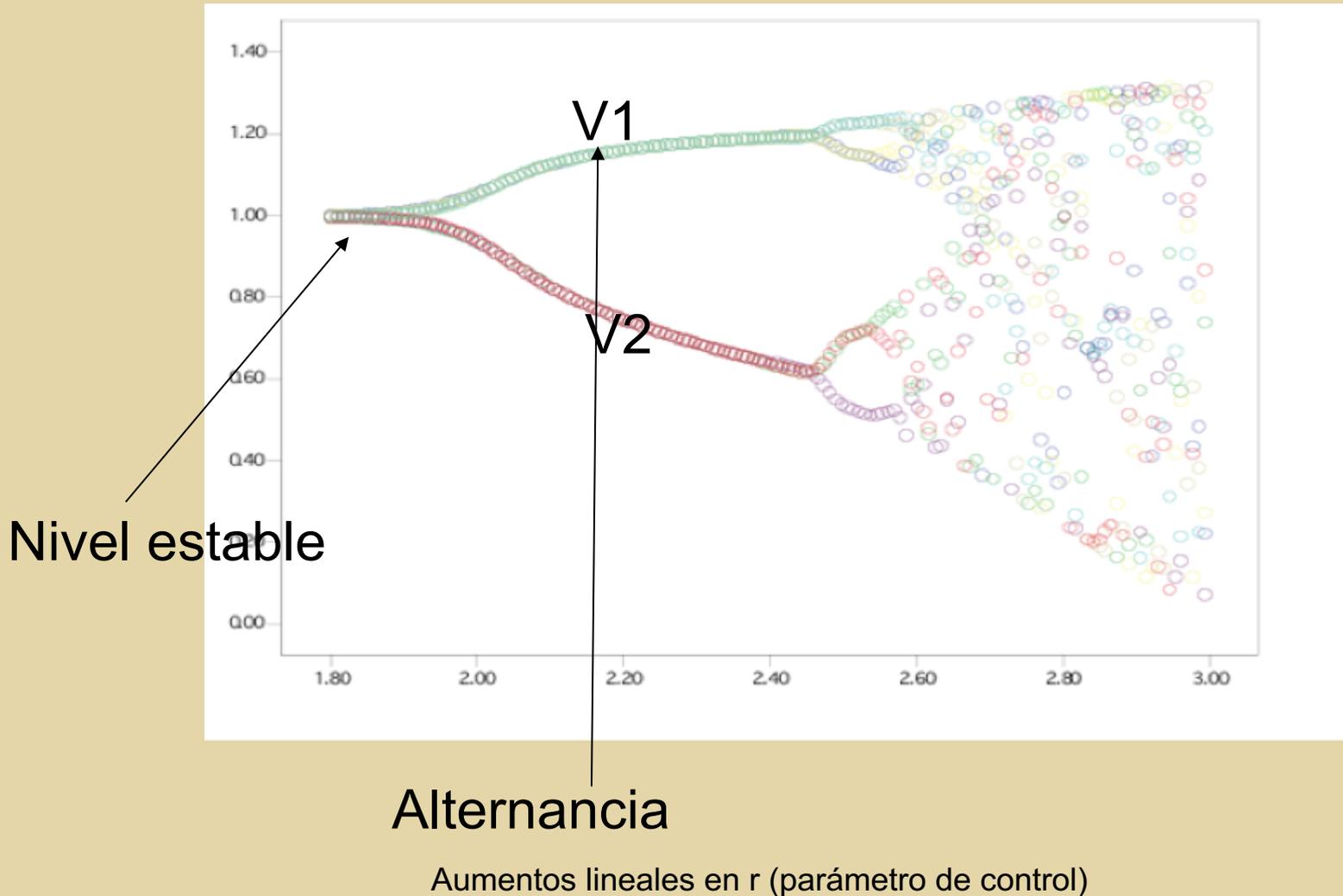
No linealidad: pero si r está entre 2 y 2.57 (2.2) se da un crecimiento oscilatorio (atractor cíclico)



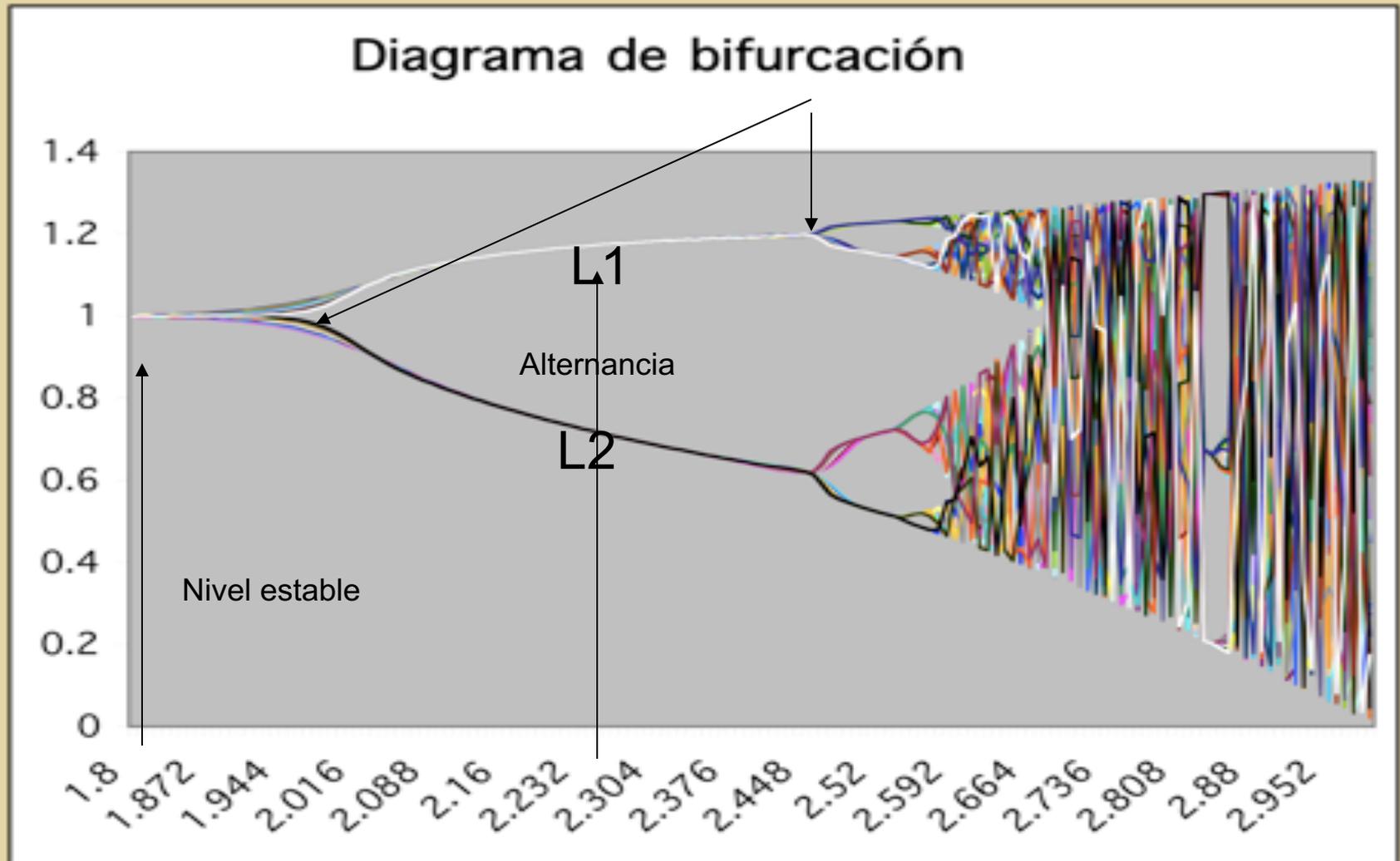
Finalmente, si r es mayor a 2.57 (2.8) se da un crecimiento caótico (atractor caótico)



No linealidad: Además, el modelo presenta bifurcación, (incremento lineal en el parámetro de control (r o tasa de crecimiento), conlleva a cambios súbitos en el estado final (V_t).

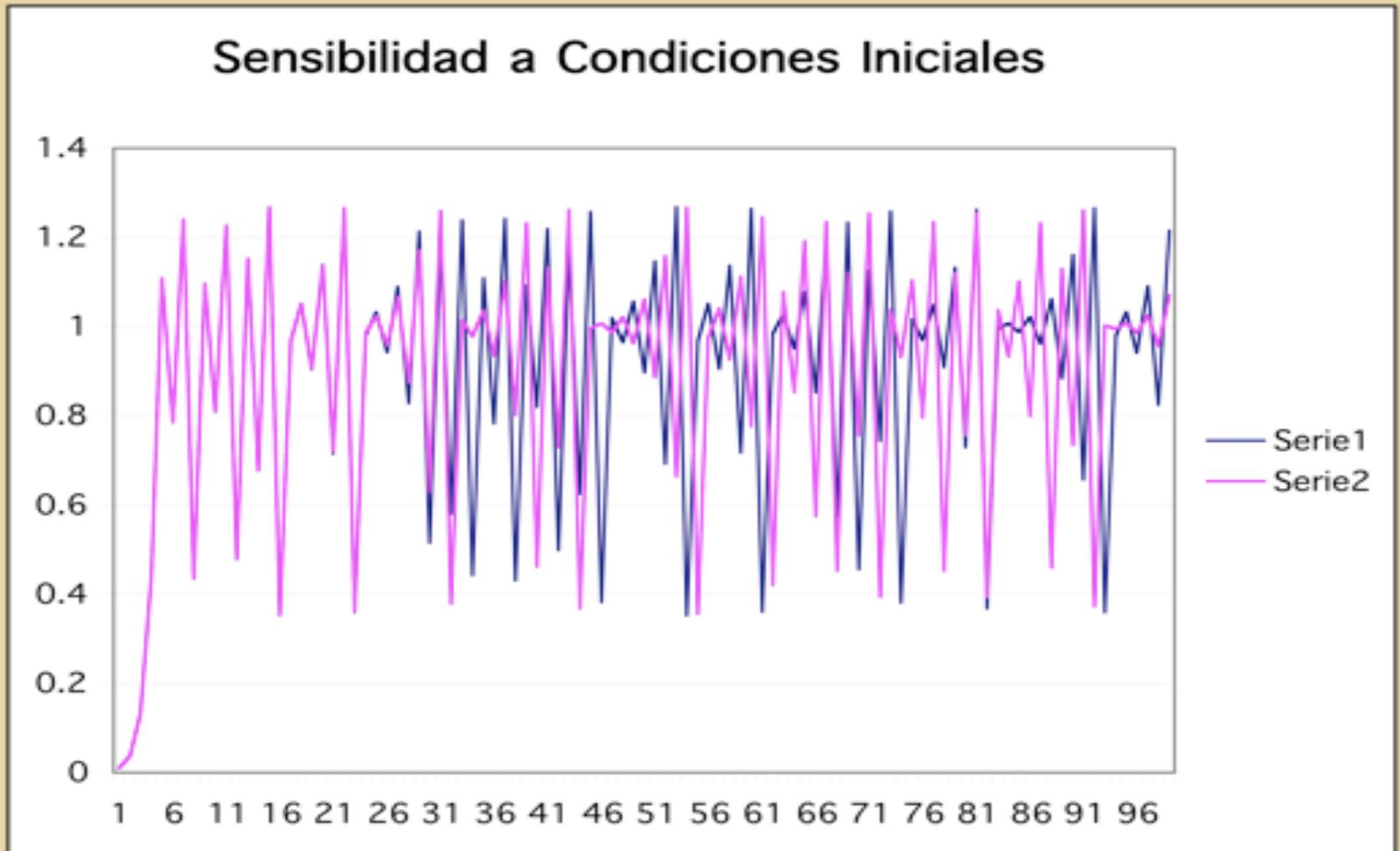


No linealidad: Además, el modelo presenta bifurcación, (incremento lineal en el parámetro de control (r o tasa de crecimiento), conlleva a cambios súbitos en el estado final (V_t).

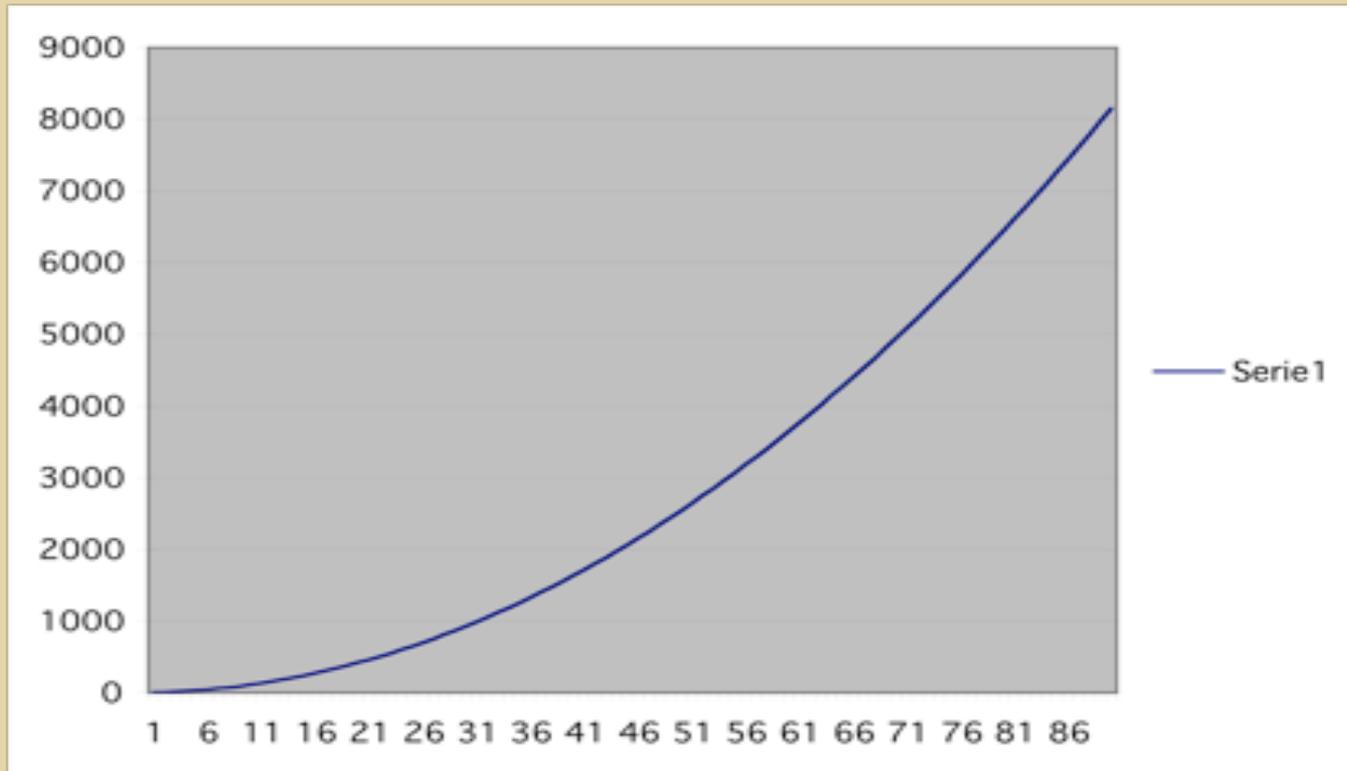


Aumentos lineales en r (parámetro de control)

Finalmente, el modelo logístico presenta la característica de ser altamente sensible a las condiciones iniciales: En el mismo modelo, la línea roja tiene un valor inicial de 0.1 y la línea azul de $(0.1 + 0.000001 !!)$



En un modelo lineal del tipo
 $V_t = V_{t-1} + r t \dots$ nada de esto sucede



La construcción de modelos no lineales que den sentido a teorías psicológicas (conceptualmente definidas) continúa...

Solo por vía de ejemplo Van Geert y Steenbeck (2005) proponen un modelo de corto plazo de interacción social (diádica) entre niños que busca modelar la relación entre el status social, las destrezas sociales y la interacción social.

Se trata de un modelo de dos ecuaciones en diferencias acopladas (la una depende de la otra), que modela la proporción de comportamiento de “integración” (involvement) en una diada.

$$\Delta I / \Delta t = a(P_I - I_t) + b(P_I - Y_t) + e(Y_t - I_t),$$

$$\Delta Y / \Delta t = c(P_Y - Y_t) + d(P_Y - I_t) + f(I_t - Y_t).$$

El modelo plantea que el nivel de integración del niño depende de tres componentes

Figura 2.

Representación gráfica de las relaciones que se derivan del modelo de regresión lineal

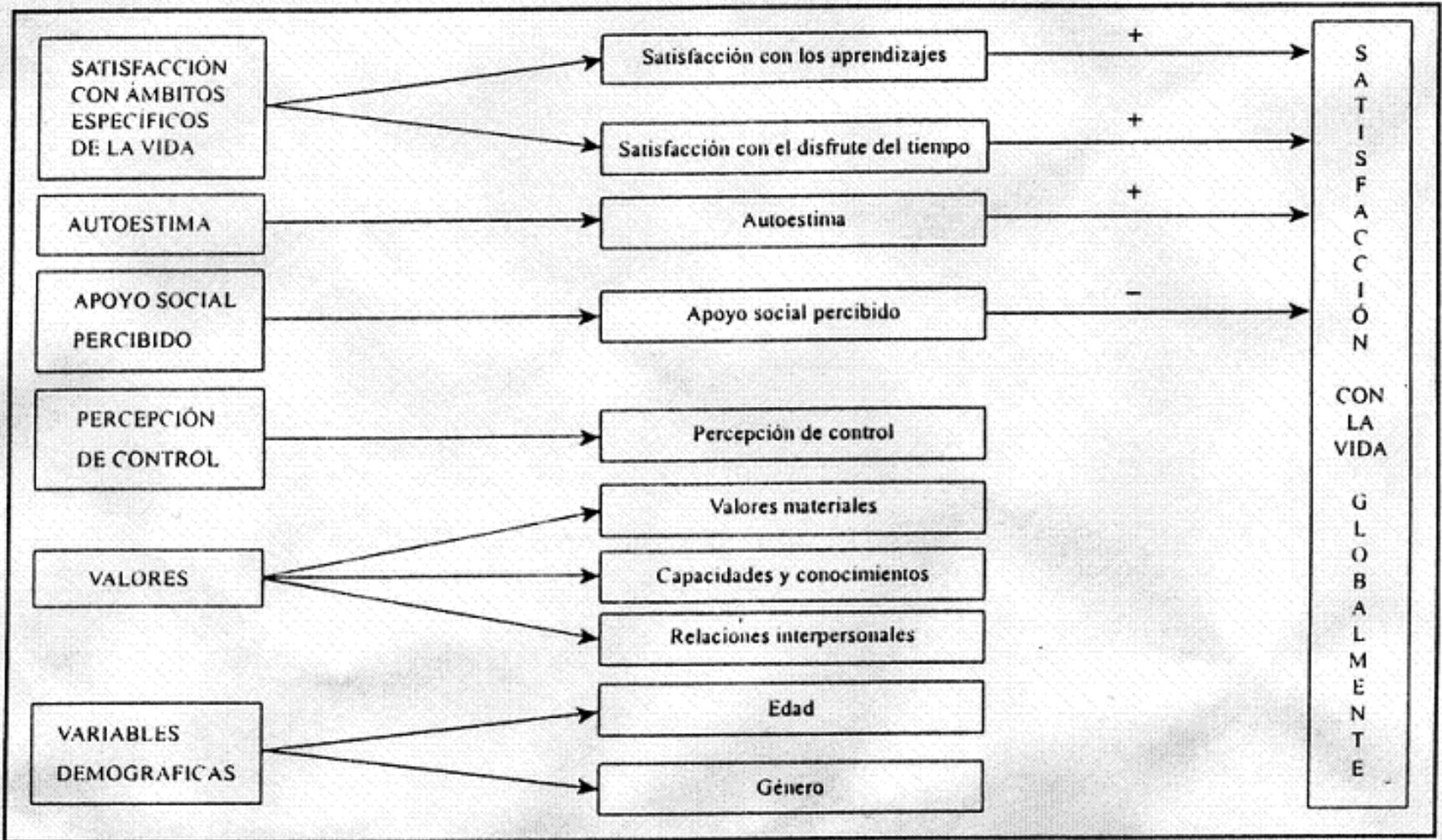
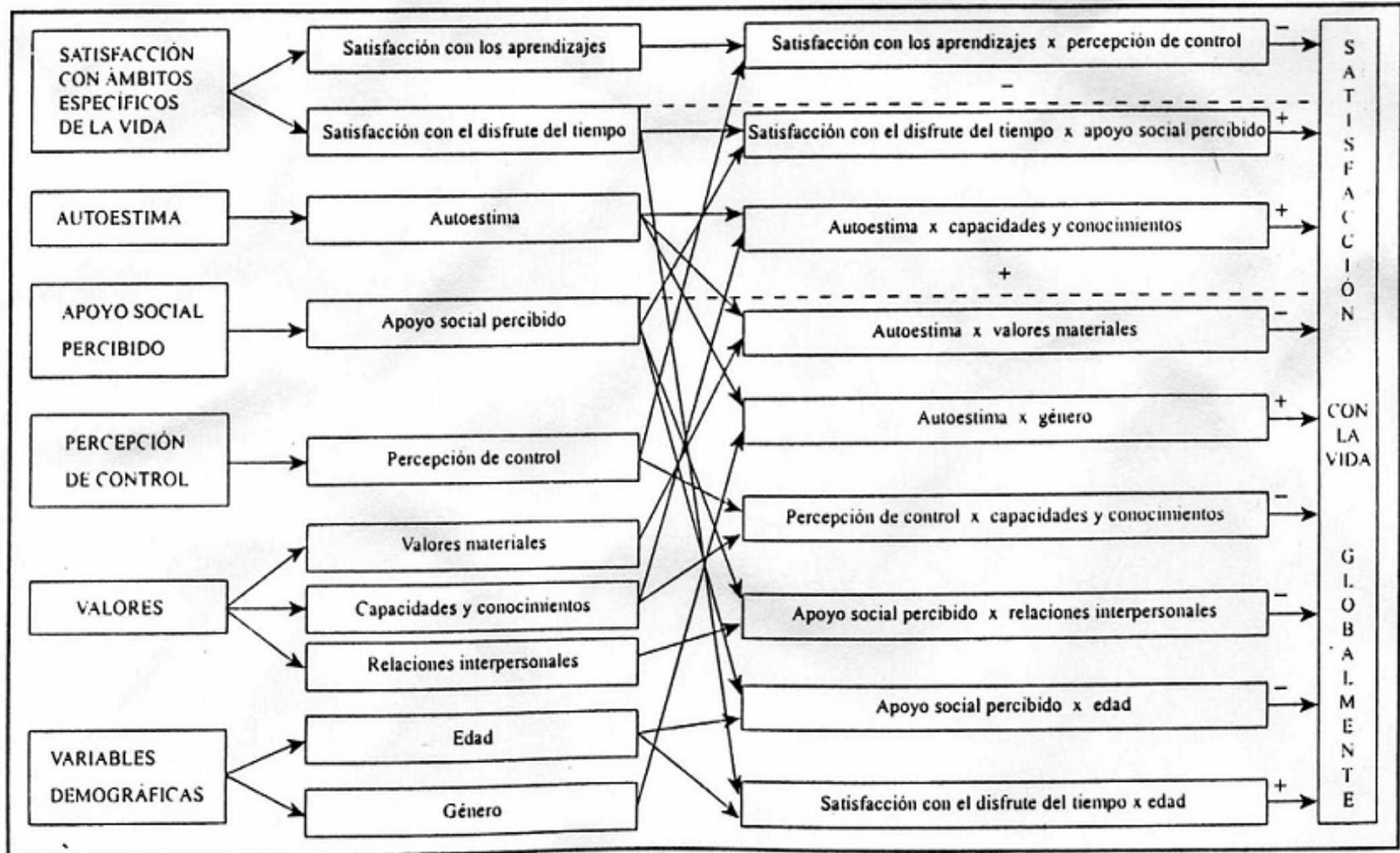


Figura 3.

Representación gráfica de las interacciones que se derivan del modelo de regresión no lineal



$$\Delta I / \Delta t = a(P_I - I_t) + b(P_I - Y_t) + e(Y_t - I_t),$$

$$\Delta Y / \Delta t = c(P_Y - Y_t) + d(P_Y - I_t) + f(I_t - Y_t).$$

El primer componente modela el nivel de “satisfacción” por un cierto nivel de integración (mutua y coherente) en la interacción con el otro.

El segundo representa un componente de “contagio” y trata de representar la adaptación del niño al nivel de integración que realiza el otro.

El tercer componente trata de modelar la influencia que ejerce el niño sobre el otro para adaptarlo a su nivel preferido de interacción.

$$\Delta I / \Delta t = a(P_I - I_t) + b(P_I - Y_t) + e(Y_t - I_t),$$

$$\Delta Y / \Delta t = c(P_Y - Y_t) + d(P_Y - I_t) + f(I_t - Y_t).$$

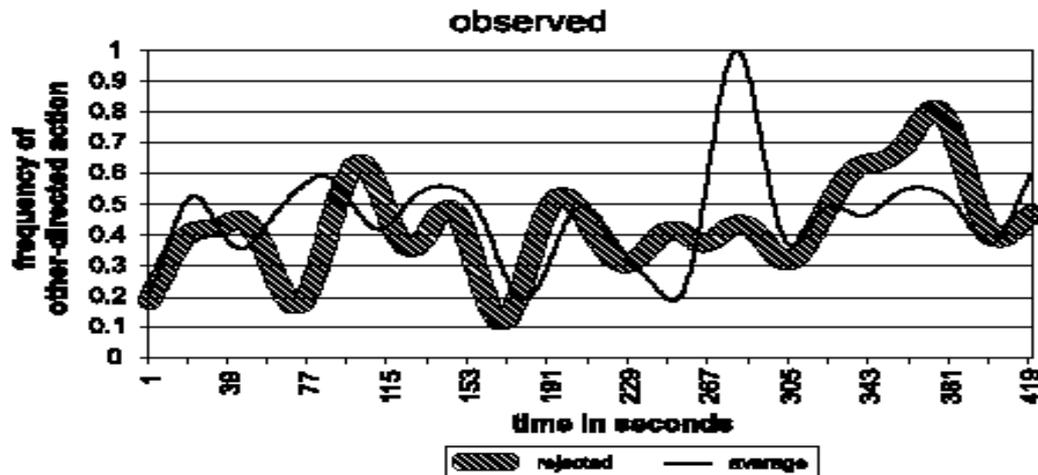
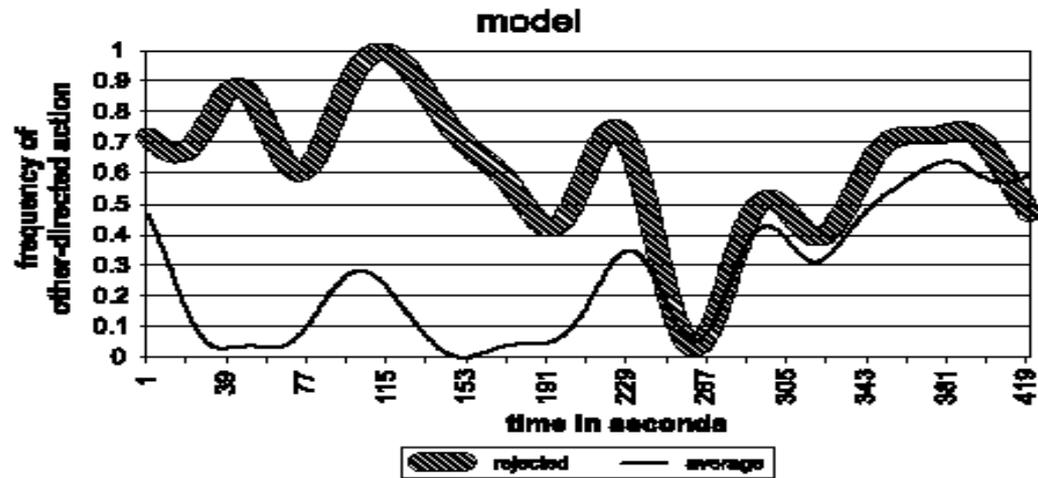
Las Variables son pocas:

I, Y = Nivel de integración de cada niño (level of other-directed action)

P= Nivel preferido de interacción social

dI/dt = Cambios en los niveles de interacción social en un intervalo de tiempo

Los resultados del modelamiento pueden ser contrastados con las observaciones y dar luces sobre la validez del modelo propuesto y la teoría subyacente...



La variabilidad

- En la teoría de los SD la métrica no es lo que el niño tiene, no es una habilidad estática o un concepto inmodificable. Antes bien, en la medida en que es un sistema que está siempre en flujo, la dimensión más importante, es la estabilidad relativa de la conducta en su contexto particular a lo largo del tiempo [36]. Las nuevas medidas de la variabilidad permiten a los investigadores ver trayectorias de cambio a lo largo de cortas escalas de tiempo en las SRP o a lo largo del desarrollo.

Thelen y van Gert

- Thelen ha recreado la teoría de los SD en una teoría específica dentro de las teorías del desarrollo
- Presenta una teoría particular del desarrollo como un proceso que tiene lugar en tiempo real y en acción y que involucra una gran lupa sobre las interacciones entre una persona que actúa y sus acciones sobre el medio.
- Por otra parte para Van Geert y su equipo, el enfoque del desarrollo desde los SD liga en su aplicación la más fundamental—y simple—representación de los SD a los fenómenos del desarrollo

El alcance esperado de los SDNL:

- Los sistemas dinámicos pueden contribuir a generar una mejor teoría del desarrollo.
- Pueden dar cuenta, a su manera, de la no gradualidad, de las diferencias individuales y de patrones prototípicos, de patrones cíclicos, pasajeros y regresiones.

El alcance esperado de los SDNL:

- El modelamiento formal de mecanismos de desarrollo contenidos en teorías “verbales”, donde el concepto de iteración es fundamental (e.g. Interiorización y zona de desarrollo próximo de Vygotsky, y adaptación piagetiana) permitiría realizar nuevas deducciones a partir del análisis de los modelos mismos (e.g. Cambio de parámetros y simulaciones)

Retos y desafíos

- Sin embargo su aplicación no es inmediata, ni en una sola vía. La misma teoría de los SDNL sigue ampliándose continuamente.
- No hay una sola teoría de los sistemas dinámicos aplicable a la psicología del desarrollo, hoy en día se pueden distinguir por los menos explícitamente a Van Geert y a Thelen Smith y, pero otros incluyen principios de los sistemas dinámicos en sus teorías sin formalizar matemáticamente modelos (Valsiner).

Retos y desafíos

- Es necesario apropiarse de los principios teóricos y metodológicos de los sistemas dinámicos y “adaptarlos” a las teorías existentes o nuevas del desarrollo.
- Esto exige, entre otras cosas, nuevas metodologías para representar los fenómenos y captar los datos (cuantitativos) y mezclar de manera creativa diseños cuantitativos y cualitativos.
- Los modelos dinámicos no lineales deben ser comparados con sus pares lineales para contrastar su capacidad interpretativa.