

Nuevas perspectivas en Proceso Visual: desde la Cibernética a la Complejidad

O. Bolivar Toledo , I. Luengo Merino y Fco. J. Carreras Riudavets.

Departamento de Informática y Sistemas
Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.
Islas Canarias. España

RESUMEN

El carácter multidisciplinar de la Cibernética y la aplicación de principios similares de teoría de la comunicación y de la teoría de sistemas, tanto al estudio de los seres vivos como a los procesos automatizados, propiciaron un nuevo enfoque en el estudio del sistema nervioso. De la misma manera, este trabajo sugiere, que el carácter en este caso transdisciplinar de la complejidad, puede conducir a una postura unificadora del proceso visual con un enfoque integrador del conocimiento en torno al mismo.

Se presentan las ideas fundamentales del nuevo paradigma de la complejidad en un ámbito muy concreto como es el proceso visual en los seres vivos y se exploran las características fundamentales de los mecanismos atencionales a la luz de los conceptos asociados a esta nueva disciplina.

Palabras Clave: Complejidad, Cibernética, Procesos Visuales, Procesos Cooperativos. Atención Visual.

1. INTRODUCCIÓN

En la década de los 40, Norbert Wiener sugirió que “las tierras de nadie”, esas fronteras difusas existentes entre los grandes cuerpos del saber, eran las zonas más fecundas y en las que tendrían lugar los avances científico-técnicos en un futuro. Así ha sido, y desde entonces han surgido nuevos paradigmas, como la teoría de la Complejidad, la Teoría de la Información y la Teoría del Caos, que de alguna manera están influyéndose mutuamente y propiciando sinergias interdisciplinarias de gran alcance. Este trabajo pretende exponer y/o resumir las ideas fundamentales de este enfoque holístico y complejo en un ámbito muy concreto como es el proceso visual en los seres vivos y sus contrapartidas artificiales.

Desde un punto de vista formal, la cibernética trata de la aplicación de los conceptos de comunicación, proceso de datos y decisión, al ámbito de los seres vivos [1]. Los conceptos iniciales fueron la realimentación, el control, la lógica neuronal simbólica, los modelos de conocimiento y la teoría de la información sintáctica. Posteriormente, con las nuevas herramientas de proceso simbólico, se integraron los conceptos

de jerarquía, generación de universales, mecanismos de cooperación, algoritmos de decisión y otros. En los momentos actuales, en los que el método científico clásico y su enfoque reduccionista parecen haber entrado en crisis al no ser capaz de explicar a partir de enfoques individuales una gran variedad de fenómenos complejos [2], es necesario la integración de todos los conceptos anteriores en una nueva metodología científica, transparente y práctica, que incluya conceptos relacionados con las dinámicas de atractores, de la autoorganización, de los sistemas disipativos y no lineales, de las roturas de simetría en condiciones alejadas del equilibrio y de la emergencia de nuevos fenómenos a partir de redes y de interacciones [3]. La teoría de la complejidad podría constituir el eje fundamental para dicho objetivo, debido a que las ciencias de la complejidad y la cibernética están basadas en principios muy similares.

En 1960, cuando Wiener estudió los reguladores del sistema nervioso central como una cadena de retroalimentación homeostática basada en señales, surgió la idea de comparar la transmisión de señales, tanto de naturaleza humana como de naturaleza artificial por medio de impulsos eléctricos. Se trataba de una ciencia multidisciplinar para el análisis de los procesos similares que se dan en los seres vivos y en las máquinas, como son el control de la información y las comunicaciones. Según Wiener “cualquier organismo mantiene su coherencia de acción merced a la posesión de medios para la adquisición, uso, retención, y transmisión de la información”. Sin embargo, la aplicación de la teoría de la información en biocibernética es uno de los ejemplos claros de error tanto en la asignación de variables como en el cambio de nivel al interpretar resultados [4]. Un caso extremo y frecuente es pretender construir modelos funcionales del cerebro partir de registros EEG de la actividad nerviosa individual.

Casi nunca es posible entender un sistema complejo de cualquier tipo como una simple extrapolación de las propiedades de sus componentes elementales. Si queremos comprender totalmente un sistema tan complicado como el sistema nervioso, un embrión en desarrollo, una botella de gas, e incluso un gran programa de ordenador, debemos estar preparados para admitir diferentes clases de explicación a distintos niveles de descripción, engarzados, al menos en principio, en una totalidad integradora.

La teorización sobre el sistema nervioso viene limitada, a priori, por las herramientas conceptuales y formales usadas en su construcción [5]. Durante los años 50 y 60 con el objetivo de un mejor entendimiento del sistema nervioso, se suscitó un enorme interés en la utilización de conceptos de lógica, teoría de sistemas, computación, proceso de información y transmisión de señales. A comienzos de los años 70, al reflexionar sobre este tipo de problemas, fue viéndose que faltaba algo muy importante en las disciplinas de la neurofisiología y la psicofísica. La observación fundamental es que la tarea de ambas consiste en *describir* la conducta de las células o de los sujetos, pero no en *explicarla*: encontrar un detector de manos no nos permite programar ninguno. Sin embargo, en las últimas décadas, nos encontramos en los “albores de una revolución científica y teórica” según T. Kuhn [6], a partir de la cual las ciencias que subyacen en la comprensión y construcción de la mayoría de los sistemas bio-inspirados, son las ciencias de la complejidad. Se trataría entonces de la comprensión, y explicación del sistema nervioso a partir de la interacción no lineal de subsistemas complejos, adaptables a entornos cambiantes y cargados de incertidumbre y sin un control global. [7]

Dentro de esta perspectiva, el nuevo paradigma de la complejidad y su enfoque transdisciplinar (en vez del clásico interdisciplinar), puede conducirnos a una postura unificadora del sistema nervioso, y por tanto del proceso visual, que establezca puentes de unión entre los distintos niveles de organización y que genere un enfoque integrado del conocimiento.

Al mismo tiempo, la consideración de nuevos conceptos como los de atractores o focos activos, las fluctuaciones, la fractalidad, la coevolución de distintos subsistemas, etc., nos permitirá añadir nuevas dimensiones y abordar desde otras perspectiva fenómenos como la atención visual, la tolerancia frente a fallos, la reversibilidad y la computación cooperativa, entre otros.

2. PERSPECTIVA CIBERNÉTICA DEL PROCESO VISUAL

El sistema visual, en cuya actividad están involucradas aproximadamente un cuarto aproximadamente de todas las células de la corteza visual humana, ha sido una de las áreas más retadoras y fructíferas de la investigación multidisciplinar a través de los tiempos. De hecho se ha realizado más investigación en este campo que en todos los demás juntos.

Se estima que aproximadamente el 80% de la información que obtenemos del mundo exterior nos llega a través de los ojos, de los cuales salen más fibras nerviosas que de cualquier otro órgano sensorial con destino el cerebro. Gran parte de nuestro proceso mental, incluida la memoria, basa su actuación fundamentalmente en la visión.

La generalización y sistematización completa de los conceptos implícitos en una teoría del proceso visual, ni tan siquiera a nivel retinal, ha podido ser realizada por anatomistas ni neurofisiólogos, posiblemente por no poseer-o quizás no estar interesados en ello, las herramientas de las nuevas ciencias de la complejidad. Los aspectos puramente temporales de la formulación matemática de dicha teoría caerían de lleno dentro de la teoría general del análisis de sistemas, pero la dificultad más importante reside en el carácter no lineal de los procesos espacio temporales de las neuronas.

El estudio de los procesos de información a lo largo del sistema visual se ha centrado en el estudio y la investigación de los modelos de los organismos vivos con objeto de explicar estos sistemas y hallar nuevas ideas para desarrollar nuevos experimentos biológicos. La biocibernética y la biónica, como caras que son de una misma moneda, han tratado de explicar los sistemas biológicos y de plasmarlos en sistemas físicos. Desde el punto de vista artificial, la tarea subyacente del proceso visual, es la de obtener de modo fiable las propiedades del mundo a partir de las imágenes obtenidas de él. El proceso visual presenta dos características iniciales de importancia. Primero el requisito de que la información extraída sea útil para los fines de un sistema mas amplio que incluya al visual como parte, y segundo, la reducción en general drástica de la información contenida en las imágenes, con el propósito de que se mantenga solo aquella información relevante para los fines del sistema total [8].

Desde el punto de vista de la cibernética, la tarea de modelización de la visión natural consiste en el desarrollo de una teoría efectiva sobre cómo se construye la representación visual invariante del mundo exterior. Asimismo, la solución de los problemas asociados al reconocimiento visual, exige, como ha sido reiteradamente demostrado [9], el uso de la información multisensorial para la elaboración de un modelo del medio, que en definitiva es algo así como una estructura del conocimiento, de naturaleza relacional, donde las pistas iniciales proporcionadas por las modalidades sensoriales, son usadas, a través de mecanismos cooperativos para actualizar su estructura e indagar en el mundo exterior, requiriendo mas información de las modalidades sensoriales.

Sin embargo, a pesar del enorme interés práctico y del considerable esfuerzo que se ha dedicado y se dedica al estudio de la visión, las cuestiones globales en el reconocimiento de formas visuales parecen aún lejos de ser resueltas de forma satisfactoria, ni siquiera en los niveles primarios, en donde si han tenido éxito otra área como la adquisición, reconocimiento y reproducción sensorial, reconocimiento y síntesis del habla, etc. Los métodos heurísticos de Inteligencia Artificial han proporcionado reglas "ad hoc" para resolver ciertos problemas concretos en visión, que a su vez han inspirado la investigación y experimentación en neurofisiología, en psicofísica y en percepción visual, y viceversa; sin embargo, el problema de la

visión mecanizada tal como es entendido y utilizable a niveles altos (nivel cortical en el ser humano), exige indudablemente el considerar la integración multisensorial y utilizar el conocimiento global del medio por parte de un sistema perceptual complejo, como parte esencial en el reconocimiento visual, incluyendo un modelo del medio, estrategias de acción aprendidas o impresas y reglas basadas en mecanismos cooperativos.

3. LA TEORÍA DE LA COMPLEJIDAD Y EL PROCESO VISUAL

En los últimos años se ha reabierto un nuevo frente de discusión de naturaleza transdisciplinar que insiste en la necesidad de reformular el pensamiento y el conocimiento sobre la base del paradigma de la complejidad [10]. La nueva concepción multidimensional e integradora de este paradigma establece puentes entre los distintos niveles de organización de un sistema generando enfoques integrados del conocimiento [11]

Desde esta nueva perspectiva epistemológica, basada en conceptos de la teoría del caos, de la teoría de atractores, la geometría fractal, la teoría de la autopoiesis, la autoorganización, las estructuras disipativas, etc, podemos profundizar y replantear muchos problemas relacionados con los procesos de Percepción Visual, que tan lejos están de ser resueltos de forma satisfactoria.

Uno de los aspectos más controvertidos en visión natural y por tanto también en visión artificial es el de la atención visual. La capacidad para discriminar ciertos parámetros cuya importancia viene determinada por las necesidades del sistema global (animal o robot) y localizar que parte de esta información es significativa, es crucial tanto en sistemas naturales como artificiales.

La naturaleza plural de los mecanismos atencionales ha dado lugar a que se hayan formulado múltiples descripciones de los mismos, tanto desde el punto de vista neurofisiológico como psicológico [12]. Pero sin embargo, a pesar de todos los esfuerzos realizados desde distintos niveles explicativos, la controversia inicial planteada por James [13] sobre si la atención es un mecanismo "causal" (un agente), o si en cambio se trata de un "efecto" determinado por procesos selectivos, aún no ha sido resuelta de forma satisfactoria [14].

Desde un punto de vista computacional, la mayoría de los resultados experimentales confirman la tendencia a considerar un marco en el que tengan cabida dos estrategias atencionales: una primera estrategia botton-up, basada en la propia escena visual [15], que proporcionaría un mapa topografico de pistas destacadas, seguida por otra estrategia top-down, basada en mecanismos de mas alto nivel, que proporcionaría pistas

dependientes de la tarea en cuestión. Desde el punto de vista de la teoría de la complejidad, ciertas características del entorno visual se convertirían, de forma mas o menos automática, en un **atractor de atención**, dando lugar a localizaciones destacadas o sobre-salientes, mientras que otras localizaciones requerirían un esfuerzo volitivo en ser atendidas. Tal y como sugieren [16] ambos mecanismos podrían operar en paralelo. Lo que parece evidente, es que la tradicional dicotomía automaticidad/control ha de concebirse más bien como un continuum y que los procesos denominados automáticos también están sujetos de alguna manera a una forma de control.

La geometría fractal también nos permite profundizar en los mecanismos atencionales. De esta forma, las denominadas Transformaciones Foveales [17], mediante las cuales podemos detectar y localizar regiones de interés dentro de un campo visual, podemos considerarlas como representaciones fragmentadas o irregulares definidas a diferentes escalas y definidas por algoritmos recursivos.

Por otro lado, el hecho de que nuestro sistema visual consiga procesar información no seleccionada [18] y poner en marcha independientemente del control atencional distintos procesos no solo de revisión sino de interferencias que afectan a la percepción y a la acción, pone de manifiesto la naturaleza disipativa del proceso atencional, el cual además de realzar la información relevante, actúa inhibiendo la potencialmente distractora.

Otro de los aspectos del proceso visual que puede ser reinterpretado según a teoría de la complejidad es el relativo a la organización y computación cooperativa de los campos receptivos a lo largo del camino visual. Así, desde los receptores a las células ganglionares el proceso puede ser explicado adecuadamente a partir de filtros espacio temporales de naturaleza lineal o no, estructurados en campos receptivos centro periferia y computaciones de tipo analógico, mientras que a nivel cortical, es más apropiada una formulación híbrida basada en una combinación de operadores locales y reglas de inferencia condicionales. De esta manera, la modelización a partir de procesos cooperativos y la reorganización topográfica de los patrones de conectividad de los campos receptivos, permite explicar muchas propiedades inherentes a la percepción visual como son el umbralizado adaptivo, la segmentación de imágenes, el proceso de texturas y otros problemas cuya formulación requiere tanto de enlaces dinámicos como de integración de características de bajo nivel.

En definitiva, lo que parece estar fuera de toda duda, es que en la actualidad no existe una única herramienta formal para representar ciertos códigos genuinos del sistema nervioso. Existen niveles del mismo cuya lógica está aún por descubrir. En palabras de K. Craik: *"En vez de ser nuestra teoría tan amplia como la realidad, nuestra percepción de la realidad es tan estrecha como nuestra teoría. Por eso ambas coinciden."*

En este sentido, los conceptos inherentes a la teoría de la complejidad podrían proporcionar pistas para ampliar nuestro conocimiento y percepción de la realidad.

REFERENCIAS

- [1] N. Wiener, "Cibernética o el control y comunicación en animales y máquinas" [1948].
- [2] N. A. Gómez Cruz, C. E. Maldonado. "Sistemas Bioinspirados: un marco teórico para la ingeniería de sistemas complejos". Bogotá: Editorial Universidad del Rosario, 2011. Doc. de Investigación 112. [2011].
- [3] E. Morín. "La epistemología de la complejidad" *Gazeta de Antropología*. Nº 20. Artículo 02. [2004]
- [4] J. Mira Mira, R. Moreno-Díaz. "Biocibernética: Implicaciones en biología, medicina y tecnología". Siglo XXI de España Editores. [1984]
- [5] J. Mira & A.E. Delgado. "Neural Modeling in Cerebral Dynamics". *BioSystems* Vol 71, pp 133-144 [2003]
- [6] T. Kuhn, "La estructura de las revoluciones científicas". México D.F.: Fondo de Cultura Económica. [1971]
- [7] S. Wolfram "Approaches to Complexity Engineering". *Physica. D* 22, 385-399
- [8] R. Moreno Díaz, J. Mira.: "Un marco teórico para interpretar la función neuronal a altos niveles". *Biocibernética*. pp 151-178. Ed. siglo XXI. Madrid, [1984].
- [9] O. Bolivar, S. Candela, R. Moreno Díaz.: "Complete Transform and their incidence in Artificial Perception System Theory". *Lecture Notes in Computer Science*. Nº 585, pp 515-525. Springer-Verlag. [1991]
- [10] A. Montbrun, "El cambio en la ciencia, el cambio en la política" Zeta Editores, Mendoza [2002]
- [11] C. Romero Pérez, "Paradigma de la complejidad, modelos científicos y conocimiento educativo" Universidad de Huelva, 2002: 10-31.
- [12] M.. López., MFernández., A. Fernandez Caballero., J. Mira., A.E. Delgado. "Dynamic visual attention model in image sequences". *Image and Vision Computing*. Vol. 25, pp 597-613. [2006]
- [13] W. James, "Principles of Psychology" New York: Holt, Rinchartand Winston. [1890]
- [14] Mundhenk N., Itti, L. (2005) Computational modelling and exploration of contour integration for visual saliency. *Biol. Cybern* 93: 188-212.
- [15] Itti, L., Koch, C, "Computational modelling of visual attention". *Nature Reviews. Neuroscience* Vol 2, pp 194-203 .[2001]
- [16].R. Moreno Diaz, J.C.Quevedo Losada, A. Quesada Arencibia. "*Systems Approach to Attention Mechanims in the Visual Pathway*", *Lecture Notes in Computer Science*. Springer. pp 497-505. [2000]
- [17] Quevedo J.C., Bolivar O., Moreno R. "Image Transforms based on retinal concepts". *Cybernetics and Systems' 98*. Vol 1. 312-316. [1998]
- [18] Álvarez, A., Blanco, M. y Leiros, L. "Influencia de la simetría y la curvilinealidad en el procesamiento de estímulos cerrados". *Psicothema*, 14, 597-604. [2002].