

## Avances en el conocimiento y modelado computacional del cerebro autista: Una revisión de literatura.<sup>δ</sup>

*Advances in knowledge and computational modeling of the autistic brain: A literature review.*

Eduard Puerto\*

Tipo de artículo: revisión



Recibido: 7 de enero de 2017  
Aceptado: 3 de febrero de 2017

### Resumen

El estudio del funcionamiento del cerebro permite, no sólo el descubrimiento de sus principios, sino también en la construcción de máquinas que lo emulen cada vez más inteligentes. En ese sentido, las neurociencias están aportando importantes conocimientos sobre cómo los diferentes elementos del cerebro interactúan en el procesamiento de información, para dar origen a funciones cognitivas de alto nivel (aprendizaje, conciencia, qualía, etc.), que caracterizan la conducta humana. Por otra parte, existen cerebros que vienen con una maquinaria neuronal distinta caracterizados por sus capacidades cognitivas extraordinarias, comúnmente conocidos como autistas. A partir de estos dos hechos se planteó el siguiente interrogante. ¿Qué tanto se sabe sobre el autismo y como se ha avanzado en su modelado a nivel computacional?. Este artículo da una respuesta particular a modo de síntesis teórica del fenómeno autista y avances que a nivel computacional se han logrado en cuanto a simulación, emulación y desarrollo de herramientas de apoyo relacionados con este complejo fenómeno. Lo anterior con base en más de 50 estudios tomados de bases de datos científicas, tales como: Nature, Scopus, ACM, IEEE, Google scholar, entre otras.

**Palabras clave:** Neurociencia computacional, autismo, tecnologías de exploración cerebral, savant, modelos computacionales TEA, herramientas de apoyo TEA, anatomía del cerebro autista.

### Abstract

The study of the functioning of the brain allows, not only the discovery of its principles, but also in the construction of machines that emulate getting smarter. In that sense, neurosciences are providing important insights into how different elements of the brain interact in information processing to give rise to high-level cognitive functions (learning, awareness, quality, etc.) that characterize human behavior. On the other hand, there are brains that come with distinct neuronal machinery characterized by their extraordinary cognitive abilities, commonly known as autistic. From these two facts the following question arises. How much is known about autism and how it has advanced in its modeling at the computational level?. This article gives a particular answer as a theoretical synthesis of the autistic phenomenon and advances that at computational level have been achieved in relation to simulation, emulation and development of support tools related to this complex phenomenon. The above based on more than 50 studies taken from scientific databases, such as: Nature, Scopus, ACM, IEEE, Google Scholar, among others.

**Keywords:** Computational neuroscience, autism, brain scanning technologies, savant, computational models of TEA, support tools TEA, anatomy of the autistic brain.

<sup>δ</sup> Este artículo es resultado del proyecto de doctorado modelado computacional (dinámica intrínseca, topología, fenomenología, etc.) de procesos neurofisiológicos de individuos con características cognitivas diferentes

\* Dr.(c). MSc. Ing. Ciencias de la Computación. Profesor tiempo completo UFPS. Universidad Francisco de Paula Santander. eduardpuerto@ufps.edu.co

## Introducción

El cerebro (físico y tangible) y la mente (abstracta e intangible) son uno de los fenómenos más complejos del ser humano en ser recreados artificialmente (Cattell, 2012). Actualmente no existe una teoría que explique la interacción cerebro-mente como un todo, pero, dado el sorprendente avance de las Neurociencias (con el subyacente apoyo del crecimiento de las Tecnologías de la Información y el lanzamiento de macro proyectos para estudiarlo) se ha aumentado notablemente la comprensión del funcionamiento del mismo y de sus fenómenos emergentes (Anderson, 2013), (Son, 2016). Muchos de estos avances sobre el funcionamiento del cerebro-mente, se han logrado, en parte, desde el modelado lógico matemático y computacional del mismo (Puerto, 2016). Modelos computacionales más recientes como Deep Learning (Lecun, 2015) junto con diversas aplicaciones de la neurociencia computacional dan cuenta. En esencia, el objetivo último de esta búsqueda de comprensión del funcionamiento cerebro-mente, independientemente del enfoque que se adopte de la manera como el cerebro procesa la información o de la metodología aplicada es crear máquinas más inteligentes o cognitivas y por supuesto mejorar nuestros estilos de vida.

Por otra parte, el trastorno del espectro autista (en adelantes TEA, también conocido como ASD por sus siglas en inglés Autism spectrum disorder) es un grupo de discapacidades o alteraciones del sistema nervioso que afectan el desarrollo del individuo en dos principales aspectos: sociocognitivos; relacionados con la comunicación e interacción social y sensorio-motores; relacionados con los patrones repetitivos y restringidos de comportamientos, intereses o actividades (APA, 2013). El nivel de alteración en estos dos aspectos es diferente entre las personas autistas y cada persona puede situarse en diferentes posiciones dentro

del espectro según la variable analizada (Olds, 2013). El término “espectro” se refiere a la amplia gama de síntomas, habilidades y niveles de deficiencia o discapacidad que los individuos con TEA pueden tener. Algunos niños muestran síntomas de discapacidad ligera, mientras que en otros la discapacidad es severa (Scasellati, 2005). Además estos individuos muestran una capacidad cerebral extraordinaria en la resolución de problemas cognitivos complejos capaz de superar con creces a cualquier experto humano o programa de computadora. Cada vez son más los niños diagnosticados con TEA. Según el último estudio realizado en Estados Unidos y publicado por el Centro de Control de Enfermedades (CDC) en 2014, la prevalencia de estos trastornos es de 1 cada 68 niños o de 14,7 cada mil.

A partir de lo anterior se planteó el siguiente interrogante. ¿Qué tanto se sabe sobre el autismo y como ha avanzado en el conocimiento del cerebro autista a nivel computacional?. No reportándose un trabajo que de manera unificada responda a este interrogante, se elaboró el presente trabajo que cubre este vacío presentando una caracterización del fenómeno autista, sus incapacidades/capacidades y una síntesis de los avances a nivel computacional sobre la simulación, emulación y desarrollo de herramientas de apoyo que tratan con varios aspectos cerebrales relacionados con este complejo fenómeno. Para ello se realizó una revisión sistemática con base en el método de B. Kitchenham por tener un contexto computacional (Kitchenham, 2004), se estableció la necesidad de tener un conocimiento que relacione lo que se sabe en cuanto al autismo a nivel neurofisiológico y que se ha adelantado en su modelado computacional. Seguidamente como protocolo de búsqueda se definieron varios términos del tema, tanto en español como inglés (algunos de ellos son las palabras clave en este artículo) y bases de datos afines, algunas de la cuales se presentan en el resumen. A partir de allí se elaboró el cuerpo del artículo y por ultimo una síntesis del mismo a modo de conclusión.

El resto de este artículo está organizado de la siguiente manera. En la sección 2 se presentan diversas teorías que proponen explicar el autismo. La sección 3 presenta un conjunto de tecnologías para la exploración del cerebro y avancen en el estudio del cerebro autista. La sección 4 presenta de manera resumida modelos computacionales y herramientas TEA. Finalmente, las conclusiones y el trabajo futuro está en la sección 5.

### **Trastorno del Espectro Autista.**

El trastorno del espectro autista es un condición de vida sujeta a un desarrollo anormal del cerebro que afecta el funcionamiento cognitivo, social y motor de la persona (APA, 2013). Existen diversas teorías que proponen explicar esta condición cerebral desde diferentes enfoques. A continuación se describen varias de estas teorías.

Barón (1985) propone una teoría del autismo en términos de un déficit de la teoría de la mente (la habilidad para atribuir estados mentales a otros). El déficit de la teoría de la mente como hipótesis, explica la falta de sensibilidad hacia los sentimientos de otras personas; la incapacidad para tener en cuenta lo que otra persona sabe; incapacidad para hacerse amigos “leyendo” y respondiendo a intenciones; incapacidad para “leer” el nivel de interés del oyente por nuestra conversación, entre otras alteraciones. Según esta teoría una causa de estas y otras incapacidades tiene que ver con una disfunción en las neuronas espejo (Ramachandran, 2007), (Rizzolatti, 2016). Ozonoff (1991) propone una teoría del autismo en términos del déficit de la función cognitiva. En ella se explica el deseo obsesivo de invariancia. Sin duda, una característica relevante del espectro autista es su rigidez cognitiva o invariancia, la cual se explica con base en la “metáfora frontal”, que estudia las similitudes existentes entre los pacientes que han sufrido lesiones en los lóbulos frontales y las personas autistas. La función ejecutiva se evalúa usando tareas neuropsicológicas formales, como el test de clasificación de tarjetas de Wisconsin

(<http://www.psytoolkit.org/experiment-library/wcst.html>), una medición de la inhibición y la flexibilidad, o la torre de Londres, un test de planificación. Happé (2006) propone una teoría del autismo denominada teoría de la coherencia central débil o WCC (por sus siglas en inglés de Weak Central Coherence). De acuerdo con esta teoría, el cerebro autista tiene un estilo cognitivo que favorece la segmentación. Debido a la limitación o imposibilidad del cerebro en procesar la información de manera más holística. En otras palabras, que los individuos con autismo son muy buenos en fijarse en los detalles pero tiene problemas en integrar estos detalles en un todo, con sentido en un contexto dado (por ejemplo, tiene problemas en identificar rostros, comprender contextos o llegar a conclusiones de una historia).

Lovaas (1979) propone una teoría del autismo con base en la sobre-selectividad de estímulos. Dicha teoría explica porque una persona autista se centra sólo en un aspecto de un objeto o entorno, ignorando otros. Esta teoría es muy similar a anterior WCC. Mottron (2001) se propone una teoría del autismo con base en la hipótesis de un funcionamiento perceptivo mejorado o EPF (por sus siglas en inglés de Enhanced Perceptual Functioning). Esta teoría propone que la superioridad de operaciones perceptuales de bajo-nivel contribuyen en el procesamiento de información local más que en el global. Sostiene que los autistas exhiben mayores habilidades perceptuales cuando tratan con pensamiento visual, discernimiento visual, y tareas con imágenes embebidas, por lo que sugiere que el sistema visual de los autistas tiene un mecanismo de procesamiento sensorial más fuerte que en personas no-autistas. Liu (2016) plantea la teoría del cerebro masculino extremo autista o EMB (por sus siglas en inglés de Extreme Male Brain Theory). Esta teoría sugiere que el cerebro de los hombres es bueno para sistematizar y malo para empatizar y que el cerebro de una persona autista es un caso de cerebro masculino pero llevado al extremo. El hecho de tener un cerebro hipermasculino hace

que los autistas tiendan a realizar tareas por las cuales suelen estar más dotados los hombres que las mujeres. Ello explica las severas dificultades para relacionarse. Por otro lado, también podría explicar la impresionante capacidad de algunos en determinados campos específicos que requieren sistematización (por ejemplo, la música o las matemáticas) y la poca o nula facilidad para la empatía. Pellicano (2012) presenta una teoría en la cual reconceptualizan el TEA desde una perspectiva más computacional bajo el paradigma de “cerebro bayesiano” (Bayesian brain). Este concepto cubre varias teorías similares que conceptualizan el TEA bajo un marco de inferencia jerárquico y explican la cognición autista como consecuencia de anomalías fundamentales en la percepción y el aprendizaje. Esta visión computacional sugiere modelos concretos que pueden ser probados por estudios cognitivos y neurofisiológicos y que pueden proporcionar un fundamento para el desarrollo de pruebas clínicamente útiles.

Por otra parte, otras teorías explican “desde adentro” la particular condición cerebral del funcionamiento autista. Se dice “desde adentro” por ser sus propios proponentes personas autistas. Dentro de ellas se tiene la teoría del Autista Daniel Tammet (Tammet, 2007), Daniel Tammet explica su propio funcionamiento del cerebro como dotado de una capacidad sinestésica en torno a números (arábigos más que romanos); percibe los números con formas, colores y texturas; los números son sus imaginarios en cualquier lugar o situación, nunca abandonan su pensamiento. Grandin, (2013) ofrece otra propuesta más científica. En su teoría, Temple detalla como ciertas anomalías cerebrales (vistas desde la neuroimagen e investigación genética) pueden explicar síntomas comunes del autismo (estas anomalías se describen más adelante). Entre otras teorías (Zimmerman, 2008).

#### *Autistas Savant*

Ahora bien, una aspecto importante de resaltar sobre el trastorno del espectro autista es que

pese a su condición desfavorable (el tener problemas sociocognitivos y sensoriomotores que afectan su normal desarrollo como individuo) estas personas suelen presentar habilidades cognitivas extraordinarias (Howlin, 2012), a ellas se les conoce como Savant. El termino savant se refiere a aquellos individuos que muestran un habilidad mental excepcional, a pesar de su bajo nivel de habilidad cognitiva general (Corrigan, 2012). Estas capacidades son más frecuentemente observadas en personas con autismo, “savant autistas”, que en la población no autista. Tales habilidades excepcionales incluyen habilidades para la música, cálculo mental, habilidades nemotécnicas excepcionales, extraordinarias habilidades para el dibujo, entre otras.

Existen tres principales categorías de savant: autista, adquirida y repentina. El síndrome del savant puede ser congénito, o este puede darse por una un lesión/enfermedad cerebral en la infancia, o siendo adulto. El estudio de los cerebros de los savants mediante técnicas especiales (ver sección 3), ha revelado que la mayoría de los que sufren el síndrome tienen alteraciones en el hemisferio izquierdo de su cerebro. Por eso es que gran parte de ellos son también autistas. Cuando el hemisferio izquierdo no funciona bien, el derecho lo compensa desarrollando nuevas habilidades, posiblemente reclutando tejido neuronal que en condiciones normales se destina a otras funciones.

Kapur (1996) propuso la teoría de la “facilitación funcional paradójica”, que consiste en que la disfunción de un área del cerebro facilita-permite “paradójicamente” el funcionamiento de otra área de habilidad-capacidad del cerebro intacta. La “facilitación funcional paradójica” del hemisferio derecho permite nuevas habilidades como un proceso compensatorio

Un caso de autismo lo Nadia, una niña prodigio en el dibujo. Notemos en la figura 1 que el dibujo de Nadia (a) es bastante superior al de un niño normal de ocho años (c), y tan bueno (o quizá mejor) que el de Leonardo da Vinci (b) (Ramachandran,



2012), (Selfe, 1977).

**Figura 1.** (a) Un dibujo de un caballo pintado por Nadia (una niña autista de cinco años de edad, sin recibir ninguna clase de dibujo) (b) Un dibujo de un caballo pintado por Leonardo da Vinci. (c) Un dibujo de una caballo pintado por un niño normal de ocho años de edad.

Fuente: (Ramachandran, 2012).

De acuerdo con Selfe (1977), "Nadia comienza el dibujo por detalles aleatorios. En primer lugar una pezuña, luego la melena del caballo, después su arnés, etc. Luego traza líneas que conectan estas propiedades sueltas. Y cuando lo hace, estas partes unidas se encuentran que están en la posición correcta con respecto a las otras".

Así como Nadia, hay muchas más personas autista que tiene distintas habilidades cerebrales<sup>1</sup>. Kim Peek tenía una memoria extraordinaria, llegando a memorizar más de 14 000 libros; Leslie Lemke fue capaz de ejecutar con maestría una pieza musical con tan solo escucharla una vez; Stephen Wilshire tiene la habilidad de reproducir en lienzo una ciudad (como Tokio, Londres, Dubái, Madrid, entre otras) tras una mirada aérea muy rápida; Daniel Tammet que tiene habilidades en matemática, lenguajes, llegando a recitar de memoria 22 514 dígitos de PI y aprender un nuevo lenguaje en una semana; El alemán Rainman, capaz de calcular  $6^{13}$  en menos de un minuto (13 060 694 016) o la capacidad de pensamiento visual de la Doctora Temple Grandin entre otros.

Otras teorías más enfocadas a un tipo de savant, es

<sup>1</sup> Ver <https://www.wisconsinmedicalsociety.org>, para un lista de personas con capacidades cognitivas extraordinarias.

la teoría sobre el síndrome de Asperger (SA) (Cerebros, 2011). Este es un tipo de autismo en el que se dan dificultades para relacionarse con los otros y conductas repetitivas, pero no problemas de expresión ni una incapacidad intelectual profunda. Las características del síndrome de asperger (capacidad de concentrarse de manera intensiva en un objeto y tolerar incluso la fatiga en una obra creativa) favorecen la creatividad. El SA parece ser el resultado de la acción de diversos factores que no tienen unos efectos localizados, sino que más bien afectan a gran parte o a la totalidad del funcionamiento cerebral. Los estudios indican que existe una alteración del desarrollo cerebral que tiene lugar poco después de la concepción. Una migración anormal de las células embrionarias durante el desarrollo fetal puede afectar a la estructura final del cerebro, así como a su conectividad. El resultado es una alteración en los circuitos neuronales que controlan el pensamiento y la conducta.

Por último, la teoría de mundo intenso (Markram, 2010), la cual afirma que los autistas asimilan demasiadas cosas y aprenden demasiado rápido. Es decir, que su comportamiento no obedece a carencias cognitivas, sino más bien al contrario. Esta teoría explica el fenómeno autista como de hiperfuncionamiento, esto es, que siendo autónomos y atrapados en su propia memoria, conducen a consecuencias



cognitivas básicas de hiper-percepción, hiper-atención, hiper-memoria e hiper-emoividad. A nivel neurofisiológico esta teoría se centra en el neocórtex y la amígdala, pero potencialmente podría aplicarse a todas las regiones del cerebro.

### Tecnologías para el estudio del cerebro TEA.

Durante los últimos años, el desarrollo de nuevas herramientas tecnológicas ha permitido adentrarse en el “qué”, “cómo” y “cuándo” del mecanismo neuronal, proporcionado conocimiento sobre el cerebro que antes no teníamos. Por ejemplo, las imágenes en vivo de la estructura del cerebro del Temple Grandin o Gramm (ver figura 4 y 5 mas adelante), no hubiese sido posible sin los métodos modernos de neuroimagen, tal como la resonancias magnéticas y las tomografías por

emisión de positrones entre otras. Estas tecnologías han permitido conocer la base neurológica de determinadas funciones mentales frente a distintas situaciones.

El estudio funcional del cerebro emplea diferentes tipos de técnicas que varían en sus resoluciones espaciales, temporales y en el grado de invasividad<sup>2</sup>. Por ejemplo en la dinámica del cerebro ciertos parámetros fisiológicos cambian en el tiempo, y puesto que la sincronización transitoria de sistemas neuronales es esencial para el funcionamiento del cerebro, una resolución temporal en el orden de milisegundos es de especial interés para su comprensión (Friston, 2016). La tabla 1 se presenta un resumen de las principales tecnologías para el estudio del cerebro y sus características de resolución.

**Tabla 1.** *Tecnologías para el estudio del cerebro.*

TECNOLOGÍA	CARACTERÍSTICAS DE RESOLUCIÓN
Imagen por Resonancia Magnética (MRI por sus siglas en inglés).	Permite analizar pequeñas áreas del cerebro (menos de un milímetro), verlas bidimensionalmente “píxeles”, y tridimensionalmente “voxeles”. Algunas especializaciones del MRI son: fMRI, que detecta oxígeno en la sangre del cerebro; DTI, que detecta el flujo de agua en el cerebro (Li, 2009). En general, aunque MRI ofrece una muy buena resolución espacial, su resolución temporal no es buena; se tarda más o menos un segundo en seguir el recorrido de la sangre por el cerebro. La espectroscopia por resonancia magnética mide la composición de ciertas sustancias en volúmenes variables con una resolución temporal de decenas de segundos (Yeo, 2016).
Electroencefalografía (EEG, por sus siglas en inglés).	Es una técnica que permite estimar las interacciones entre diferentes regiones del cerebro. Trabaja con impulsos de radio que se envían al cerebro, y analiza los “ecos” que retornan. En general, permite medir la actividad del cerebro, es decir, registrar señales electromagnéticas de amplio espectro que emite el cerebro, por ejemplo, cuando estamos durmiendo o concentrados en una tarea. Tiene baja resolución espacial (Frey, 2013).
Tomografía por emisión de positrones (PET, por sus siglas en inglés).	La TEP tiene una resolución espacial del orden de 4-10 mm <sup>3</sup> dependiendo del equipo y una resolución temporal máxima de varios segundos. Se aproxima bastante a estudios funcionales en tiempo real. Permite cuantificar flujo sanguíneo, metabolismo y crear imágenes de los sistemas de neurotransmisores (Plans) (Neubauer).
La técnica Brainbow	Permite identificar células individuales, diferenciándolas del resto de neuronas vecinas mediante el marcaje fluorimétrico selectivo que se obtiene con proteínas fluorescentes distintas (Cai, 2013).
Estimulación magnética transcranial (TMS, por sus siglas en inglés)	Permite la estimulación suave del tejido nervioso (corteza cerebral, médula espinal, vías motoras centrales y nervios periféricos), y permite interferir de forma controlada en la actividad normal del cerebro humano, a través de la inducción, de forma segura y no invasiva, de una corriente en el cerebro (Lou, 2016).

<sup>2</sup> Las ondas cerebrales que son captadas por tecnologías como los electrodos situados en el cuero cabelludo, son menos invasivas que tecnologías que requieren implantar o incrustar un chip en el cerebro para tomarlas.

Optogenética	La Optogenética (Optogenetics, en inglés) se basa en la fotónica <sup>3</sup> y permite una mejor comprensión del procesamiento de la información neural. Esta técnica permite activar ciertas vías que controlan nuestro comportamiento, haciendo inducir una haz de luz sobre el cerebro (Mccoy, 2015).
Estimulación cerebral profunda (DBS, por sus siglas en ingles)	Bloquea las señales eléctricas de áreas específicas del cerebro. Es una técnica ajustable y reversible. La estimulación cerebral profunda daña el tejido cerebral sano, destruyendo las células nerviosas (Tronnier, 2015).
Nanotecnología Neuronal.	Técnica usada para el Mapeo de la Actividad Cerebral (Alivisatos, 2012). Por ejemplo, herramientas para analizar el cerebro en vivo, como el tipo de robot patch-clamping desarrollado en el MIT (Harper, 2010), el cual permite hacerle seguimiento al comportamiento de una neuronal de manera individual. nano-TAB una plataforma para representar y compartir información sobre nanomateriales (Kodandaramaiah, 2016).

Fuente: Elaboración propia (2016).

### Características estructurales/anatómicas del cerebro TEA

A continuación se describen diversas anomalías estructurales descubiertas usando algunas de las tecnologías antes mencionadas en reconocidos autistas, como el excepcional cerebro del genio Albert Einstein o el denominado Everest de la memoria Kim Peek y la misma doctora Temple Grandin entre otros.

Iniciamos con las características estructurales cerebrales de la posible genialidad de Albert Einstein (Men, 2013).

- Los hemisferios cerebrales del Albert Einstein estaban mejor conectados de lo habitual, esta conexión era en parte gracias a su cuerpo calloso cerebral. El cuerpo calloso del cerebro de Einstein era especialmente más denso, lo que probablemente permitía unas conexiones nerviosas muy buenas (su genialidad puede haber surgido de esta propiedad).
- El cerebro de Einstein utilizaba muchos grupos distintos de células del cerebro, todas juntas en equipo trabajando en un problema a la vez. i.e., había una acción simultánea de varias partes del cerebro.
- El lóbulo parietal inferior izquierdo (la región que procesa el pensamiento matemático, la visión tridimensional, las relaciones espaciales, y otros procesos mentales) es un poco más grande que el derecho.

Por otra parte en (Treffert, 2005) se estudió el cerebro de Kim Peek. Kim fue una persona con una extraordinaria memoria, su principal habilidad. Los estudios de su cerebro mostraron drásticas anomalías morfológicas, tal como se muestra en la figura 2.

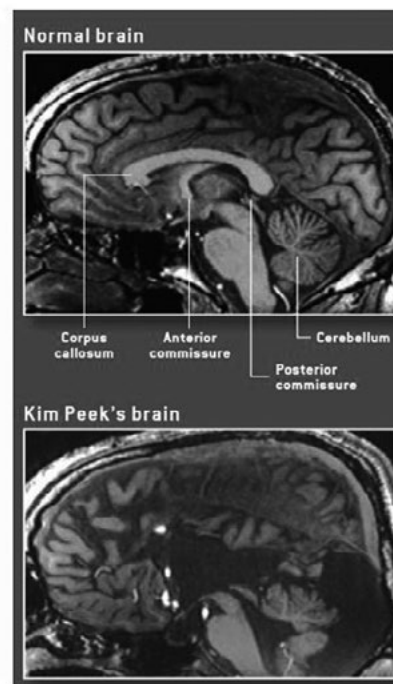


Figura 2. Características estructura del cerebro de Kim Peek.

Fuente: (Treffert, 2005).

<sup>3</sup> La fotónica trata con el control y detección de fotones, en particular en el espectro visible e infrarrojo cercano, que incluyen al ultravioleta (longitudes de onda de 0,2 - 0,35  $\mu\text{m}$ ), infrarrojo de onda larga (8 - 12  $\mu\text{m}$ ) e infrarrojo lejano (75 - 150  $\mu\text{m}$ ).

La figura 2 muestra la diferencia estructural cerebral marcada del cerebro Kim Peek (un savant) y una persona particular. Vemos como carece del corpus calloso, y un cerebelo no completo (responsable de ciertas funciones motoras, más pequeño que lo normal y malformado, esto puede explicar ciertas dificultades de coordinación de Kim). El papel que juegan estas anomalías en las habilidades de memoria de Kim aún son parte de investigación.

Houdé (2003) estudió el cerebro de Gamm. Rüdiger Gamm es un destacado prodigio alemán capaz de calcular complejas operaciones matemáticas como la raíz 5 de un número o su potencia 9, hacer divisiones con exactitud de muchos decimales en sus respuestas, entre otras cosas. Los procesos de cálculo que realiza un prodigio como Gamm, toma áreas del cerebro implicadas en la memoria episódica, incluyendo el área frontal media derecha y el giro parahipocámpal. La siguiente figura 3 muestra diferentes zonas (rojas) del cerebro que se activaron en el cerebro de Gamm realizando un cálculo, y las zonas verdes son las áreas comunes del cerebro activadas en el mismo proceso de cálculo hecho por seis no expertos y Gamm.



*Figura 3.* Zonas (rojas) del cerebro que se activan sólo en el cerebro de Gamm  
Fuente: (Houdé, 2003)

Esta investigación se realizó usando tecnología PET (tomografía por emisión de positrones), lo que mostró activación en áreas involucradas en la memoria episódica en Gamm, más no en el grupo de control. Esto sugiere que los prodigios desarrollan una manera de explotar la capacidad ilimitada de memoria a largo-plazo para recordar información relevante en la solución del problema, tal como la secuencia de pasos y los resultados parciales necesarios para el cálculo complejo, mientras que el resto de personas como nosotros usamos la limitada memoria de trabajo (o memoria a corto plazo, la que usamos al memorizar un número de teléfono mientras lo anotamos en la agenda o nuestro celular).

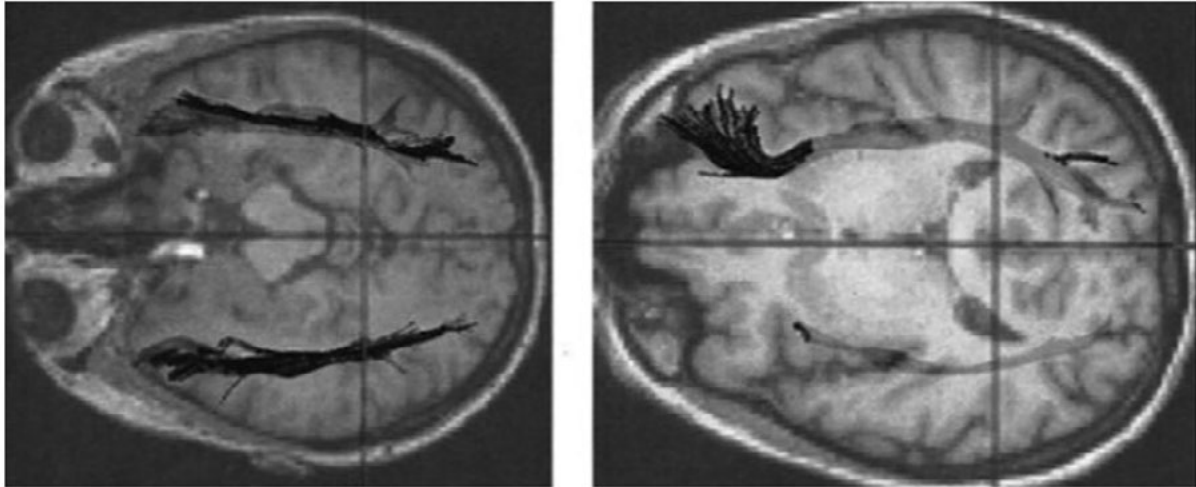
Grandin (2013) estudió su propio cerebro. Grandin es una persona con espectro autista de alto funcionamiento capaz de compartir sus puntos de vista de su experiencia personal de autismo. Entre sus características neurofisiológicas y estructurales cerebrales se encuentran:

- Tiene un cerebelo más pequeño de lo normal (aprox. un 20%).
- Muestra menos activación en respuesta a caras que lo normal.
- Tiene un cerebro sobre-conectado, en este caso significa que sus fascículos (IFOF e IFL) o fibras de asociación, tienen muchas más conexiones que lo usual.
- Tiene un ventrículo izquierdo más grande que el derecho (aprox. 57%, en el grupo de control la diferencia es sólo del 15%).
- Al tener un ventrículo izquierdo mucho más grande, este invade su córtex parietal (asociado con la memoria de trabajo, útil para hacer cálculo) lo cual puede explicar sus problemas para el álgebra.
- Tiene un volumen intracraneal (la cantidad de espacio dentro del cráneo) y tamaño del cerebro más grande (15% más grande que el grupo de control).
- La materia blanca en el hemisferio cerebral izquierdo es un 15% mayor que el control y tiene una amígdala más grande que lo normal, entre otros aspectos.

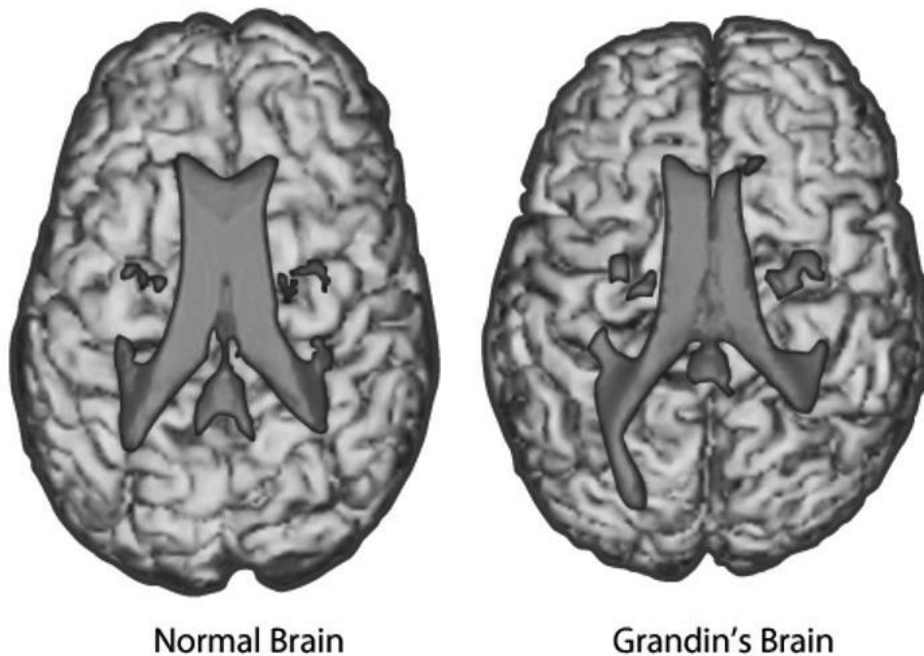


A continuación las dos figuras 4 y 5 muestran dos de estos aspectos diferentes en el cerebro de Temple. La figura 4, muestra las fibras

de asociación mejor conectadas y la figura 5 muestra su ventrículo izquierdo mucho mayor que el derecho.



**Figura 4.** Estudio realizado al cerebro autista de la Dra. Temple Grandin. A la izquierda el cerebro de ella y a la derecha un cerebro neurotípico ambos procesando información visual.  
Fuente: (Grandin, 2013).



**Figura 5.** Ventrículo izquierdo de grande mucho mayor que lo normal.  
Fuente: (Grandin, 2013).

## Modelos computacionales y herramientas TEA

En esta sub-sección se describen algunos modelos computacionales existentes sobre diversos aspectos de la dinámica neuronal y modelos computacionales de capacidades cognitivas TEA. A continuación los modelos de base neuronal.

- Modelo computacional de coherencia central (O’Laughlin, 2000). Este modelo se elabora con base en la teoría de coherencia central. Esta teoría sugiere la incapacidad de integrar la información para dar sentido a su entorno. El modelo simula tal coherencia en una red conexionista para tareas como de homografía<sup>4</sup>.
- Modelo computacional de la disfunción cortical cerebral autista (Vattikuti, 2010). Se sugiere que perturbaciones en el equilibrio a nivel microscópico entre la excitación e inhibición sináptica y la organización neuronal en la corteza cerebral es la causa del autismo. Para lo cual usan un modelo computacional microscópico de la corteza cerebral que incorpora propiedades de la cinética sináptica y de neurotransmisores. Dicho modelo es aplicado al movimiento ocular autista y proporciona una relación directa entre la función cortical cerebral y el comportamiento autista.
- Modelo computacional para entender los desórdenes del espectro autista (Duch, *et al.*, 2012). Se realizan simulaciones de redes neuronales atractoras (permite hacer estudios detallados del comportamiento de un circuito neuronal aunque eliminan mucha de la complejidad biológica de la neuronas reales) que realizan funciones cognitivas para evaluar la neurodinámica cerebral a largo plazo. Se usa la técnica dinámica simbólica difusa o FSD (por sus siglas en ingles de The Fuzzy Symbolic Dynamics) para la simulación y visualización de los atractores. Dichas simula-

<sup>4</sup> La homografía entre palabras es la circunstancia por la cual dos palabras de diferente significado coinciden en su escritura, es decir, tienen identidad ortográfica.

ciones han sido implementadas en clústeres de computadoras en arquitecturas basadas en grid.

- Modelo de computación autista normalizado (Rosenberg, 2015). Al igual que el modelo anterior, adopta la hipótesis que alteraciones en los mecanismos computacionales del cerebro pueden explicar las características de comportamiento autista. El modelo de normalización se extiende a varios circuitos sensoriales y regiones del cerebro, incluyendo la representación de los olores, los efectos moduladores de la atención visual, la codificación del valor y la integración de la información multisensorial (Carandini, 2013). Se usan simulaciones de redes neuronales para mostrar que una reducción de las señales inhibitorias en el modelo normalizado (en la computación neuronal) puede explicar las consecuencias de percepción autista. El modelo muestra la relación de las bases genéticas-moleculares del autismo y sus características comportamentales.
- Un modelo de red neuronal del autismo (Carvalho, 1999). Proponen un modelo de red neuronal para simular el proceso de neurodesarrollo a través de la construcción de mapas neuronales. Un mapa neural es una capa de neuronas cuyas propiedades están sistemáticamente relacionadas con el mundo externo (por ejemplo, espacio visual o auditivo) y representan regiones del sistema nervioso. La simulación del modelo da un indicio de qué regiones del cerebro son responsables de las representaciones de alto nivel (i.e de sus funciones cognitivas) y como estas se ven afectadas en personas autistas. Estas deficiencias pueden dar cuenta de sus síntomas y capacidades especializadas. El modelo es confrontado con la teoría de coherencia central débil para su análisis.

### Modelos computacionales de capacidades cognitivas TEA.

En esta sub-sección se describen algunos modelos computacionales existentes de diversas capacidades cognitivas autistas. Obler (1988) presenta un modelo que explica aspectos de la habilidad mental de un Savant como Donny, cuya destreza es el cálculo de fechas de calendario (ver figura 6). Dado un dato en el año 2079, “enero 3 de 2079”, Donny usa para su cálculo algunas reglas de calendario (por ejemplo, que el mismo calendario se repite cada 28 años) para encontrar el año más próximo con la misma estructura de calendario, que le permita dar una respuesta correcta. En el modelo, por ejemplo para la fecha 2079, tiene el mismo calendario que 1995, puesto que  $1995 = 2079 - 84$  y 84 es múltiplo de 28. Cuando se ha alcanzado un año cercano al presente, y su calendario está disponible en memoria, la información del día y el mes de ese calendario pueden ser utilizadas para dar la respuesta correcta. Es de notar en esta investigación, el que existan algunos patrones o reglas que se pueden repetir en un dominio, que son reconocidas y usadas por estas personas.

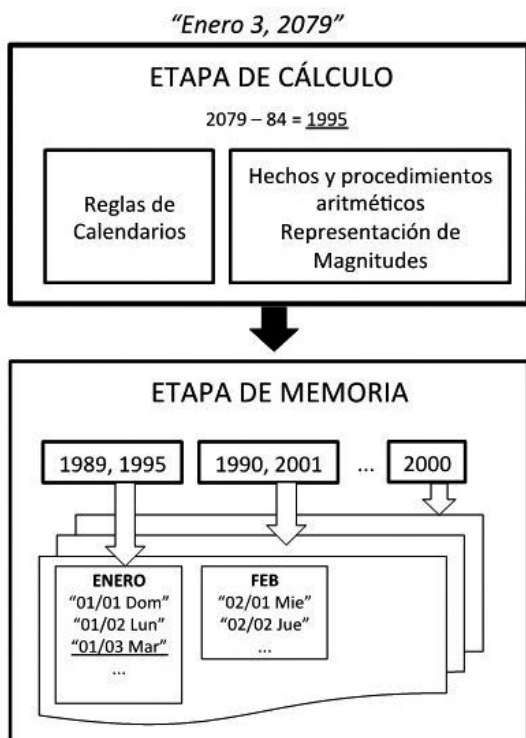


Figura 6. Modelo cognitivo para cálculo de fechas de calendario. Fuente: (Obler 1988).

Otro modelo trata con la habilidad de cálculo o identificación de números primos<sup>5</sup> por parte de autistas savant (Welling, 1994). La siguiente tabla 1, muestra una lista de números primos en varios intervalos.

Tabla 2. Números primos en varios intervalos.

Intervalo	No.
1-10	5
1-100	26
1-1000	169
1-10.000	1.230
1-100.000	9.593
1-1'000.000	78.499

Fuente: Elaboración propia (2016).

Para determinar un número primo se requiere cierto nivel de cálculo y sin embargo los autistas que se estudian demuestran una capacidad para identificar números primos sin tener tales habilidades aritméticas. El modelo explica el método diferente subyacente que les permite entonces identificar los números primos, demostrando que la propensión o tendencia natural de la percepción visual (organizada simétricamente) permite hacer una distinción entre números primos y no primos. La regla base de este modelo es que la posibilidad de formación de grupos iguales permite distinguir un número primo de un no-primo.

Por último, Mottron (2013) presenta un modelo del desarrollo de las habilidades autistas excepcionales. Afirman que las habilidades autistas excepcionales como la hiperlexia<sup>6</sup>, el oído absoluto y sinestesia<sup>7</sup>, implican componentes neurocognitivos similares, comparten la misma estructura y curso de desarrollo, y representan modos relacionados por los cuales el cerebro perceptivo trata con

<sup>5</sup> Los números primos son aquellos que solo resultan divisibles por sí mismos y por la unidad.

<sup>6</sup> La hiperlexia es un síndrome que se caracteriza por una intensa fascinación por letras o números y una capacidad de lectura avanzada. Los niños hiperléxicos leen a niveles muy superiores que los niños de su misma edad y, a menudo empiezan a leer a muy temprana edad, a veces a los dos años.

<sup>7</sup> La sinestesia es percepción conjunta de varios tipos de sensaciones de diferentes sentidos en un mismo acto perceptivo. Por ejemplo Daniel Tammet es una persona sinestésica que combina en su mente números con colores y además cada número posee una única forma, color, textura y emoción.

estructuras objetivas bajo diferentes condiciones. Esto es, un modelo específico en que la representación interna del autista refleja el mundo exterior.

### *Herramientas tecnológicas centradas en apoyar las debilidades TEA.*

Es sabido que las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) tienen un gran potencial en el apoyo al tratamiento de TEA: las herramientas basadas en las TIC son útiles dado que la interacción con las computadoras apoya la imaginación de los juegos de roles necesarios en entornos predecibles. A continuación se describe un conjunto de herramientas tecnológicas para el apoyo a diferentes problemas TEA centradas desde el lado del paciente:

- Herramienta de apoyo a funciones ejecutivas (Portero, 2016). Esta herramienta apoya a niños autistas con problemas de función ejecutiva “planeación”.
- Herramienta de apoyo de actitudes mentales (razonamiento) (Galitsky, 2013). La herramienta es propuesta como estrategia de rehabilitación a problemas de razonamiento. La herramienta recrea modelos mentales y estados emocionales del mundo real.
- VirtuaCyL. Sistema ubicuo basado en Android para refuerzo educativo de niños con autismo dentro de la metodología Teacch (Álvarez, 2016).
- Mind Reading. Es una herramienta para conocer las emociones humanas (expresión facial y vocal). Dispone de una biblioteca de emociones de más de 400 estados de ánimo. Se puede utilizar como un centro de aprendizaje de emociones (Junek, 2007).
- El proyecto Authic. Esta herramienta ayuda a los niños con trastorno de espectro autista a comprender y a interpretar las expresiones faciales asociadas a una emoción, mediante juegos interactivos supervisados por un terapeuta (Castillo, 2016).
- Project@ emociones: software para estimular el desarrollo de la empatía en niños y niñas con trastornos del espectro autista (Muñoz).
- Entre otros estudios de realidad virtual

orientados hacia el apoyo autista (Bellani, 2011), (Parsons, 2011).

### **Herramientas tecnológicas orientados a apoyar el diagnóstico TEA.**

También hay herramientas basadas en TIC centradas en apoyar a los psicólogos y terapeutas en sus actividades de diagnóstico TEA, así como en la concepción de nuevas intervenciones tecnológicas. Muchas de las cuales se soportan en estándares de diagnóstico TEA.<sup>8</sup>

En particular, Tarantino (2016) presenta un sistema denominado “Gamified TEL System” un enfoque integrado que incluye el diagnóstico y el aprendizaje gamificado. Ojeda (2015) propone un método basado en algoritmos genéticos de apoyo al diagnóstico TEA. Es una tecnología para apoyar cuantitativamente el diagnóstico médico. Este trabajo plantea un método que incluye la especificación de mapas conceptuales y taxonomías basándose en el DSM-V. Un proceso de minería de texto es aplicado sobre la información obtenida de los familiares de niños autistas, con el objeto de clasificarlos taxonómicamente según los criterios definidos por DSM. Un enfoque de optimización combinatoria, utilizando algoritmos genéticos, es desarrollado para cuantificar con valores máximos los criterios DSM. Barón (2002) presenta M-CHAT, un instrumento consta de 23 ítems seis de los cuales fueron identificados como críticos mediante análisis discriminante. Los ítems son el 2 (muestra interés por otros niños); el 7 (suele señalar con el dedo para indicar que algo le llama la atención); el 9 (suele traerle objetos para enseñárselos); el 13 (imitación); el 14 (respuesta al nombre); y el 15 (seguimiento visual de actos de señalar). Bone (2016) estudia el uso del aprendizaje de máquina en la detección autista. El aprendizaje automático (ML, por sus siglas en inglés) es especialmente aplicable al TEA, en sistemas que son validados en referencia a “buenos estándares (dataset)” para una mejor estimación clínica del diagnóstico (BEC, best-estimate clinical diagnosis).

<sup>8</sup> ADOS-2. (Autism Diagnostic Observation Schedule, Second Edition), ADI-R (Autism Diagnostic Interview-Revised), Social Communication Questionnaire (SCQ).

## Conclusiones

Los hechos reportados en la literatura científica revisada sobre los avances en el conocimiento

y modelado computacional del cerebro autista permiten llegar de manera parcial a las siguientes conclusiones, resumidas en la siguiente tabla 3.

**Tabla 3.** Avances en el conocimiento y modelado computacional del cerebro autista.

Criterio de observación	Avance y/o vacíos
Conocimiento del fenómeno	En este sentido se ha avanzado en varios hechos que dan cuenta de distintos aspectos asociados con el autismo como la teoría de la mente, el déficit de las funciones cognitivas de coherencia central débil, la sobre-selectividad de estímulos, el funcionamiento perceptivo mejorado, el cerebro masculino extremo autista, entre otras ventanas de observación. Pero dado que el autismo es un problema complejo, quedan aún muchos vacíos a nivel ambiental, biológico, familiar, social y cultural por determinar.
Tecnologías para el estudio del cerebro TEA.	Las tecnologías de la información a nivel cerebral están permitiendo ver más allá de un donde ocurren los procesos, sino también en que instante y con bastante resolución espacial como hablar de una exploración en tiempo real. El común denominador a las tecnologías revisadas es que no todas cuentan con todas las capacidades de resolución. También que unas son aún muy invasivas lo cual no permite físicamente estudiar niños autistas.
Características estructurales/anatómicas del cerebro TEA	La anatomía o estructura cerebral vista en los autistas estudiados muestran que tienen una estructura deferente. Destaca lesiones en el lóbulo parietal izquierdo y a nivel de sus conexiones, por ejemplo Albert Einstein tenía un más denso cuerpo calloso lo que le permitía una mejor comunicación entre los dos hemisferios cerebrales. Pero si bien se ha podido observar estas características aún no se sabe cómo esto desencadena en sus capacidades cognitivas cerebrales.
Modelos computacionales TEA	Existen varios modelos computacionales que simulan diversos aspectos neurofisiológicos de la dinámica neuronal autista. Estos modelos se usan como mecanismo de prueba de diversas incapacidades autista. Por ejemplo, el modelo de (Vattikuti, 2010) es un modelo computacional microscópico de la corteza cerebral que incorpora propiedades de la cinética sináptica y de neurotransmisores. Dicho modelo es aplicado al movimiento ocular autista y proporciona una relación directa entre la función cortical cerebral y el comportamiento autista.  Por otra parte varios modelos computacionales se ha propuesto para simular capacidades cognitivas. Especialmente se mencionan, capacidad de cálculo de calendario y de cálculo de números primos. Actualmente con tecnologías como Deep Learning se está alcanzado niveles de reconocimiento sorprendentes que podríamos comparar con capacidades Autistas (especialmente en reconocimiento de imágenes) (Nguyen, 2016).
Herramientas de apoyo TEA	Hay dos maneras en que las TIC están ayudando a tratar el autismo. Una forma es con herramientas de apoyo dirigidas u orientadas directamente al autista. Por ejemplo para apoyar sus incapacidades de funciones cognitivas. Por otra parte existen herramientas para apoyar el proceso de diagnóstico TEA. Estos modelos usan tecnologías como algoritmos genéticos, aprendizaje de máquina, entre otros. No se encontró una herramienta de diagnóstico computacional que permita inferir debilidades o niveles de gravedad autista de manera automática. Las que existen son instrumentos convencionales impresos requieren de un experto, muy costosos y complejos para ser aplicados por una padre de familia común y corriente interesado en saber si su niño tiene autismo.



A modo de trabajo futuro se propone desarrollar un sistema automático para la identificación del autismo visto desde tres ejes característicos del mismo: neurofisiológico, cognitivo y conductual. El modelo debe permitir identificar una incapacidad de una persona asociada con el autismo y cuál es su nivel de gravedad. Para ello, se usará el formalismo de representación y razonamiento de conocimiento que ofrece los mapas cognitivos difusos, los cuales permiten describe el fenómeno en términos de conceptos relevantes del trastorno y las relaciones causales entre ellos y esta soportado matemáticamente en el paradigma de las redes neuronales y la lógica difusa (Aguilar, 2015).

### Referencias

- Aguilar, J. (2005). A survey about fuzzy cognitive maps papers. *International journal of computational cognition*, 3(2), 27-33.
- Alivisatos, P., Chun, M., Church, G., Greenspan, R., Roukes, M., & Yuste, R. (2012). The brain activity map project and the challenge of functional connectomics. *Neuron*, 74(6), 970-974.
- Veros, M. (2016). *VirtuaCyL: desarrollo y validación de un sistema ubicuo basado en Android para refuerzo educativo de niños con autismo dentro de la metodología Teacch* (tesis máster en Inteligencia Artificial). Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España.
- American Psychiatric Association. (2013). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders* (Fifth edition). Recuperado de <http://dsm.psychiatryonline.org/doi/book/10.1176/appi.books.9780890425596>
- Anderson, J. (2013). The architecture of cognition. *Psychology Press*. 340.
- Baron, S, et al. (2002). *Development of a new screening instrument for autism spectrum disorders - the Q-CHAT*. Paper presented at the International Meeting for Autism Research. Orlando, FL.
- Baron, S., Leslie, A. M., & Frith, U. (1985). Does the autistic child have a “theory of mind”?. *Cognition*, 21(1), 37-46.
- Bellani, M., Fornasari, L., Chittaro, L., & Brambilla, P. (2011). Virtual reality in autism: state of the art. *Epidemiology and psychiatric sciences*, 20(03), 235-238.
- Bone, D., Bishop, S., Black, M., Goodwin, M., Lord, C., & Narayanan, S. (2016). Use of machine learning to improve autism screening and diagnostic instruments: Effectiveness, efficiency, and multinstrument fusion. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 57(8), 927-937.
- Cai, D., & otros. (2013). Improved tools for the brainbow toolbox. *Nature methods*, 10(6), 540-547.
- Carandini, M., & Heeger, D. (2013). Normalization as a canonical neural computation. *Nature Reviews Neuroscience*, 14(2), 152-152.
- Vidal, L., Carvalho, N., & Fiszman, A. (July 1999). *A neurocomputational model for autism*. *Proceedings of the IV Brazilian Conference on Neural networks*. Congresso Brasileiro de Redes Neurais. Sao José dos Campos, Brazil.
- Castillo, T., Pérez, C., Lara, C., Somodevilla, M., Pineda, I., de Alba, K., y Romero, E. (2016). *Authic: Herramienta computacional para niños con espectro autista*. XVI-II Simposio Internacional de Informática Educativa, Puebla, México.
- Cattell, R., & Parker, A. (2012). Challenges for brain emulation: why is building a brain so difficult. *Natural intelligence*, 1(3), 17-31.

- Cererols, R. (2011). *Descubrir el Asperger* (Segunda edición), 184.
- Corrigan, N., Richards, T., Treffert, D., & Dager, S. (2012). Toward a better understanding of the savant brain. *Comprehensive psychiatry*, 53(6), 706-717.
- Włodzisław, D., Wiesław, N., Jarosław M., Grzegorz, O., Krzysztof, D., Dariusz, M., & Grzegorz, M. (2012). Computational approach to understanding autism spectrum disorders. *Computer Science*, 13(2), 47-61.
- Frey, J., Mühl, C., Lotte, F., & Hachet, M. (2013). *Review of the use of electroencephalography as an evaluation method for human-computer interaction*. Recuperado de <https://arxiv.org/pdf/1311.2222.pdf>
- Friston, K., & Buzsáki, G. (2016). The Functional Anatomy of Time: What and when in the Brain. *Trends in cognitive sciences*, 20(7), 500-511.
- Galitsky, B. (2013). A computational simulation tool for training autistic reasoning about mental attitudes. *Knowledge-based systems*, 50(C), 25-43.
- Grandin, T., & Panek, R. (2013). The autistic brain: Thinking across the spectrum. *Houghton Mifflin Harcourt*. 253.
- Happé, F., & Frith, U. (2006). The weak coherence account: detail-focused cognitive style in autism spectrum disorders. *Journal of autism and developmental disorders*, 36(1), 5-25.
- Harper, S. (2010). nano-TAB: Specification to facilitate data exchange among nanotechnology resources. *Cancer biomedical informatics grid*, 32.
- Houdé, O., & Tzourio-Mazoyer, N. (2003). Neural foundations of logical and mathematical cognition. *Nature Reviews Neuroscience*, 4(6), 507-514.
- Howlin, P. (2012). Understanding savant skills in autism. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 54 (6), 484-484.
- Junek, W. (2007). Mind reading: The interactive guide to emotions. *Journal of the Canadian Academy of Child and Adolescent Psychiatry*, 16 (4), 182.
- Kapur N. (1996). Paradoxical functional facilitation in brain-behavior research. A critical review. *Brain*, 119(5), 1775-1790.
- Kitchenham, B. (2004). Procedures for performing systematic reviews. *Software Engineering Group, Department of Computer Science*, 33.
- Kodandaramaiah, S. B., y otros. (2016). Assembly and operation of the autopatcher for automated intracellular neural recording in vivo. *Nature protocols*, 11(4), 634-654.
- Lecun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). *Deep learning*. *Nature*, 521(7553), 436-444.
- Li, K., Guo, L., Li, G., & Liu, T. (2009). Review of methods for functional brain connectivity detection using fMRI. *Computerized Medical Imaging and Graphics*, 33(2), 131-139.
- Liu, E., & Konkle, A. (2016). Extreme male brain theory of autism. *Revue interdisciplinaire des sciences de la santé-Interdisciplinary Journal of Health Sciences*, 2(1), 32-43.
- Lou, H., Changeux, J., & Rosenstand, A. (2016). Towards a cognitive neuroscience of self-awareness. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*. 75, 9.
- Lovaas, O., Koegel, R., & Schreibman, L. (1979). Stimulus overselectivity in autism: a re-

- view of research. *Psychological bulletin*, 86(6), 1236-1254.
- Markram, K., & Markram, H. (2010). *The intense world theory—a unifying theory of the neurobiology of autism*. doi: doi.org/10.3389/fnhum.2010.00224
- Mccoy, D., Arrigoni, M., & Gallaher, N. (2015). Optogenetics research drives new laser technologies. Recuperado de <http://www.laserfocusworld.com/articles/print/volume-51/issue-06/biooptics-world/biooptics-features/optogenetics-optogenetics-research-drives-new-laser-technologies.html>
- Men, W., Falk, D., Sun, T., Chen, W., Li, J., Yin, D., Zang, L., & Fan, M. (2013). *The corpus callosum of Albert Einstein's brain: another clue to his high intelligence?*. doi.org/10.1093/brain/awt252
- Mottron, L., & Burack, J. (2001). Enhanced perceptual functioning in the development of autism. *Lawrence Erlbaum Associates*, 148.
- J. Burack, T. Charman, N. Yirmiya, P. Zelazo (Eds.) (2001), *The Development of Autism: Perspectives from Theory and Research*. Lawrence Erlbaum Associates, Mahwah.
- Mottron, L., Bouvet, L., Bonnel, A., Samson, F., Burack, J. A., Dawson, M., & Heaton, P. (2013). Veridical mapping in the development of exceptional autistic abilities. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 37(2), 209-228.
- Muñoz, R., Noël, R., Kreisel, S., y Mancilla, F. (2012). Proyecto@ Emociones: software para estimular el desarrollo de la empatía en niños y niñas con trastornos del espectro autista. *Nuevas Ideas en Informática Educativa*, 59-64.
- Neubauer, S. (2003). *Tomografía por emisión de positrones (PET)*. Recuperado de [http://www.cirujanosdechile.cl/revista\\_anteriores/PDF%20](http://www.cirujanosdechile.cl/revista_anteriores/PDF%20Cirujanos%202003_01/Cir.1_2003%20Tomografi%CC%81a%20positrone.pdf)
- Cirujanos%202003\_01/Cir.1\_2003%20Tomografi%CC%81a%20positrone.pdf
- Nguyen, A., Yosinski, J., & Clune, J. (2016). Understanding innovation engines: Automated creativity and improved stochastic optimization via deep learning. *Evolutionary Computation*, 24(3), 545-572.
- O’Laughlin, C., & Thagard, P. (2000). Autism and coherence: A computational model. *Mind & Language*, 15(4), 375-392.
- Ojeda, J. (2015). Un método basado en algoritmos genéticos de apoyo al diagnóstico TEA. *Actas de Ingeniería*, 1, 84-93.
- Olds, J., Rubin, P., MacGregor, D., Madou, M., McLaughlin, A., Oliva, A.,... Wong, P. (2013). Implications: Human cognition and communication and the emergence of the cognitive society. *Science Policy Reports*, 223-253.
- Ozonoff, S., Pennington, B., & Rogers, S. (1991). Executive function deficits in high-functioning autistic individuals: relationship to theory of mind. *Journal of child Psychology and Psychiatry*, 32(7), 1081-1105.
- Parsons, S., & Cobb, S. (2011). State-of-the-art of virtual reality technologies for children on the autism spectrum. *European Journal of Special Needs Education*, 26(3), 355-366.
- Pellicano, E., & Burr, D. (2012). When the world becomes ‘too real’: a Bayesian explanation of autistic perception. *Trends in cognitive sciences*, 16(10), 504-510.
- Plomin, R., Haworth, & Davis, O. (2009). Common disorders are quantitative traits. *Nature Reviews Genetics*, 10, 872-878.
- Portero, P. (2016). Automatización de las torres de Hanói: Herramienta de apoyo para el estudio de la función ejecutiva “Planifica-

- ción” en niños con síndrome de Asperger. *CIAIQ2016*, 4, 104-112.
- Puerto, E. (2016). Estado actual de los estudios cerebrales a nivel computacional. *Metanoia*, 15.
- Ramachandran, V. (2012). Lo que el cerebro nos dice. *Paidós*, 304-313.
- Ramachandran, V., & Oberman, L. (2007). Broken mirrors: a theory of autism. *Scientific American*, 17, 20-29.
- Rizzolatti, G., & Sinigaglia, C. (2016). The mirror mechanism: a basic principle of brain function. *Nature Reviews Neuroscience*, 17(12), 757-765.
- Rosenberg, A., Patterson, J., & Angelaki, D. (2015). A computational perspective on autism. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(30), 9158-9165.
- Scassellati, B. (2005). *Quantitative metrics of social response for autism diagnosis*. doi:10.1109/ROMAN.2005.1513843.
- Selfe, L., & Nadia. (1977). Nadia: A case of extraordinary drawing ability in an autistic child. *Academic Press*, 143.
- Son, J., & Mishra, A. (2016). *A Survey of Brain Inspired Technologies for Engineering*. doi: 10.1109/RoboMech.2016.7813135
- Tammet, D. (2007). Born on a blue day: Inside the extraordinary mind of an autistic savant. *Simon and Schuster*, 240.
- Tarantino, L., Mazza, M., Valenti, M., & De Gasperis, G. (2016). *Towards an integrated approach to diagnosis, assessment and treatment in autism spectrum disorders via a gamified TEL system*. In Methodologies and intelligent systems for technology enhanced learning, 6th International Conference, Sevilla, España.
- Treffert, D., & Christensen, D. (2005). Inside the mind of a savant. *Scientific American*, 293(6), 108-113.
- Tronnier, V., & Rasche, D. (2015). Deep brain stimulation. *Textbook of Neuromodulation*, 61-72.
- University-of-Maryland. (2012). *Tomografía por emisión de positrones (TEP)*. Retrieved from <http://umm.edu/Health/Medical/SpanishEncy/Articles/Tomografia-por-emision-de-positrones-TEP>
- Vattikuti, S., & Chow, C. (2010). A computational model for cerebral cortical dysfunction in autism spectrum disorders. *Biological psychiatry*, 67(7), 672-678.
- Welling, H. (1994). Prime number identification in idiots savants: Can they calculate them?. *Journal of autism and developmental disorders*, 24(2), 199-207.
- Yeo, B., & Eickhoff, S. (2016). Systems neuroscience: A modern map of the human cerebral cortex. *Nature*, 536, 152-154.
- Zimmerman, A. (Ed.). (2008). *Autism: Current theories and evidence*. Baltimore, EEUU





La Raya – Cusco, Perú / Autor: Walter Guisao