

## Conductas emergentes en sistemas de procesamiento: de los sistemas de producción al límite del caos

Manel Viader  
*Universidad de Barcelona*

*Leiser's article lays particular emphasis on artificial intelligence. This study evaluates the relevance of the contributions of AI to psychology, making allowance for the differences in approach, aims and methodology. Due to the difficulties inherent in AI's symbolic approach—an approach sometimes adopted unquestioningly by cognitive psychologists—we present a number of alternatives aimed at establishing a macroscopic level of analysis, whose properties emerge from the dynamics of lower levels, of subsymbolic character. We state the need for a redefinition of the functioning of the genetic algorithm in terms of the Boolean network. Finally, we comment on certain ideas that are essential to an evaluation of the compatibility of systems with dynamic properties—such as connectionist systems—with a constructivist stance in psychology.*

La lectura y análisis del artículo de Leiser sugiere un conjunto de reflexiones que podrían ser agrupadas en dos categorías distintas, aunque claramente relacionadas. Por una parte, consideraciones de tipo teórico-metodológico, referidas particularmente al estatus que debe ser atribuido a los sistemas analizados por Leiser en el marco de la construcción de una psicología científica; por otro lado, comentarios de tipo más técnico, que no agotan su interés en sí mismos sino que aportan ideas importantes para un análisis más global sobre la relevancia, posibilidades y limitaciones del tipo de aproximaciones analizadas por el autor.

Un elemento central de reflexión en torno al artículo de Leiser radica en su clara y asumida orientación hacia el campo de la inteligencia artificial. Ciertamente esta inclinación no es absoluta, y se realizan reflexiones interesantes sobre el comportamiento de sujetos humanos (por ejemplo, respecto del comportamiento de seriación en niños). Pero parece bastante claro que el énfasis principal del artículo se refiere a los logros obtenidos en la ejecución de tareas computacionales complejas en sistemas artificiales. Esto introduce un sesgo conceptual que debe ser puesto de manifiesto con claridad. Quizás sea excesivamente radical establecer una distinción absoluta entre los postulados de la inteligencia artificial y los de la psicología cognitiva. Ciertamente, y por razones obvias, ambas disciplinas están en fuerte inter-relación, en particular en cuanto a la utilización de conceptos relacionados con el procesamiento de información. Pero también

parece preciso reconocer que sus objetivos, su metodología y sus criterios de valoración de resultados son claramente distintos. El hecho de que un ordenador pueda emular comportamientos humanos complejos no resulta irrelevante para la psicología, puesto que aboga en favor de la verosimilitud genérica de la aproximación que se haya planteado y puede ofrecer ideas o conceptos de interés para el psicólogo. Sin embargo, parece necesario establecer con cierta exactitud los términos de esa emulación y, sobre todo, valorar hasta qué punto se trata de una semejanza puramente superficial que no resiste la aplicación de cualquier criterio serio de equivalencia funcional. Difícilmente puede afirmarse que un mecanismo que emule una conducta humana sea una explicación de esa conducta o, dicho de otro modo, no resulta aceptable el planteamiento de condiciones de suficiencia al estilo de Anderson (1976). Más bien debería decirse que esta condición, a pesar de su nombre, es necesaria pero no suficiente. El intercambio de información entre ambas disciplinas puede jugar un papel heurístico, pero no puede ni debe substituir lo que debería ser la explicación psicológica, basada en un sistema conceptual propio o, como mínimo, en la adecuada "psicologización" de los conceptos importados de otras disciplinas. Esto resulta especialmente cierto en el caso de la inteligencia artificial, sobre todo si se tiene en cuenta el carácter esencialmente tecnológico (y, por tanto, pragmático) de esta aproximación.

Debe señalarse también que este problema afecta tanto a las aportaciones procedentes de lo que podría denominarse «paradigma computacional clásico» como a las que puedan derivarse de la aproximación conexionista. En particular, esta cuestión resulta particularmente importante ante el empuje de aproximaciones genéricas como son las propias de la teoría general de sistemas o de la nueva «ciencia de la complejidad». No se trata, por tanto, de un problema relacionado con una orientación concreta, aunque sí debe remarcarse que los llamamientos en torno a una «equivalencia funcional fuerte» entre ordenador y sistema cognitivo humano han procedido normalmente de la orientación «clásica».

De manera consecuente con lo que acaba de indicarse, el artículo de Leiser está claramente sesgado hacia el planteamiento de cuestiones técnicas, y ofrece un tratamiento mucho más somero de las cuestiones conceptuales y epistemológicas implicadas y, en particular, de la posible relación entre los distintos enfoques planteados y el punto de vista constructivista. Esto no sería especialmente importante si no fuera porque el título del artículo parece sugerir claramente otra cosa. En sí mismo, el carácter técnico del artículo es perfectamente defendible. Además es cierto, como indica el propio autor, que en ocasiones las posiciones apriorísticas han demostrado ser erróneas y han sido claramente superadas por la realidad, y por ese motivo una exposición de algunos de los logros de la IA resulta relevante. Pero las cuestiones de base, referidas no tanto a las capacidades de los sistemas de procesamiento artificiales sino a su significación para la construcción de una psicología científica, continúan planteadas y sin respuesta convincente.

En su planteamiento de los sistemas basados en reglas, Leiser sugiere claramente que los sistemas de producción constituyen la mejor aproximación planteada desde el paradigma «clásico» a los procesos de cambio cognitivo, que

pueden ser entendidos en términos genéricos como aprendizaje y transición entre estados evolutivos. La importancia de los sistemas de producción debe ser resaltada, puesto que constituyen la aproximación básica, desde la perspectiva computacionalista simbólica, a la estructura del conocimiento procedimental. De hecho, los sistemas de producción van incluso más allá, puesto que constituirían la respuesta (siempre desde la perspectiva simbólica) al problema clásico, que puede encontrarse ya en William James, de explicar cómo ciertas condiciones o señales antecedentes elicitán la ejecución de determinadas acciones. El problema de este tipo de sistemas, como prácticamente de cualquier otro, consiste en explicar la conexión entre un conjunto de mecanismos combinatorios relativamente simples y la presencia de cambios a nivel macro-estructural. Dicho de otra forma, cabe preguntarse si los mecanismos micro-genéticos propuestos son capaces de dar cuenta de los fenómenos macro-genéticos estudiados por la psicología.

Desde un punto de vista empírico, atendiendo a las construcciones de la inteligencia artificial, la respuesta provisional a la cuestión que acaba de plantearse es negativa, como el propio Leiser reconoce de forma más o menos explícita. Sin embargo, resulta evidente que si atendemos únicamente a criterios empíricos esta respuesta deberá considerarse siempre como provisional. Para ir algo más allá es necesario entrar en un tipo de análisis que claramente no es el planteado por Leiser, pero sí el adoptado por autores esenciales dentro del paradigma simbólico (Fodor, Pylyshyn y Chomsky, fundamentalmente). Atendiendo a la cuestión central del «cambio cognitivo», es bien sabido que estos autores han argumentado explícitamente en contra de cualquier aproximación constructivista del desarrollo psicológico y también contra la posibilidad de existencia de aprendizajes significativos, optando por una postura fuertemente innatista (por ejemplo, Fodor, 1981; Pylyshyn, 1986, por citar únicamente dos textos clásicos). Se trata de saber si ésta es una característica inevitable de este tipo de modelos. Esta es una discusión profunda que no puede ser abordada aquí en toda su extensión. Quizás la pregunta a formularse se referiría a las posibilidades de auto-complicación de los sistemas propuestos (en respuesta a las obvias complejidades del medio) y a los mecanismos subyacentes a tal complicación.

Las limitaciones de este tipo de modelos son resumidas de forma excelente por el propio Leiser: los sistemas basados en reglas parten de un a-priori ontológico muy fuerte, a saber, el conjunto de propiedades y de relaciones usados para definir las condiciones y las acciones que constituyen las reglas. Dicho en términos mucho más directos: cualquier sistema de producción viene definido por un determinado poder competencial que puede ser establecido arbitrariamente por el programador que ha creado el sistema. Esto significa, entre otras cosas, que del análisis del sistema no puede derivarse *de forma necesaria* ninguna consecuencia empírica contrastable, puesto que en caso de no correspondencia entre la conducta del sistema artificial y la de sujetos humanos siempre existe la posibilidad (suponiendo que esto sea percibido como un problema) de complicar el sistema añadiendo nuevas reglas de producción. Esta posibilidad de complicación casi infinita probablemente es muy interesante para los investigadores en inteligencia artificial, pero resulta nefasta para la utilización de este tipo

de planteamientos como modelos útiles para la construcción de la psicología cognitiva como disciplina científica, aunque solamente sea porque deja sin respuesta una pregunta tan elemental como sería la referida a cuándo y cómo se establecen las posibilidades algorítmicas de los sistemas de procesamiento naturales para una determinada tarea o conjunto de tareas. Curiosamente, se trata de un problema comparable al que se plantea en torno al carácter generativo del conocimiento subyacente a la competencia lingüística y, en general, de la estructura del conocimiento declarativo. Como es bien sabido, esta discusión ha conducido al planteamiento innatista chomskyano (y fodoriano), y no está nada claro que las conclusiones obtenidas en uno y otro ámbito deban ser distintas.

Ciertamente, como señala Leiser, algunas nuevas formulaciones, y en particular el algoritmo genético asociado a los denominados «sistemas clasificadores», permiten superar una parte de las críticas que se efectúan habitualmente en relación con los sistemas de producción y, en particular, su carácter excesivamente estático. Los sistemas clasificadores constan esencialmente de un sistema de procesamiento en paralelo y de algoritmos de aprendizaje que van ajustando la configuración de ese sistema. Estos mecanismos de aprendizaje están implementados en forma de reglas de producción.

Existen dos características particularmente interesantes en este tipo de sistemas. Por un lado, la introducción de un mecanismo de «mutación» de carácter aleatorio permite ir más allá de la recombinación mecánica de segmentos de reglas pre-existentes. Por otra parte, los sistemas clasificadores producen normalmente «conductas emergentes», relacionadas sobre todo con el razonamiento y el aprendizaje. En consecuencia, parece claro que este tipo de sistemas, debidamente equipados por el algoritmo genético, son capaces de exhibir un comportamiento coherente que podría ser significativo. Sin embargo, resulta muy interesante intentar determinar dónde se encuentra el origen de este comportamiento coherente o cómo puede ser descrito de forma más adecuada.

A este respecto puede ser importante la discusión que existe en el campo de la biología respecto del modo en que las aproximadamente  $10^{30000}$  combinaciones posibles entre los genes humanos quedan en realidad reducidas a un pequeño número, unas 250, que dan lugar a los distintos tipos celulares. No parece probable que un mecanismo de selección natural pueda realizar esa operación por sí mismo. Aun aceptando las diferencias que se deseen, parece posible que los mecanismos propuestos en el algoritmo genético posean la misma debilidad. Debe señalarse que la representación de conocimiento procedimental en forma de sistemas de producción exige la introducción, al margen de reglas de tipo general, de gran número de reglas de carácter local, específicas de tarea. Esto es muy fácil de comprender si se atiende a la extraordinaria complejidad del entorno en el cual debe desenvolverse el sistema cognitivo.

Una aproximación muy interesante a este problema se encuentra en los trabajos realizados en el marco de la denominada «ciencia de la complejidad» (véase, por ejemplo, Kauffman, 1992). Si imaginamos que los genes están dispuestos en forma de red booleana, con cierto número de conexiones entre ellos y un determinado nivel de activación para cada gen, entonces puede demostrarse la existencia, a lo largo del desarrollo de la dinámica de funcionamiento de la

red, de un conjunto limitado de estados o ciclos límite. Lo más importante, sin embargo, es que el comportamiento de estas redes parece generar propiedades biológicamente significativas, como son la relación cuantitativa entre número de genes y número de tipos celulares (reproducida de forma bastante aproximada por las redes booleanas) y, sobre todo, las limitadas posibilidades que tiene cualquier tipo celular de transformarse en otro u otros. Esto se relaciona con la propiedad de resistencia a las perturbaciones que poseen los atractores definidos en la red booleana.

La representación de sistemas clasificadores en forma de redes booleanas empieza a plantearse también en el campo del procesamiento de información en humanos y en sistemas artificiales. A este respecto, Forrest y Miller (1990) ponen de manifiesto una cuestión crucial: muchas de las propiedades emergentes de este tipo de sistemas surgen en buena parte de su carácter de sistema dinámico, es decir, no de ninguna instrucción o conjunto de instrucciones específicas organizadas en forma de producciones o de cualquier otro formato simbólico, sino del tipo de funcionamiento que se deriva de la re-expresión del sistema en forma de red booleana, es decir, en términos de conexiones (inicialmente aleatorias) entre unidades elementales dotadas de propiedades de activación. El camino hacia la aproximación conexionista parece claramente establecido, a pesar de las diferencias iniciales de planteamiento. Desde esta perspectiva, las reglas de producción pre-definidas pueden constituir simplemente una expresión más o menos aproximada de ciertas regularidades del sistema, las cuales podrían ser re-expresadas, quizás con mayor eficacia, a través de otros mecanismos.

En relación con las redes booleanas, resulta irresistible la tentación de citar el interesantísimo concepto de «procesamiento de información en el límite del caos» (Langton, 1990), de acuerdo con el cual el número de conexiones entre unidades determina tipos de comportamiento global muy distintos, incluyendo comportamiento caótico. Al parecer, la propiedad de procesar información surge en estos sistemas precisamente en la situación límite entre orden estático y caos. En todo caso, como señala acertadamente Luce (1995), el uso adecuado del concepto de caos en psicología exige un conocimiento muy detallado de los sistemas dinámicos subyacentes, algo que en gran medida está por hacer, aunque podría plantearse probablemente desde los sistemas de tipo conexionista. No cabe duda del enorme interés potencial de esta aproximación, tanto para la psicología como para la inteligencia artificial.

En lo que se refiere específicamente a los sistemas conexionistas, pueden hacerse muy brevemente algunos comentarios que quizás sean de interés. Uno de ellos se refiere a la actitud que adoptan algunos (o muchos) investigadores que trabajan en este contexto, y que puede considerarse, una vez más, paradigmática en el contexto de la inteligencia artificial. Se cae a veces en una especie de actitud ultra-pragmática, de acuerdo con la cual se espera simplemente a que la red vaya ajustando sus pesos y conexiones hasta conseguir el objetivo pre-fijado. Si ese objetivo no se logra, se modifica algún aspecto de la red (en particular su estructura y el tipo de función de activación asociada), y vuelta a empezar. La pregunta que se plantea es de nuevo la referida a la relevancia psicológica de tales modificaciones. Resulta bastante probable que muchas configuraciones mi-

cro-estructurales distintas puedan aproximarse adecuadamente a un mismo fenómeno macro-estructural, y la tarea de escoger entre una y otra configuración resulta probablemente de poco interés para la psicología. Una excelente expresión de este tipo de problema se encuentra en la distinción, citada por Leiser, entre arquitectura de la red y arquitectura funcional.

Por otra parte, se argumenta en ocasiones que una de las virtudes de un sistema conexionista es su relativa semejanza con la estructura del cerebro. Parece que de esta semejanza (de momento bastante limitada, por otra parte) deberían derivarse propiedades explicativas interesantes. Sin embargo, estamos otra vez ante un problema de niveles. Por ejemplo, uno de los desarrollos más interesantes para el diseño de futuros ordenadores parece tomar como base una estructura proteínica. Sin embargo, no parece probable que la investigación de los fenómenos psicológicos deba realizarse primordialmente a ese nivel. De nuevo, lo importante es el comportamiento global del sistema, es decir, las propiedades macro-estructurales que se deriven del funcionamiento de la micro-estructura. De hecho, uno de los problemas clásicos de los sistemas dinámicos consiste precisamente en la necesidad de definir el carácter de las unidades que constituyen cada uno de los niveles de explicación requeridos (Kelso y Tuller, 1982). En el caso de la psicología, cabe dudar de que esté justificada la reticencia de muchos autores a plantear modelos basados en unidades elementales y abstractas de procesamiento, sin preocupación específica por su correspondencia con entidades fisiológicas concretas, especialmente si tenemos en cuenta que la neurofisiología no parece estar todavía en condiciones de imponer restricciones suficientes al conjunto de modelos micro-estructurales potencialmente planteables.

Leiser analiza brevemente, al final de su artículo, la posible compatibilidad entre algunos de los planteamientos de la IA y ciertos conceptos de la posición constructivista piagetiana. Con la misma brevedad, y sin rozar siquiera la complejidad del tema, creo que puede afirmarse que la perspectiva basada en un análisis de la dinámica de los sistemas de procesamiento (que he vinculado aquí básicamente con los sistemas conexionistas o «pre-conexionistas») es la más claramente compatible con el planteamiento que hace Piaget. Esto no es casual, sino que responde a la existencia de confluencias evidentes en torno a conceptos como auto-regulación (tan importante en Piaget para superar las limitaciones de una perspectiva puramente lógico-matemática), equilibración (claramente relacionado con la progresión hacia estados estables en sistemas dinámicos), estructura (con la interesante distinción entre leyes de composición aditivas y no aditivas), o esquema (cuestión sobre la cual las aportaciones del conexionismo son muy apreciables). Esta confluencia de conceptos es consecuencia lógica de ciertos referentes comunes de la escuela piagetiana y de cierto conexionismo, especialmente en cuanto a su relación con determinados conceptos biológicos. Al hablar de «cierto» conexionismo me refiero, obviamente, al preocupado más por los fenómenos coherentes que se producen en el conjunto del sistema que por los detalles de configuración del mismo.

Esto no significa que los aspectos micro-estructurales deban ser considerados irrelevantes. Se trata, más bien, de introducir definitivamente restricciones serias al planteamiento de múltiples modelos micro-estructurales, de introducir

esas restricciones desde un análisis de los fenómenos psicológicos reales y de determinar qué elementos de la arquitectura del sistema son esenciales y cuáles accesorios. Esto es fundamental para la psicología, aunque no constituya una preocupación esencial de la IA.

En todo caso, y por razones complejas que solamente se han esbozado aquí, la adopción de una perspectiva macro-estructural o macro-genética parece mucho más prometedora en el marco de sistemas de tipo conexionista (o que adopten al menos algunas de sus propiedades) que en los sistemas simbólicos clásicos. Las consecuencias teóricas y metodológicas de este hecho se están haciendo cada vez más evidentes, aunque en el campo de la psicología cognitiva quede todavía un largo camino por recorrer.

## REFERENCIAS

- Anderson, J.R. (1976). *Language, memory and thought*. Hillsdale NJ: Erlbaum.
- Fodor, J.A. (1981). *Representations*. Brighton: Harvester.
- Forrest, S. & Miller, J.H. (1990). Emergent behavior in classifier systems. *Physica D*, 42, 213-227.
- Kauffman, S. (1992). *The origins of order*. Oxford: Oxford University Press.
- Keiso, J.A.S. y Tuller, B. (1982). A dynamical basis for action systems. In M.S. Gazzaniga: *Handbook of cognitive neuroscience*. New York: Plenum.
- Langton, C. (1990). Computation at edge of chaos: Phase transitions and emergent computation. *Physica D*, 42, 12-37.
- Luce, R.D. (1995). Four tensions concerning mathematical modeling in psychology. *Annual Review of Psychology*, 46, 1-26.
- Pylyshyn, Z. (1986). *Computation and cognition*. Cambridge: MIT Press.

