

Analogía computacional del cerebro y la mente

Ing. Alexander Martínez* y Jaime Fornaguera Ph. D**

(En Búsqueda de una integración más fuerte entre las ciencias de la computación, la neurociencia y el psicoanálisis)

*Carl Sagan,
El Cerebro de Broca, 1994 (4)*

Introducción

En los últimos dos siglos se ha dado un especial interés por desentrañar los misterios que rodean a la mente y al cerebro (3). Es más, esta separación ha hecho suponer que la mente es una cuestión de orden espiritual y que el estudio del cerebro jamás llegará a develar los verdaderos secretos de la mente. La mayoría de los neurocientíficos modernos no creen que esto sea cierto, entre ellos Richard Restak reconocido neurocientífico norteamericano, y suponen que los procesos y enfermedades mentales pueden ser descritas como un conjunto de balances o desbalances bioquímicos. Sin embargo, aunque no muy clara todavía, la relación mente-cerebro es cada día más estrecha y los métodos que se tienen para estudiar uno y otro se integran para sacar mayor provecho de ambos. Estas técnicas son el psicoanálisis y la neurociencia. El psicoanálisis nos permite descubrir los complicados vericuetos de la mente y la neurociencia la compleja red de dendritas, axones y las complicadas reacciones bioquímicas que ocurren en el cerebro. Sin embargo, hay otra área del conocimiento que es fundamental y no ha sido fuertemente integrada al estudio del cerebro y la mente: las ciencias de la computación.

No es raro oír a los profesionales en informática hablar del cerebro como el gran computador, se escuchan comentarios como "me falta más memoria RAM para recordar más números telefónicos" o "me quedé enciclado". Sin embargo, estas comparaciones se realizan en son jocosos y pocos se aventuran a describir la mente como un computador, pues se considera que es imposible tal descripción siendo el cerebro muy, muy superior a lo que cualquier computador de la actualidad pueda realizar. Esta opinión es compartida por algunos neurocientíficos, como Restak. Otros neurocientíficos, como Jonathan Winson (neurocientífico de la Universidad Rockefeller en Nueva York) sí se aventura a hacer estas comparaciones y utiliza, aunque muy tímidamente términos computacionales para describir ciertos procesos mentales, como la comunicación neuronal del hipocampo (5).

Mi propuesta es que no solamente puede describirse el cerebro desde un punto de vista computacional, sino que es absolutamente necesario para poder comprender mejor los mecanismos cerebrales. La base de esta comparación se establece en los siguientes hechos: primero, el cerebro es un órgano de procesamiento de información; segundo, los computadores son máquinas diseñadas para el procesamiento de la información, por lo tanto, se puede establecer un paralelismo entre ellos. Mi hipótesis es pues, que como ambos procesan información, entonces muchos procesos que ocurren en uno deben ocurrir en el otro también y por tanto debe poder establecerse este paralelismo. Cito a continuación dos autores que apoyan esta opinión. Ricard Restak en su libro "Brainscapes": "Ciertamente, el cerebro procesa información a todo nivel de su funcionamiento," y Gen Matsumoto, en su artículo "El Cerebro como un computador" presentado en la conferencia internacional de Procesos Cerebrales, teorías y modelos: "El cerebro es un sistema de procesamiento de información..." Más adelante se concluye hipotéticamente en este artículo que: "El cerebro evalúa el valor de la información

externa contra el criterio de valor presente, produciendo movimiento, emoción y o expresión del lenguaje."

La aproximación que hago es diferente y pretende llevar la comparación computacional a un nivel más fino, más detallado y más directo entre ambos entes. Creo además que esta similitud es únicamente a nivel funcional. La forma en como se llevan a cabo los procesos en el cerebro y en los computadores es muy diferente y el "hardware" que los lleva a cabo también, pero muchos procesos deben ser los mismos. Por tanto no creo, ni me parece lógico, suponer que en el cerebro hay uno o muchos CPUs o espacio de memoria RAM, y discos duros. Lo que sí hay son regiones dedicadas básicamente al procesamiento de la información y otras dedicadas al almacenamiento, temporal algunas y permanente otras, de información. Nuevamente recalco que las similitudes son de funciones y no de "hardware".

El artículo está dividido en tres partes. En la primera se menciona algunos órganos cerebrales, su función fisiológica y su interpretación computacional. Se divide el cerebro en tres grandes grupos. Se propone que estos tres grandes grupos tienen un equivalente, mucho más simple, en la organización actual de los sistemas operativos, reflejo claro que puede realizarse una correspondencia entre procesos y mecanismos cerebrales y procesos y mecanismos computacionales.

En la segunda parte se describe, con base en estas teorías, una hipótesis sobre la posible organización computacional de la mente, en estado de vigilia. Y en la tercera parte se da una interpretación computacional de los sueños.

A través del artículo se habla de dos conceptos utilizados por el psicoanálisis y la psicología que son el consciente y el inconsciente. Winson, cree ubicar el consciente en algunas áreas del cerebro y el inconsciente en otras. En este artículo se hace referencia a estos términos teniendo presente que cuando se habla del consciente o inconsciente debe ubicarse esta separación. Básicamente, y de una forma muy simple el consciente se ubicará en las partes de la corteza frontal y el subconsciente en el sistema límbico. Adicionalmente, desde el punto de vista computacional, se hacen comparaciones con computadores convencionales (maquinas de Turing). No significa esto que el cerebro pueda ser visto como una máquina de Turing. Tampoco estoy afirmando que el cerebro puede ser representado como una máquina paralela.

De hecho, mi opinión es, y parece muy lógica, que ninguno de nuestros computadores, en su totalidad puede ser visto como un cerebro. Pero, es muy diferente suponer que un computador es un cerebro o viceversa, a suponer que algunos procesos que ocurren en las computadoras también pueden ocurrir en el cerebro y viceversa. Esta última suposición es la que presento en este artículo. Agregando un poco más, creo que si quisiéramos construir algo similar a un cerebro, deberíamos construir un hardware que reúna la mejor de las características de los diferentes tipos de computadores actuales, de tal forma que cada proceso "cerebral" corra en el hardware más apropiado, constituyendo una organización arquitectural no clasificada en la actualidad. Por ello recalco, el cerebro no es una máquina de Turing, o una máquina paralela, probablemente es una combinación de ellas, y muchas otras arquitecturas aun por diseñar o descubrir.

Nuevamente recordemos que tanto el cerebro, como los computadores están hechos para el manejo de la información. Uno es increíblemente complejo, el otro es conocido y creado por el hombre, pero en ambos se realizan procesos que perfectamente pueden ocurrir en el otro. Como ya conocemos bien los computadores ¿por qué no tratar de aplicar este conocimiento a la exploración del cerebro y la mente? E inversamente también, lo que ya conocemos del cerebro y la mente, ¿porqué no aplicarlo en el diseño de los computadores?

Organización Básica del Cerebro

La clasificación que se sugiere en este artículo agrupa los sub-órganos del cerebro en tres grandes grupos: el sistema cortical, el sistema límbico y el sistema de controles reflejos. Este

último grupo es el que se sugiere en este artículo y corresponde a las partes del cerebro que se encargan del control de las funciones reflejo y los movimientos esenciales como la respiración y el ritmo cardíaco (1,2). Los otros dos grupos ya han sido sugeridos por los neurocientíficos; sin embargo, Winson crea una asociación entre el psicoanálisis y la estructura del cerebro sugiriendo (5) que el consciente se aloja en el sistema cortical y el subconsciente en el sistema límbico.

Sistema Cortical Corteza

Fisiología: las áreas corticales del cerebro están asociadas a los procesos complejos del ser humano, como el lenguaje, el análisis de la visión, y los procesos de información sensorial. Winson cree que aquí se integran los procesos conscientes.

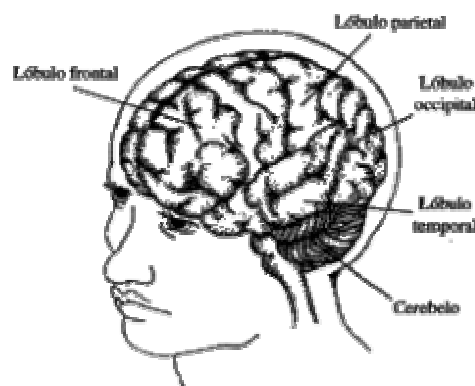


Figura 1. Principales lóbulos de Cerebro Humano.
Tomado de Richard Restak, 1995. (3)

Lóbulo frontal
Fisiología: Actividad Motora Inicial. Procesos del Lenguaje. Con los lóbulos prefrontales y las partes motoras de la corteza se integran la personalidad, la emoción y transforman el pensamiento en acción. Es la región donde se genera la representación de la realidad del momento. O como dice Restak es el sitio donde se provee la "representación interna de la realidad" (3)

Lóbulo parietal

Fisiología: Estación receptora de información sensorial del lado opuesto del cuerpo y responsable de la integración de lo que es visto con lo que se siente.

Lóbulo temporal

Fisiología: Relacionado con el sentido auditivo y se conecta con estructuras como el hipocampo y la amígdala que están relacionados con la memoria, la experiencia y las emociones. Ver [figura 1](#).

Lóbulo Occipital

Fisiología: Procesa la información visual.

Analogía computacional de los lóbulos occipital y temporal : Estos lóbulos, al igual que otros órganos del cerebro, pueden verse como "Front End Processor" (FEP), preprocesadores de la

información sensorial. Por ejemplo, un computador es incapaz de interpretar directamente la información que recibe una cámara de televisión. Sin embargo, con una tarjeta digitalizadora se puede convertir la luz de una imagen en una matrix de puntos con valores correspondientes a brillo, color, intensidad. De esta forma se puede formar una "imagen" digitalizada que directamente no tiene ningún sentido para el computador. Los lóbulos occipital y temporal actúan como estos pre-procesadores que convierten la información directa de los sentidos en información interpretable y analizable para el lóbulo frontal de la corteza, sitio, donde se presume se genera la representación de la realidad del momento.

Cuerpo Calloso

Fisiología: El cuerpo calloso es un gran grupo de fibras que interconectan los dos hemisferios del cerebro.

Analogía computacional: Es aparentemente un gran bus entre los dos principales hemisferios cerebrales.

Sistema Límbico

El sistema límbico "parece ser que actúa como un sistema central de procesamiento de información en el cerebro, interpuesto entre las entradas sensoriales y las salidas motoras (movimiento corporal). Las estructuras de este sistema no reciben información sensorial directa, sino que tratan con información muy organizada derivada de hechos, recuerdos de hechos y emociones asociadas con tales hechos". Ver [figura 2](#).

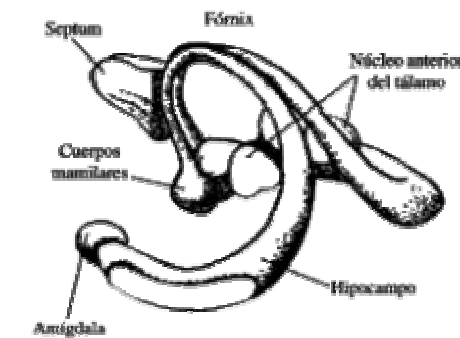


Figura 2. Sistema límbico. Tomado de Winson, 1989 (5).

Talamo y el Hipotálamo

Fisiología: Componentes del sistema límbico responsables de la memoria, la experiencia y la emociones. El tálamo recibe todos los impulsos sensoriales, excepto los del olfato y los dirige hacia las áreas apropiadas de la corteza. Parte de su función es enrutar impulsos de un área del cerebro hacia otra, llevando retroalimentación a todas las regiones.

Analogía computacional: Una de las funciones de estos órganos puede ser vista como ruteadores de información, algo así como los ruteadores en las Redes de Area Local (LAN). Sin embargo, aquí también es donde se almacenan las experiencias, y los recuerdos. Si se

compara su tamaño con el de la corteza, se verá que es mucho más pequeño, lo que hace pensar que los recuerdos se almacenan de una forma comprimida y resumida, guardándose sólo el concepto de lo que percibimos. Esto puede explicar algunos fenómenos diarios como la poca capacidad como dibujantes que tenemos. Por ejemplo se pide que se dibuje una casa y lo que dibujamos es un cuadrado con un triángulo arriba. Este es precisamente el concepto que guardamos, muy limitado con respecto a todos los detalles relacionados con una casa. Esto presupone además algunas cosas, gran parte de la materia cerebral y de la corteza específicamente se utiliza para poder crear una imagen temporal e instantánea de la realidad que nos rodea en un instante específico. (Este concepto se discutirá más a fondo en la siguiente sección del artículo). Es por esto que en un momento dado somos capaces de poder interpretar y reconocer todos los detalles del ambiente que nos rodea pero momentos después ya no nos acordamos. Es como si se tuviera una enorme memoria (RAM en términos computacionales) que constantemente es actualizada, analizada (i.e. se toman decisiones con base en esa interpretación) y vuelve a borrar y a actualizar nuevamente a una velocidad inimaginable. (De hecho existe una corriente eléctrica, todavía no explicable, que recorre el cerebro en su totalidad a una frecuencia de 40 veces por segundo, ¿será ésta la frecuencia con que se actualiza esta realidad?). En este sentido la imagen de la realidad es construida con base en la información enviada por los sentidos, previamente pre-procesados por las partes del cerebro correspondientes, y construida con base en los conceptos e información previa almacenada en el hipocampo. Podría especularse que cada parte de la imagen de la realidad se asocia a un concepto previamente almacenado. Por eso somos capaces de decir que nos encontramos en un espacio abierto, una ciudad, un edificio o dentro de un auto, aunque momentos después no seamos capaces de recordar los detalles mínimos de donde estuvimos. Es por ello, además, que cuando estamos en un ambiente nuevo, por ejemplo en una ciudad, nos cuesta adaptarnos, porque debemos dar tiempo a que el cerebro genere nuevos conceptos y los almacene. Una vez hecho esto, el proceso de reconocimiento es automático y ya no sentimos que estamos en un ambiente nuevo.

Hipocampo y amígdala

Fisiología: El hipocampo, junto con la amígdala y otras áreas más cercanas están conectadas a los cuatro lóbulos de la corteza. Dentro de esta estructura, múltiples conexiones son formadas que van y vienen en retroalimentación a los lóbulos temporales y otras regiones del cerebro. Es aquí donde las emociones y la experiencia se forman. Es aquí, también, donde se coordinan e integran nuestros mundos internos y externos.

El hipocampo es el punto de ingreso a todo el sistema límbico.

El hipocampo y la amígdala son órganos asociados al procesamiento de nuevas experiencias y al almacenamiento en memoria permanente. Un individuo sin el hipocampo ni la amígdala es capaz de recordar hechos de más de tres años de antigüedad aproximadamente, pero no es capaz de recordar acontecimientos recientes. Con base en resultados experimentales los recuerdos tardan alrededor de tres años en entrar al espacio de memoria permanente y se mantienen en el hipocampo y son procesados mientras se almacenan. Además, se ha establecido que el hipocampo procesa información de experiencias no de procesos, siendo un individuo sin el hipocampo capaz de aprender nuevos procesos algorítmicos sin recordar que lo ha hecho. Me parece que una forma de lograr este almacenamiento permanente es por medio de un mecanismo de número de referencias. Así, el recuerdo más referenciado es el que se almacena en memoria permanente.

La amígdala se encuentra delante del hipotálamo y está asociada a la capacidad de retener recuerdos recientes, no duraderos.

Además todos los sistemas sensoriales neocorticales envían información a la amígdala, y a una región cortical llamada corteza entorrinal. En resumen, los sentidos envían información a la amígdala y a la corteza entorrinal, de la amígdala pasa al hipocampo y del hipocampo a la memoria permanente. Recordemos acá que todas las funciones de la corteza están asociadas a los procesos conscientes y las del sistema límbico al subconsciente, no inteligentes o

instintivas. Más aún, James Papez dice: "es evidente pues que las vías aferentes desde los órganos receptores se dividen a nivel talámico, se convierten en tres vías y cada una de ellas conduce a un ruidal de impulsos de especial importancia. Una ruta conduce los impulsos a través del tálamo al cuerpo estriado (los ganglios basales, un grupo de núcleos sub-corticales asociados a la acción y al movimiento). La segunda ruta conduce impulsos desde el tálamo a la corteza cerebral lateral (el pensamiento). La tercera conduce un juego de impulsos concomitantes a través del tálamo al sistema límbico, o la parte emocional". Finalmente se puede afirmar que el consciente genera nueva información pero debe ser almacenada y procesada en el sistema límbico para que sea almacenada en memoria permanente.

Analogía computacional

Tanto los procesos de la corteza, conscientes como los del inconsciente, pueden ser pensados como procesos computacionales de mayor o menor prioridad controlados por diferentes conjuntos de computadores y con funciones diferentes. La información sensorial, previamente procesada por los FEP, llega a los tres grandes núcleos de procesamiento. En uno se genera una imagen de la realidad, en otro se almacena la información temporalmente en un "cache" (la amígdala), mientras se procesa y se trata de definir nuevos conceptos y se almacenan (el hipocampo). Una vez creados los nuevos conceptos pueden ser almacenados en memoria permanente y utilizados por la corteza frontal en la creación de la realidad actual. Esta creación de nuevos conceptos ocurre en el hipocampo y además revisa conceptos viejos, los modifica o los borra. La interdependencia entre consciente e inconsciente es total, por ejemplo un proceso consciente puede disparar un proceso inconsciente de búsqueda de información. Es por esto que a veces tratamos de acordarnos de algo y no lo recordamos sino hasta horas después cuando el consciente está concentrado en otra realidad. El proceso de búsqueda fue un proceso subconsciente.

La información sensorial puede también generar movimientos reflejos sin necesidad de que pasen por procesos conscientes o subconscientes; por ejemplo, cuando conducimos un automóvil y tenemos que realizar un viraje de emergencia, inmediatamente movemos el volante y aplicamos los frenos. Esto gracias a las conexiones directas con los controladores de interrupciones (los ganglios basales).

La separación en procesos conscientes, inconscientes o automáticos no es nueva y están presentes en todo el sistema operativo moderno. Los procesos automáticos corresponderían a los controladores de interrupciones, los procesos subconscientes son aquellos demonios (en lenguaje Unix) o servicios (en lenguaje de Windows NT) que están presentes en el computador, listos para servir algún requerimiento y que no son visibles a los procesos de alto nivel o conscientes, que vienen a constituir los procesos del usuario final. No quiero decir con esto que un computador tenga conciencia o inconciencia, sólo afirmo que siendo un computador una máquina de proceso de información también contiene estructuras analógicas al cerebro, el mejor organismo de proceso de información que la naturaleza ha creado.

Más adelante se analizará la teoría del sueño como el proceso de selección de información.

Sistema de Controles Reflejos

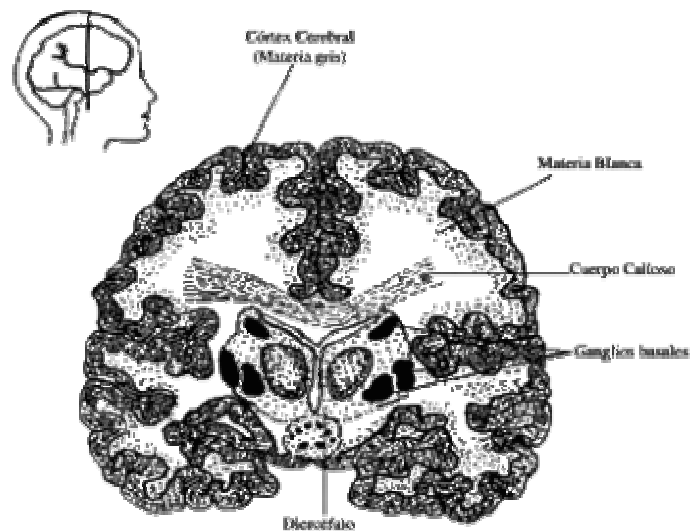


Figura 3. Corte transversal del cerebro. Tomado de Richard Restak, 1995 (3).

Ganglios Basales

Fisiología: Ligada con la iniciación, delicadeza y precisión de los movimientos, responsable de los movimientos automáticos que ocurren sin que se piense en ellos. Pasar las páginas de un libro sin pensarlo o bailar al ritmo de una canción familiar son acciones dirigidas por los ganglios basales. Sin embargo, si se decide poner atención en una parte particular del libro, o se baila con una canción no conocida donde se pone atención al ritmo, los ganglios basales deben consultar a la corteza para poder ejecutar esos movimientos. De hecho los ganglios basales y el cerebrum están interconectados en una forma bidireccional. Ver [figura 3](#).

Analogía computacional: Los ganglios basales pueden ser asociados al controlador de interrupciones de un computador y todo el mecanismo de manejo de interrupciones de un sistema operativo. En este caso el sistema operativo atiende tareas de comunicaciones, I/O del teclado, puertos seriales, red y demás, sin que los procesos de alto nivel sean "concientes" de ello. De forma similar a los "procesos" de la corteza hacen peticiones a los ganglios basales, para fijar la atención en un objeto o para algún movimiento particular; un proceso de un computador hace llamados al manejador de interrupciones para llevar a cabo ciertas tareas específicas, como por ejemplo comunicarse con otro computador en la red. En ambos casos la comunicación es bidireccional.

Cerebelo

Fisiología: Se le denomina también cerebro pequeño, es la parte relacionada con el balance, la postura, y la coordinación del movimiento, y aprendizaje de las tareas motoras.

Analogía computacional: La analogía se explica más fácilmente si toma en cuenta un robot⁶. Un sistema como tal debería tener un conjunto de procesos y hardware especializado únicamente en estas funciones. Al igual que los ganglios basales debe actuar automáticamente. Por ejemplo, debe mantener la postura si el robot cae en un hueco. Pero a su vez debe ser capaz de modificar la postura si recibe una orden directa de un proceso "conciente" (cortical) de alto nivel.

Médula oblongada: Se encarga de funciones vitales como respiración y ritmo cardiaco.

Formación reticular: Es un conjunto de nervios en el tallo que regulan el nivel de alerta, así como qué tan despierto o dormido se encuentra el cerebro.

Analogía computacional: Este órgano es similar al reloj interno de un computador que sincroniza los procesos internos del hardware. Los estados de emoción intensa, por ejemplo la ansiedad o el miedo puede ser definido como la capacidad del cerebro de quitar prioridad a los procesos actuales, inclusive inhibirlos ("swapped-out") y traer a la conciencia (darle una prioridad alta) a procesos relacionados con el miedo o la ansiedad. Estos procesos necesitan frecuencias de procesamiento más altas que las normales. En la mayoría de los casos estos procesos no se activan, y permanecen inhibidos, a no ser por estímulos concientes.

Organización Computacional del Cerebro: Estado de Vigilia

Se ha propuesto hasta el momento la división del cerebro en tres sub-sistemas llamados cortical, límbico y el de controles reflejos. Pero ¿cómo se integran? ¿qué mecanismos son los que se llevan a cabo en el cerebro que los relacionan a todos entre sí?. El siguiente diagrama es una exposición de mi propuesta sobre el funcionamiento del cerebro:

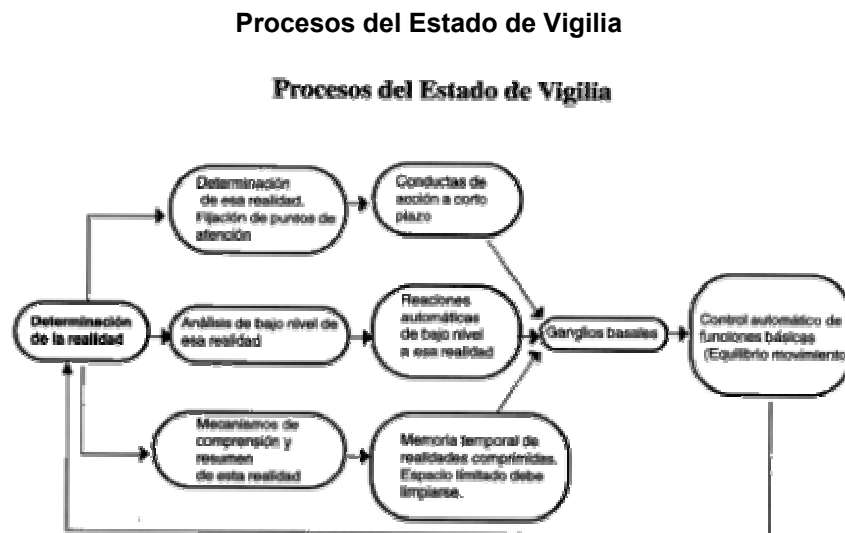


Figura 4. Procesos y Estados del Cerebro durante el Estado de Vigilia.

Es mi parecer que el cerebro trabaja en un ciclo donde constantemente se da una representación de la realidad (Ver [figura 4](#)). Esta representación de la realidad se produciría en el sistema cortical (corteza frontal, corteza parietal, visual, etc) y estaría compuesto por la información proveniente de todos los sentidos, así como las asociaciones con conceptos ya preestablecidos en memoria permanente o temporal, y con otras relaciones complejas con el preconciente y subconciente. Aunque parezca muy complejo si pudiéramos congelar toda la actividad neuronal del cerebro por un instante, descubriríamos quizás, que existe una "realidad" almacenada en ese momento. La impresión que siempre hemos tenido es que esa representación de la realidad cambia en una forma continua en el tiempo. Yo no creo que eso sea así. Pienso que una vez que el cerebro fija una realidad ocurren una serie de procesos previos antes que esa realidad vuelva a cambiar. Esta serie de procesos previos al cambio de realidad son los que se describen en el diagrama. Nótese que en el cambio de una realidad a otra puede verse cómo tener una área de memoria (en el sentido computacional RAM) llena con cierta información. Luego, la siguiente realidad es sobre escribir en esa memoria. Puede apreciarse que cualquier subsistema puede sobre escribir sobre esta área, lo que indica que un

cambio de realidad no siempre es un proceso conciente. Pensemos por ejemplo en las reacciones reflejas cuando conducimos un automóvil. Aquí los ganglios basales producen un cambio de realidad, no programado con anticipación concientemente. Si suponemos que todos estos procesos ocurren a una velocidad muy alta, imaginemos, por pensar en un número, 100.000 veces por segundo, entonces no seríamos capaces de percibir que el análisis de la información en el cerebro no se realiza de una forma continua, sino discreta.

Bien, una vez que se ha fijado esa realidad el cerebro evalúa esa realidad y toma decisiones con base en esos resultados. Estas conductas de acción se toman a corto y mediano plazo. Cada uno de estos procesos es increíblemente complejo, e involucra además asociaciones con memoria permanente y funciones previamente almacenadas. Además involucra interacciones con prácticamente todas las demás áreas del cerebro. Puede verse que las conductas de acción a corto plazo pueden ser de movimiento (casi siempre nos estamos moviendo) lo que involucraría enviar señales a los ganglios basales. Sin embargo, también si accidentalmente nos acercamos al fuego, o realizamos algún otro movimiento "involuntario" los ganglios basales o un reflejo monosináptico, pueden enviar movimientos involuntarios correctivos que también alteran esta realidad.

Un proceso que me parece que también se lleva a cabo en la "comprensión" o determinación de esta realidad es poder agrupar todos sus elementos en conceptos (previamente procesados y comprimidos). Estos conceptos ya se tienen almacenados en memoria temporal o permanente. Como en memoria guardamos los conceptos y no los detalles de cada realidad, entonces simultáneamente, cada vez que se fija una realidad se debe descomponer en diferentes conceptos, algo así como filtrar las imágenes, comprimirlas y compararlas con lo que tenemos. Desde un punto de vista anatómico esto puede comprobarse por el tamaño y complejidad de la corteza, la región del cerebro dedicada a la representación de esta realidad y su análisis. Las regiones dedicadas a la memoria se pueden ver que son mucho más pequeñas lo que indica sugestivamente que existe un mecanismo de compresión que nos permite únicamente almacenar un resumen de las múltiples realidades que percibimos constantemente.

Esta ubicación de conceptos prealmacenados puede ser vista como un caso particular de los llamados "lazos creativos" de Erich Harth, donde se menciona que en el cerebro existen múltiples y muy comunes circuitos de neuronas recurrentes y que evidencian que la información reportada por los sentidos es modificada por las estructuras internas cerebrales.

Pero también nuestro cerebro es capaz de recordar hechos recientes, no con todos los detalles de todo un día o días anteriores. Esto implica que se tiene un espacio de memoria temporal donde se almacenan realidades comprimidas recientes, podría abarcar varios días. Este espacio de memoria temporal es el que en el siguiente apartado vamos a ver que se debe limpiar, para poder seguir procesando información, y este proceso de limpieza se realiza durante el sueño. Podrían inclusive darse diferentes niveles de memoria temporal, uno para los hechos ejecutados durante todo el día, otro para los hechos ocurridos en días anteriores (con realidades comprimidas previamente procesadas durante el sueño que involucrarían también toda la experiencia que se puede adquirir durante el sueño). Este esquema de memorias temporales y de diferente nivel explicará el proceso largo de aproximadamente tres años que más o menos lleva el incorporar los recuerdos a la memoria permanente (5).

Estos serían los procesos de más alto nivel que pueden establecerse; sin embargo, cada uno de ellos es sumamente complejo y debe ser estudiado por aparte. Por ejemplo, ¿Cómo sería el proceso de evaluación de la realidad? De hecho involucraría compararla con las realidades pasadas, con conceptos almacenados y con sentimientos arraigados en el sistema límbico, cada uno de estos procesos involucraría procesamiento con muchas áreas del cerebro. Citar por ejemplo el proceso de fijar un objeto.

Fijación de un objeto: En estudios realizados con PET (Positron Emission Tomography) se ha encontrado el camino que el cerebro utiliza cuando fija un objeto en la mente, y se ha encontrado también que existe otro camino cuando el objeto se hace conciente. Esta diferenciación se ve claramente cuando se conduce un vehículo: siempre notamos la presencia de otros objetos, por ejemplo vehículos y peatones, pero no estamos concientes de ellos a no

ser por una situación especial, como un vehículo que se nos viene encima. A la red que nos permite fijar objetos sin ser conscientes de ellos, en inglés ("to be aware") se le llama "posterior attentional network" (red atencional posterior) y funciona de la siguiente forma: el lóbulo parietal libera su objeto de fijación en el que se encuentra concentrado (i.e. borra la información de memoria, de una área de la corteza encargada de formar la representación de la realidad, una área de la conciencia).

Luego el lóbulo parietal manda una señal al cerebro medio ("mid-brain", parte del sistema límbico), para enfocar la atención en otro objeto (i.e. cargar nueva información en la memoria). El cerebro medio envía luego una señal a los ganglios basales para que se amplíe y amplifique el objeto que se quiere fijar.

Este es un ejemplo claro de cómo estando en una realidad fija en un momento dado el cerebro reconoce un objeto nuevo y quiere fijar su atención en él. Para ello es necesario que descargue la información del objeto fijo en este momento, y que también los ojos cumplan su parte, se muevan y enfoquen nuevamente que es función de los controladores de movimiento, los ganglios basales.

El proceso de llevar el nuevo objeto enfocado a la conciencia es también una red y se le llama "anterior attentional network" (red atencional anterior) e involucra el cíngulo anterior, localizado en la línea media del lóbulo frontal de la corteza (nuevamente la parte relacionada con la conciencia y la representación de la realidad), partes de los lóbulos frontales y partes de los ganglios basales.

Podría verse que este proceso de fijar la atención de un objeto, puede implicar la búsqueda en memoria del concepto que se trata de fijar (de ahí que el cerebro medio, parte del sistema límbico, esté involucrado en este proceso) y cuando se encuentra, traerlo a la representación de la realidad, que sería cargar nuevamente la memoria del lóbulo parietal (un lazo creativo). Es, en términos computacionales, ir a buscar a los archivos de conceptos y encontrar lo que trato de fijar, una vez encontrado lo recupero y lo cargo a memoria.

Organización Computacional del Cerebro: Durante el sueño

El sueño es uno de los procesos cerebrales que más ha intrigado a la humanidad. Hasta se ha llegado a decir que es un error de la naturaleza el hecho que los mamíferos tengan que pasar gran parte de su tiempo durmiendo cuando podrían estar haciendo cosas "útiles". Sin embargo, el sueño es necesidad primaria para la supervivencia, tan importante como el comer o el beber. Presento a continuación una propuesta de los sueños desde un punto de vista neurocientífico y psicoanalítico. Seguidamente, trataré de explicar cómo los sueños también pueden ser entendidos desde un punto de vista computacional.

Teoría Neurocientífica y Psicoanalítica

La teoría de Winson, es que el sueño es: "un mecanismo psíquico básico por medio del cual se construyen gradualmente unas estrategias de comportamiento basadas en la experiencia del animal, esenciales para su supervivencia". En el ser humano ocurren relaciones más complejas, recordemos los conceptos conciencia e inconciencia que también son utilizados para describir la mente. Durante los sueños se dan complejas relaciones entre la información consciente, que se ha adquirido durante el día y los pensamientos subconscientes, que se tienen. En el sueño se planean nuevas estrategias a futuro y se evalúan miedos, se reprimen pensamientos.

Según Freud, los sueños tienen mecanismos de distorsión y censura caracterizados por: simbolismo, necesidad de representatividad, condensación y la sensación de no poder ejercer la voluntad en los sueños. El simbolismo es el hecho de presentar objetos que conscientemente tienen un significado sencillo, pero que inconscientemente representan ideas complejas. Ej: El

sueño de una niña llamada Emily y su gargantilla: una niña que sueña constantemente con una gargantilla. Este objeto vendría a simbolizar su sexualidad.

La representatividad: es la necesidad de representar todas las ideas en forma visual, por decirlo de alguna forma nunca soñamos en abstracto, sólo con imágenes.

La condensación es el hecho de representar ideas y sentimientos muy complejos en imágenes abstractas muy sencillas. Ej: en el sueño de Emily ella entra en un auto con su padre y la gargantilla queda perdida en la carretera. Luego Emily aparece en un cuarto con sus amigas y todas se pasan la gargantilla. Aquí se representa la idea compleja que su padre no quiere saber nada de los problemas de la sexualidad de su hija y ella tiene que enfrentarlo con sus amigas.

Los sueños son la puerta al inconsciente, dijo Freud. La puerta al subconsciente es pues el psicoanálisis, la interpretación de los sueños. Tratamos en este artículo de conciencia e inconciencia pues están sustentados en el cerebro y como tal también corresponden a complejos procesos de información. Freud asoció los sueños a la mente y definió en el inconsciente un mecanismo de asociaciones de recuerdos y censuras, que como un filtro, dejan aflorar muy poco al consciente.

Otra teoría de los sueños indica que en el subconsciente se encuentran múltiples personalidades reprimidas (en lenguaje de Freud) y que solamente aflora una en el consciente. Esto explicaría una enfermedad mental conocida como múltiples personalidades, donde hay individuos que aleatoriamente cambian la personalidad completamente, a distintas e independientes personas. Se verá a continuación cómo se interpreta computacionalmente este mecanismo.

Interpretación Computacional de los Sueños

Como se explicó en la sección anterior, el cerebro puede ser entendido como un complejo órgano de procesamiento de información que constantemente está construyendo, analizando y modificando su representación de la realidad. Simultáneamente el consciente está aprendiendo, generando nuevos conceptos, nuevas experiencias, nuevas habilidades y constantemente está almacenando estas experiencias en una región de la memoria que probablemente sea una combinación de la amígdala, el hipocampo y alguna otra región del sistema límbico. Esta región es lo que se denominó memoria temporal.

Ahora bien, el cerebro tiene una capacidad de almacenamiento increíble, muy grande, pero finita, al fin y al cabo. Este hecho irrefutable es en el que me baso para formular mi interpretación de los sueños, y es la siguiente: el cerebro tiene una región finita de almacenamiento de memoria temporal que es accesada y llenada constantemente con información durante el estado de vigilia. Si este espacio de memoria llegara a llenarse por completo, el cerebro no sería capaz de recibir más información y por tanto no sería capaz de llevar a cabo mayor procesamiento, en otras palabras entraría en caos. De esta forma la naturaleza ha desarrollado una manera de limpiar este espacio de memoria, analizar la información que en ella se contiene y preparar esta región para seguir recibiendo información. Este proceso de análisis de información y limpieza de esta área de memoria temporal es lo que se produce durante el sueño y es fundamental para que el cerebro pueda seguir almacenando y procesando información. Mi interpretación está fundada desde un punto de vista médico en el hecho que los individuos cuando se les priva de sueño, luego de la tercera noche no son capaces de realizar ni las funciones más elementales, se vuelven muy lentos, torpes, y comienzan también a disvariar, sin embargo, no se ha producido ninguna lesión cerebral, ni ningún desequilibrio biológico. Todos ellos son capaces de volver a su estado normal de procesamiento de información una vez que han dormido.

¿Qué ocurre en un computador cuando se queda sin memoria virtual?, lo mismo. Los procesos se vuelven lentos (el sistema operativo se la pasa haciendo "swapping") y si la memoria se

vuelve crítica el sistema entra en caos y ningún proceso es factible. Cuando esto ocurre simplemente se aumenta razonablemente, de acuerdo a ciertas reglas, el espacio de memoria virtual o se aumenta la cantidad de memoria física de la máquina y todo vuelve a la normalidad.

La similitud entre una mente sin dormir y un computador con poca memoria virtual me parece sorprendente y un hecho que sugiere fuertemente lo que ya he planteado. Esto explicaría fuertemente por qué es necesario dormir y por qué la naturaleza no se equivocó cuando "inventó" el sueño.

Pero, ahora bien ¿es el sueño solo un proceso de limpieza de memoria? No, durante el sueño se lleva a cabo procesamiento de información sumamente complejo, que para entenderlo es necesario una breve descripción de las diferentes etapas que componen el sueño en el ser humano.

Durante una noche un individuo normal puede tener 4 o 5 etapas completas de sueño. Cada etapa está compuesta a su vez de 5 sub-etapas conocidas como estadios. En cada uno de estos estadios se realiza un procesamiento especial de información. Los estadios son estadio 1 descendente, estadio 2, estadio 3, estadio 4 y estado 1 ascendente o REM² (Rapid Eye Movement). Este último estadio es cuando se produce un movimiento rápido de los ojos y pequeños movimientos de las puntas de los dedos. En esta etapa de los sueños es cuando se logra recordar que estamos soñando, es aquí donde ocurren las pesadillas o las fantasías, los temores o los placeres. El estadio REM se ha asociado con una etapa de evaluación y generación de nuevas conductas, de hecho así se ha demostrado en experimentos con animales. Los sueños REM se presentan 4 o 5 veces por noche y la duración de cada uno de ellos es cada vez mayor, pasando 10 min. en el primer período hasta casi hora y media en el último.

En los otros estadios del sueño se produce otro tipo de procesamiento no tan impresionante como en el REM. En el estadio 1 se produce el ritmo alpha (un ritmo de la corteza visual que aparece apenas cerramos los ojos) poco tiempo después se registra una actividad cerebral similar a la del estado de vigilia, con la diferencia de que ya estamos dormidos. Luego en los demás estadios del 2 al 4 se produce procesamiento de la información, aún más desconocido; sólo se sabe que el contenido de esta información no es tan fantástico, es más "normal" y se refiere a información de hechos más recientes. Además su carga emocional es muy débil. También durante estas etapas se producen procesos reparadores del organismo.

Estas etapas del sueño pueden pensarse como diferentes etapas en el proceso de la información que durante el estado de vigilia había sido acumulada en la memoria temporal. La siguiente [Figura 5](#) describe este proceso:

Especulativamente podría pensarse que en la primera etapa del sueño se hace una separación o clasificación de la información. Podría pensarse en: temática sexual, supervivencia, conocimientos y sentimientos. Luego durante el estadio 2 podría

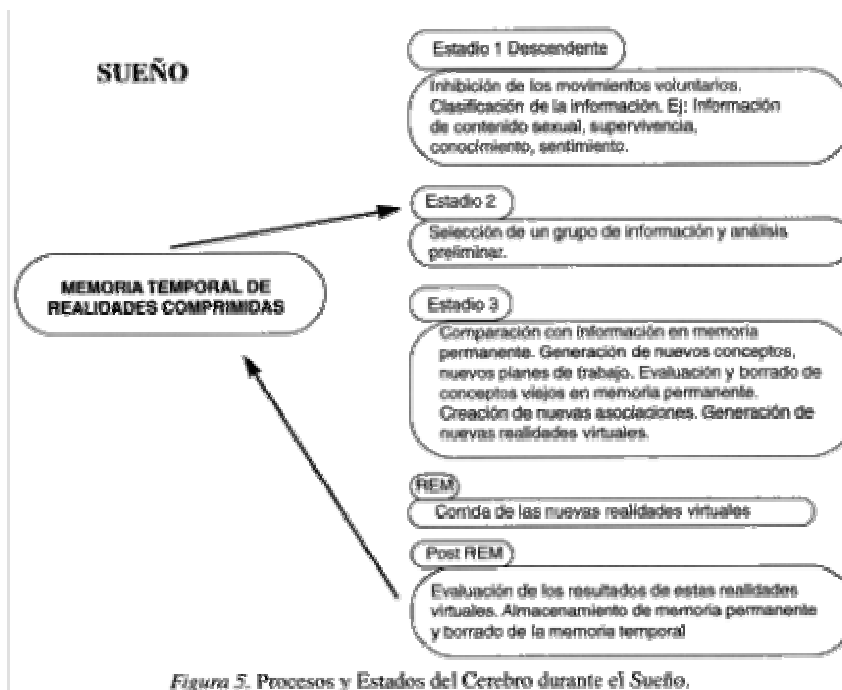


Figura 5. Procesos y Estados del Cerebro durante el Sueño.

tomarse un grupo de esa información y hacer un análisis preliminar. Luego en la etapa 3 podría darse el proceso de generación de nuevos conceptos, que abarca la comprensión y resumen de la información. Estos nuevos conceptos podrían relacionarse y compararse con conceptos previamente establecidos en memoria permanente. Se podría también borrar conceptos viejos, no importa si están en memoria permanente (es por esto que no recordamos hechos que hayan pasado hace mucho tiempo y que hayamos vuelto a traer a la conciencia). Además, se estarían creando aquí nuevas asociaciones, con hechos pasados (sub-concientes). Luego, en la etapa 4 se podría establecer nuevos patrones de conducta con base en la información previamente analizada. Por ejemplo si se sintió miedo por qué el individuo se acercó a un precipicio, ¿qué hubiese pasado si hubiera dado un paso más?, ¿cómo habría resuelto la situación?, ¿o simplemente hubiera pedido ayuda a otra persona, o se hubiera atado con una cuerda para acercarse?. Estas son posibles acciones que el consciente no tomó mientras se encontraba en el estado de vigilia, sin embargo, son políticas que se pueden experimentar en el sub-conciente durante el sueño. Por tanto en esta etapa, los mecanismos del sueño se encargan de ir generando nuevas "realidades virtuales", que en la etapa REM se ejecutarán y posteriormente serán evaluadas. Durante esta etapa los mecanismos subconcientes del sueño en el sistema límbico, generan nuevos procesos y los colocan en la corteza frontal, asociativa, visual y todas las demás regiones relacionadas con la conciencia. Echan a correr los nuevos programas, las nuevas realidades virtuales, con la diferencia que los movimientos musculares están inhibidos. Es por esto que no podemos diferenciar, como dice Descartes, de los estados de sueños de los de vigilia. Es por esto que tenemos la sensación que los sueños son reales, y es por esto que no tenemos conciencia en ellos, tenemos la sensación de no poder controlar la situación, precisamente porque son guiones ya previamente establecidos, comportamientos a prueba, que deben ser evaluados. Es, en resumen, durante el sueño REM que se corren estas nuevas realidades virtuales. Luego en un periodo posterior se estarían analizando los resultados y guardando en memoria permanente los más importantes, rechazando, los irrelevantes.

El por qué se presentan periodos de sueño REM cada vez más largos y seguidos, sin necesidad de pasar por etapas previas de sueño puede responder a diferentes niveles de procesamiento, cada etapa más fina que la anterior, o análisis de diferentes tipos de información. Puede influir además la cantidad y complejidad de información que se procese.

La determinación de los diferentes periodos de sueño están controlados desde el tallo encefálico que actúa como el coordinador central del cerebro. Algo así como el "kernel" en un sistema operativo, tal y como se mencionó previamente.

Recordando de la sesión anterior las características del sueño, el hecho que el cerebro no almacene todos los detalles de una "realidad" dada, sino, sólo un resumen comprimido de ella, explica por qué en los sueños se produce la condensación y el simbolismo, pues el cerebro, en este caso, trabaja esencialmente con los conceptos ya resumidos que mantiene en el subconiente, en la memoria permanente. La representatibilidad es una consecuencia lógica de nuestra organización mental: en nuestra especie el sentido más desarrollado es la visión, así nuestras representaciones de la realidad están basadas en imágenes visuales. Si fuéramos topos nuestros sueños serían olfativos o táctiles probablemente con muy pocas o nulas imágenes visuales. Y finalmente, la transferencia en los sueños es el resultado del proceso de análisis y creación de nuevas realidades virtuales.

Lo cierto del caso es que al final de un periodo de sueño completo el cerebro tiene nuevamente memoria temporal para almacenar más información; ha acumulado nueva experiencia, ha aprendido y se ha adaptado. De ahí que en las mañanas nos sintamos fresquitos como una lechuga, listos para un nuevo día de trabajo.

Conclusiones

Se han presentado en este artículo una serie de correlaciones entre computadores, cerebro y mente. Estas correlaciones, a pesar de haber estado en forma intuitiva en la mente de las personas, nunca se había descrito de una forma detallada que permitiera ver con claridad su existencia. Espero que con este artículo se logre dar un enfoque adicional a las investigaciones en neurociencia y en psicoanálisis, de tal forma que nuevos conceptos y teorías puedan ser desarrollados.

La hipótesis de una organización del cerebro basado en análisis constantes de realidades, es precisamente eso, sólo una hipótesis que debe ser refutada o acogida por métodos científicos. Si el cerebro actúa así o no, no es tan importante, lo importante es que sí habrá lugar a discusión y mejores organizaciones podrán surgir de su estudio. En todo caso, lo que sí me parece más factible es la organización de un robot con una lógica similar a la descrita, que sí es perfectamente programable con la tecnología actual.

El integrar fuertemente las ciencias de la computación, la neurociencia y el psicoanálisis no sólo permitirá construir mejores computadores, sino también conocer y comprender mejor la mente, y de ahí poder llevar alivio a muchas personas que sufren de enfermedades mentales que actualmente no son muy bien comprendidas.

Bibliografía

1. Harth E.: "The Creative Loop. How the Brain Makes a Mind". 1st Edition, Addison-Wesley Publishing Company, 1995.
2. Moreno R. & Mira J.: Brain Processes, Theories and Models. An International Conference in Honor of W.S. McCulloch 25 Years after His Death. 1st Edition. Cambridge Massachusetts, Londres, Inglaterra. MIT Press, 1996.
3. Restak R.: Brainscapes. An Introduction to 'What Neuroscience has Learn About the Structure, Function, and Abilities of the Brain. 1st Edition. New York. Hyperion and Discovery Magazine, 1995.
4. Sagan C.: El Cerebro de Broca. México. Editorial Grijalbo, 1994

5. Winson, J.: Cerebro y Psique. Primera Edición Española. Editorial Salvat, 1989.

Citas

3. Existe un debate en la actualidad sobre la realidad de ambos entes: mente y cerebro. No es mi intención entrar a discutir si la mente y el cerebro son entes separados e independientes, o si el cerebro crea la mente, o si sólo existe el cerebro, o sólo la mente. Mi opinión es que el cerebro crea la mente, y tal definición debe ser usada en este artículo.

4. Ver respectivamente: "Brainscapes: An Introduction to What Neuroscience Has Learned About the Structure, Function, and Abilities of the Brain." Y "Cerebro y Psique" (3,5).

5. Ver "Cerebro y Psique" de Jonathan Winson donde se llega a esta conclusión luego de varios experimentos con pacientes con lesiones en el hipocampo.

6. Robot es un término acuñado por el Checo Karel Capek, y quiere decir "máquinas que trabajan".

7. La traducción al español de REM es MOR, sin embargo y para mantener consistencia con la traducción del libro de Winson se mantendrá el uso de REM.

* Ingeniería de redes de datos. Corporación INTEL. Correo electrónico.
AlexanderMartinez.@ccm.fm.intel.com

** Departamento Bioquímica, Escuela de Medicina. Universidad de Costa Rica. Correo electrónico. lformagu@cariari.ucr.ac.cr