

El ojo y el cerebro

(Publicado en Revista Creces, Junio 1997)

La visión humana es mucho más compleja de lo que uno piensa, y recién ahora comienza a entenderse el proceso por el cual se recrea el campo visual en el cerebro, y cómo se integra con otros sentidos y, en definitiva, con la conciencia.

Para la mayor parte de nosotros, la capacidad de ver e interpretar lo que nos rodea nos parece como automático y muy rara vez nos ponemos a pensar cuán sorprendente es el proceso. Somos capaces de percibir el color, la forma y el movimiento, sin llegar ni siquiera a pensar sobre ello. A diferencia de la visión robótica, somos capaces de reconocer los objetos familiares y diferenciarlos inmediatamente de aquellos no familiares. Reconocemos una silla como una silla, cualquiera que sea el ángulo del que la miremos, y aún la reconocemos si está patas para arriba o si está parcialmente oculta por una mesa. Sutiles diferencias de las caras de las personas son suficiente para identificarlas con un individuo en particular, ello aún cuando no re-cordemos su nombre. Más asombroso aún, somos capaces de apreciar simultáneamente muchas facetas de una intrincada imagen visual.

¿Cómo nos manejamos para ver el mundo alrededor nuestro en toda su complejidad? Esta pregunta ha mantenido ocupado a los filósofos por miles de años, pero sólo en las últimas décadas hemos comenzado a disponer de técnicas de investigación neurobiológica que nos están permitiendo entender como el cerebro se maneja con toda la información que entra por nuestros ojos. Comenzamos a entender la complejidad de la visión, e incluso los mecanismos de la conciencia de ella.

A comienzos del actual siglo, el anatomista español Santiago Ramón y Cajal y el psicólogo inglés Charles Sherrington, sentaron las bases de la ciencia que hoy llamamos "neurobiología". Ellos demostraron que el secreto de las maravillosas capacidades cerebrales residía básicamente en su "conectividad", es decir, los miles de millones de interconexiones entre los diferentes grupos de células nerviosas. Teniendo esto presente, para comenzar a entender la visión es necesario, en primer término, seguir los caminos que la información visual recorre desde el ojo hasta su recreación en el cerebro.

La información visual llega a nosotros en forma de luz, con la longitud de onda que corresponde a la fracción visible del espectro (en-tre 300 a 700 nanómetros), y que es reflejada por los objetos que están a nuestro alrededor. Esa luz entra al ojo a través de la ventana transparente de la "cornea", y es enfocada por el "lente cristalino", formando una imagen invertida en la "retina", del mismo modo que sucede en una cámara fotográfica. La mitad superior de la retina, recibe la luz proveniente de la mitad inferior del campo visual y viceversa. Del mismo modo, el lado izquierdo de la retina recibe la luz del lado derecho del campo visual, mientras que el derecho, la recibe del izquierdo.

Esto tiene consecuencias muy interesantes para la ruta que tiene que seguir la visión hasta los centros del cerebro. La "corteza cerebral", que es la zona más externa que envuelve el tejido cerebral, y que concentra la mayor parte de las células nerviosas, es el lugar donde se procesa la información. El cerebro tiene

dos mitades o hemisferios, y esta organizado en forma tal que cada una de las cuales recibe información del lado opuesto del organismo. Así, por ejemplo, la información sensorial y motora relacionada al lado derecho de nuestro cuerpo, va a la corteza del lado izquierdo. Lo mismo ocurre con la visión.

“La corteza visual” izquierda, localizada en la parte posterior del cerebro, procesa información del campo visual derecho. En el ojo izquierdo, esta información cae en el lado izquierdo de la retina. Largas fibras llamadas “axones”, que nacen de las células nerviosas de esta parte de la retina, entran al nervio óptico y pasan, en su camino, al mismo lado de la retina. Pero en el ojo derecho, el axón proveniente del lado izquierdo de la retina, debe cruzar una estructura llamada “Quiasma Optico” y, de este modo, ellos también alcanzan el lado izquierdo del cerebro. De esta forma, la información de ambos ojos, que dicen relación con la misma parte del campo visual, viajan juntas hasta alcanzar el mismo lado del cerebro (figura 2, ver líneas rojas y azules).

En su camino hacia la corteza, el nuevo grupo de axones, transportando información del lado opuesto, pasa el tracto óptico al “núcleo geniculado lateral” (fig. 2). Esta estructura, altamente organizada en el cerebro medio, tiene seis capas. Los axones de cada ojo terminan en este núcleo en capas separadas, tres por cada ojo. Los impulsos separados de los dos ojos no se combinan hasta que ellos alcanzan la corteza. La conducción continúa, de modo que los axones de las células nerviosas del núcleo geniculado lateral son llevados en un paquete llamado “radiación óptica”, que termina en conexiones con la corteza cerebral en la parte posterior del cerebro.

Análisis de imágenes paso a paso

El análisis de la enorme cantidad de información que entrega una imagen visual, comienza en el ojo mismo. La retina de cada ojo contiene 126 millones de células fotorreceptoras, pero solo salen por el nervio óptico un millón de axones. Estos axones son los que llevan la salida de las “células del ganglio retinal”, cada uno de los cuales integra la respuesta de fotorreceptores de una pequeña parte de la retina, que se denomina su “campo receptivo”. La forma en que estos campos receptivos están organizados es crítica para que la retina ejecute su primer análisis de forma, color y movimiento.

Cada campo receptivo es una unidad circular de retina, con la característica que la célula ganglionar responde diferentemente según sea que la luz caiga en el centro del círculo o en el área que la rodea. “Las células centrales o las células periféricas”, como su nombre la indica, aumentan su actividad si la luz cae en el centro de su respectivo campo o disminuye si la luz está en su anillo externo. Otras células ganglionares tienen la respuesta opuesta. El efecto combinado de las células ganglionares se envía al cerebro como un mapa del campo visual, que destaca áreas en que hay cambios en el nivel de iluminación, como también los ángulos de un objeto. El mapa también incluye información acerca de colores: una proporción de las células ganglionares integran salidas de los tres tipos de “conos” en la retina: fotorreceptores que son sensitivos respectivamente a la luz azul, verde y roja.

Una vez que la retina ha grabado donde está todo en el mundo visual, viaja por los axones y las células que tienen que ver con las partes del campo visual, también tienden a estar físicamente cercanas en el cerebro. El núcleo geniculado lateral repite, más o menos igual, el mapa creado por las células ganglionares.

El área cortical, donde la radiación óptica termina, se llama "corteza visual primaria", o V4 (fig. 3), que aparentemente es homogéneo, pero que tiene un aspecto diferente cuando se mira al microscopio, por lo que también se llama "corteza estriada". El área cortical que la rodea se llama "corteza preestriada" o "corteza de asociación". Hasta muy recientemente, los científicos asumían que la corteza visual primaria ejecutaba la mayor parte del análisis de la información visual y que luego pasaba el resultado a las áreas de asociación. De acuerdo a esta creencia, las imágenes visuales se "asociarían" con la memoria visual previa, como también con impulsos provenientes de otros sentidos, dando lugar finalmente a la percepción consciente.

Pero este esquema relativamente simple, durante los últimos años ha sido seriamente cuestionado. En ciencias, las suposiciones más peligrosas y que conducen a los mayores errores, son aquellas que incluso no son reconocidas como tales y simplemente se han asumido. Es el caso de la visión, donde todos tenemos un sentimiento subjetivo muy fuerte de "qué es ver". Cuando miramos una escena, instantáneamente vemos todos sus atributos visuales: color, forma, textura, movimiento, etc. Parece perfectamente natural asumir que todas estas facetas se analizan juntas en un área del cerebro. Y el candidato obvio para esta área es la corteza estriada, que es el área cortical que primero recibe toda la información que proviene desde los ojos. El mapeo punto a punto del campo visual en esta área parece confirmar esta idea.

La verdad que, a la luz de lo que ya se va conociendo, nuestra "experiencia visual unitaria" no es un modelo adecuado de como realmente trabaja nuestro cerebro. En los años recientes, los neurobiólogos han aportado evidencias precisas que los diferentes atributos de la imagen visual son en realidad analizados en diferentes áreas del cerebro. Vagamente se pensaba que en la asociación, la corteza jugaba un rol fundamental en el análisis de la forma, movimiento y color. Sin embargo, los datos acumulados en muy pocos años, han echado por tierra siglos de filosofías. Ha sido precisamente el análisis de algunos extraños efectos, experimentados por pacientes que han sufrido hemorragias cerebrales que han afectado la corteza visual o a partes de ella, los que han hecho replantear las cosas (ver recuadro 1).

Las primeras tentativas para definir las áreas de la corteza especializadas en diferentes funciones se concentraron principalmente en el estudio de las capas de células visibles al microscopio. Tal vez, porque la mayor parte de la corteza visual presenta una estructura microscópica uniforme, los neurocientistas asumieron también que sus funciones eran uniformes. Pero métodos más modernos y recientes han permitido detectar las respuestas de células vivas y al mismo tiempo seguir sus conexiones, todo lo cual ha revelado la existencia de subdivisiones entre las células de la corteza. Así, por ejemplo, la "tomografía de emisión de positrones" (PET), es una tecnología que ha entregado resultados más espectaculares. Por este método se han podido seguir los cambios locales del flujo sanguíneo en el cerebro humano vivo, y más aún, durante ella los sujetos estudiados han podido relatar experiencias subjetivas que inmediatamente se pueden correlacionar con los datos experimentales que entrega el PET.

Corteza visual haciendo imágenes

De todas las áreas visuales, V1 contiene el mapa punto a punto más detallado de la retina. Sus células están organizadas en el más destacado sistema complejo de distintos módulos. Columnas alternativas de células muestran

preferencia para responder a estímulos que vienen de un ojo o de otro. Estas "columnas oculares dominantes" están aún sub-divididas, de una manera regular, en "células selectivamente orientadas" que responden a un borde o escanean sus respectivos campos sólo cuando se mantienen en una orientación particular. Todas las células en una columna responden a una orientación, mientras que las células de la columna adyacente responden a una orientación de unos pocos grados diferentes con respecto a la primera, y así hasta que se cubren todas las posibilidades. Hay otras agrupaciones de células en la columna ocular dominante que no están selectivamente orientadas, pero en cambio muestran una tendencia a responder a la luz de determinadas longitudes de ondas. En esta forma V1 preserva la segregación de forma y colores que comienza en la retina.

Pero el V1 además desarrolla un análisis aún más elaborado de estos datos. Esta zona contiene agrupamientos de células que responden no sólo a orientaciones correctas, sino también a movimientos en una dirección particular. Y sus células selectivas de orientación son sensibles no sólo a los límites reales, sin también a los límites ilusorios (ver recuadro 2), creados cuando la corteza comienza a reconstruir un mundo mental de objetos, según las características de luz y oscuridad transmitidos desde la retina. Los intrincados detalles de V1 ayudan a explicar por qué es el área visual más grande del cerebro, desde el momento que hace un escáner para todo los hechos del campo de vista, representado por una múltiple serie de mapas que se superponen.

Investigaciones realizadas en monos durante las últimas dos décadas, han ido revelando muchas otras áreas visuales distintas, que se han denominado V2, V3, V4 y así sucesivamente. Técnicas como el mapeo por el PET realizadas en humanos, indican que nosotros tenemos áreas visuales especializadas conectadas con V1, que son similares, pero no idénticas, a las del cerebro de los monos.

La mayor parte de los estímulos que parten de V1, se dirigen a un área inmediatamente envolvente llamada V2, donde también hay una serie similar de superposición de mapas, representándose todos los hechos de la visión. La zona V2 no sólo tiene células sensitivas al color, movimiento y orientación, sino también células sensitivas a la disparidad, como la pequeña diferencia de visión que se produce en cada uno de los dos ojos, que es la base de la visión estereoscópica. V1 y V2 tienen intrincadas conexiones entre una y otra como también con otras áreas visuales especializadas.

La zona V4 está especializada en la visión de color. Esta no es una función tan definida como parece. Los conos de la retina responden a la luz a diferentes longitudes de ondas, pero no hay una relación estrecha entre la longitud de onda y el color que nosotros percibimos. La longitud de onda reflejada desde un objeto, varía enormemente de acuerdo a las condiciones luminosas. Así las hojas de un árbol aparecen verdes, aún con la escasa luz de la amanecida o estén cubiertas de polvo, o con el sol del mediodía, o con el sol oscuro o aproximándose una tormenta. Alcanzar la percepción del color constante, es el principal objetivo del V4, y esto lo logra comparando la longitud de onda reflejada por grupos u objetos adyacentes con su brillantez general.

La función de V5 es analizar el movimiento, mientras que la de V3 está relacionada con el análisis de forma y profundidad, como por ejemplo, para apreciar cuan distante está un objeto. Aún más compleja es la reciente área descubierta, V6, que dice relación con el análisis de la posición absoluta de un objeto en el espacio. Esta área, por ejemplo, le hace a usted consciente que

una revista puesta delante suyo se mantenga en el mismo lugar, si simultáneamente mira a alguien que en ese momento entre a la pieza.

En la medida que la información pasa de un área de visión a otra, las células parecen preocuparse menos de donde está el objeto, y más bien se preocupa de lo que realmente es. Las células V1 responden sólo a un objeto en una pequeña sección del campo visual. Pero las células localizadas en áreas más especializadas, tienden a tener campos receptivos más grandes. Algunas responden a ciertas categorías de objetos, sin preocuparse de donde aparece la imagen en la retina. La antigua idea de que la información visual pasa por una secuencia rígida de células, hasta que alcanza a una célula que responde sólo a una imagen específica, como por ejemplo la imagen de la abuela, ya no se puede mantener con los conocimientos actuales. Pero lo que parece posible es que áreas visuales que codifican la información con relación a objetos complejos, incluyendo caras, en cada caso compromete a una red que puede ser de más o menos 100 células.

Nuestra percepción resulta de una selección y síntesis de la información disponible. Es decir, nosotros no recordamos las cosas simplemente como lo hace una cámara de vídeo. Lo que vemos depende mucho de nuestra experiencia pasada y de la forma que el mundo visual se organiza, un hecho que es la base de muchas ilusiones visuales (recuadro 2).

Viendo y conociendo experiencia consciente

Esta nueva forma de entender el modo en que el cerebro maneja la información visual tiene profundas implicancias en nuestra comprensión de la consciencia y de las más misteriosas y fugaces propiedades de nuestras mentes. Las antiguas ideas sugerían que el análisis primario de la información visual se desarrolla en la corteza y que luego esta información alimentaba, a su vez, información proveniente de otros sentidos. Parecía ser que la información se asociaba luego a la percepción y a la consciencia en algún lugar del cerebro.

En cambio ahora, sabemos que diferentes partes de nuestra consciencia (del color a la expresión de la cara de una persona), se genera simultáneamente en diferentes áreas especializadas. Si una de las partes especializadas se daña, se pierde percepción relevante, produciendo extrañas alteraciones de la consciencia, como percepción de colores sin forma, o la capacidad de ver formas sin movimiento (recuadro 1). Esto indica que todas las partes de nuestra corteza contribuyen directamente a la consciencia, que es el resultado de la íntima interconexión de las áreas corticales especializadas. Verdaderamente la interconexión es tan compleja que su descripción y análisis va a mantener entretenidos a los neurocientistas aún por muchas generaciones.

Partes del cuadro que faltan

Más que todos los órganos del cuerpo, el cerebro depende críticamente del adecuado abastecimiento de sangre. Si se interrumpe el flujo sanguíneo, aunque sea por unos minutos, se producen daños irreversibles en la región cerebral afectada. Una pequeña hemorragia cerebral o una trombosis pueden ser las causas. Desde el momento que las diferentes regiones del cerebro son especializadas para desarrollar funciones específicas, la detención de la sangre

en una región específica, puede provocar síntomas diferentes según que parte del cerebro está comprometida. Así, por ejemplo, daños en el área motora de la corteza causan parálisis, como también daños en la corteza visual causan ceguera.

Por lo general, los ataques cerebrales afectan a una gran área del cerebro, la cual acarrea trágicas consecuencias para el paciente. Pero los problemas causados por pequeñas lesiones que dañan pequeñas áreas cerebrales, con frecuencia son muy útiles para los neurólogos, ya que afectan sólo alguna función específica, hecho que a su vez sirve para entender mejor como el cerebro maneja la información y controla el comportamiento. Muchas veces estas pequeñas lesiones son casi como un modelo experimental, ya que si se diagnostica muy bien la ubicación y al mismo tiempo se pueden evaluar los daños que producen, se establece una relación de causa-efecto.

Particularmente suceden cosas muy extrañas cuando una pequeña lesión cerebral compromete sólo una parte de la corteza visual. Si se produce un daño de la corteza visual primaria, se produce una completa ceguera del campo visual opuesto. Pero daños que se localizan en zonas especializadas, pueden perturbar algunos aspectos de la visión, dejando el resto indemne.

Louis Verrey, un oftalmólogo suizo, describió en el año 1888 el caso de una paciente de 60 años que sufrió un ataque que le afectó la corteza visual del hemisferio cerebral izquierdo. Como resultado ella no pudo seguir viendo el mundo en colores en el lado derecho de su campo visual, y todo lo que podía ver en ese campo lo veía sombreado y gris. Aún cuando los ataques cerebrales que producen estos efectos son raros, han sido descritos varias veces, proveyendo una sólida información en el sentido de que el color es analizado separadamente de otros elementos de la escena visual. Esta ceguera cortical de color, es a que se llama "acromatopsia" y es diferente de otro tipo común de ceguera de color, que afecta a todo el campo visual y que es debida a una anomalía de los receptores sensibles a las longitudes de onda de la retina.

Aún más extraño es el caso de una mujer de 43 años de edad que sufrió un ataque cerebral, a consecuencia del cual no pudo ver más objetos en movimiento, mientras que para los objetos estacionarios no presentaba problemas. Esto le causaba considerables dificultades. Por ejemplo, para ella era muy difícil llenar una taza de té, porque el líquido en movimiento ella lo veía como congelado y no podía parar el jarro en el momento oportuno, porque tampoco podía apreciar como la taza se iba llenando. También tenía problemas para cruzar la calle: un automóvil podía verlo muy lejos, cuando repentinamente estaba encima de ella. Esta ceguera que afectaba a la corteza de movimiento, es una demostración que en el cerebro el movimiento se analiza también en un área específica.

Otro tipo de alteración visual hizo famoso al neurólogo Oliver Sacks, que escribió un libro titulado "El Hombre que Confundió a su Mujer con un Sombrero". Este paciente sufría una incapacidad para reconocer las caras familiares, incluyendo la suya propia. La alteración se llama "prosopagnosia". Él entendía que es lo que era una cara y podía ver varios elementos de ella, como los ojos, nariz y boca, pero no podía reconocerla como una cara en particular. Aún más raro, es que algunos pacientes con esta condición son incapaces de identificar a nadie por su cara, y sin embargo mantienen la capacidad de reconocer la expresión de una cara, lo que indica que hay otra área cortical especializada en el análisis de las expresiones faciales.

Más extraordinario es aún el fenómeno llamado "ceguera de vista". Algunas

personas que han sufrido daño de la corteza visual primaria, dicen no ser capaces de ver nada en la parte del campo visual afectado, sin embargo cuando se les fuerza, pueden hacer un juicio correcto acerca de la posición, longitud de onda o dirección del movimiento de objetos en la mancha de la ceguera. Un paciente, por ejemplo, podía seguir con sus ojos el desplazamiento de un objeto en una faja en movimiento, sin embargo él afirmaba que no lo podía ver. La explicación más lógica es que la información provenía de un efecto visual sobreviviente de una zona específica debajo de la corteza como, por ejemplo, el núcleo geniculado lateral, pero como no alcanzaba la corteza, la información no estaba disponible para concretar la conciencia.

Hay más para la visión de los que los ojos pueden ver

Desde el comienzo de esta centuria, los psicólogos se han fascinado con el fenómeno llamado "ilusión visual", que da un poderoso sentido de una realidad que no existe. Algunos de estos, como la ilusión de movimiento que se experimenta cuando se mira a través de la ventanilla del tren que ha parado en la estación y que es sólo el resultado de la adaptación a una prolongada adaptación en parte del sistema visual. Pero otras experiencias ocurren cuando el cerebro está tratando, en base a su pasada experiencia del mundo visual, creyendo ver lo que no es.

La mayor parte de las veces, esto no causa ningún problema, porque la interpretación más aparente es probablemente la correcta. Figuras ambiguas (figura a) son una excepción. El cerebro puede decidir que la figura es un vaso, o puede decidir que son dos caras puestas de frente. Sin embargo, no puede ver ambas interpretaciones en el mismo momento y la tendencia es alternarla entre una y otra.

Otras ilusiones parecen como ciertas por el ambiente visual que ellas proporcionan y que es imposible ignorar. Los pintores hacen uso del hecho que cuando la luz va decayendo en los objetos causa sombras o producen la sensación de profundidad en sus cuadros. Las líneas convergentes también sugieren distancia y muchas ilusiones ópticas simples, se usan para producir engaños al juzgar sobre el tamaño o la forma de los objetos (figura b).

Otro ejemplo es el de contornos ilusorios, donde el cerebro extiende líneas parciales para crear una forma que no existe (figura c). El hecho curioso aquí, es la sensación muy poderosa que el triángulo ilusorio tiene mayor brillantez que el espacio que lo rodea. Haciendo una razonable hipótesis de los elementos de esta escena, es el cerebro que decide que hay un triángulo brillante sobre los otros objetos.

Profesor de Patología

Universidad de Sheffield, U.K.

Traducido del artículo aparecido en New Scientist, Mayo 15 de 1997

Artículo extraído de CRECES EDUCACIÓN - www.creces.cl