

CAPÍTULO

3

FISIOLOGÍA SENSORIAL

José Perea

Hay que tomar a las personas como son,
no existen otras.

El que se confía pierde.



Es imposible no querer
a quien te quiere.

Uno no es lo que uno cree,
sino lo que los demás te reconocen.

SUMARIO

CAPÍTULO 3.

Fisiología sensorial

| | Página |
|--|-----------|
| 3.1. Introducción | 3 |
| Filogénesis | 9 |
| Ontogénesis | 11 |
| 3.2. La visión binocular | 16 |
| 3.3. Dirección visual oculocéntrica | 21 |
| 3.4. Dirección visual egocéntrica | 26 |
| Correspondencia retiniana | 30 |
| Fusión | 33 |
| Horóptero | 44 |
| Area de fusión de Panum | 46 |
| Diplopía fisiológica | 47 |
| 3.5. Estereopsis | 53 |
| Factores monoculares de la percepción del relieve | 57 |
| Comentarios a la teoría de José Bovis | 58 |
| Estereopsis. Antecedentes | 61 |
| ¿Es lo mismo sentimiento de profundidad que estereopsis? | 65 |
| Reflexión acerca de la dominancia ocular fisiológica | 68 |
| Bibliografía | 76 |

3.1.

INTRODUCCIÓN

El proceso de la visión binocular en el hombre, estudiada al principio por filósofos, educadores del espíritu humano y psicólogos; después, por matemáticos y físicos; y más tarde por biólogos y fisiólogos, es una de las mayores perfecciones conseguidas en la transformación de las especies biológicas a lo largo de millones de años.

Con todas las dificultades que supone separar el hecho fisiológico del acto psíquico, puesto que los conceptos se combinan entre sí, los investigadores, cada uno desde su particular punto de vista, han buscado explicación a los oscuros y, hasta ahora, impenetrables fenómenos visuales que conforman la síntesis binocular y las funciones cerebrales que la controlan. Y esto, desde la concepción metafísica del psicólogo hasta la pureza científica del matemático. Se ha dicho, que la matemática era la ciencia del futuro, pero ¿cómo poder aplicarla a órganos tan imperfectos y carentes de exactitud como son los sentidos, y muy particularmente al de la visión?. Sabemos que los ojos presentan superficies ópticas irregulares, esféricas y anisótropas, que, por lógica, deberían aportar imágenes de mediocre calidad, resultando de gran dificultad la aplicación de la ciencia matemática, como pretendió **Hermann von Helmholtz**, para explicar y analizar la visión binocular. Al final, resultaron tan imperfectas las concepciones que han tratado de esclarecer e interpretar la binocularidad, en razón consecuente con la psico-fisiología, como las derivadas de la física y matemática. No obstante, rendimos respeto y consideración a las aportaciones que estas dos últimas ciencias han tributado a determinados aspectos del aparato de la visión y, muy particularmente, a la gran contribución de la física a la dioptría ocular.

El profesor de Oftalmología y Fisiología de los Organos de los Sentidos de la Universidad de

Lieja, **Jean Pierre Nuel**, en **1905**, en su libro "La visión" (pág. 130) escribía: "... los términos psíquicos no son más que etiquetas aplicadas a procesos nerviosos aún no estudiados. Son jalones psicológicos necesitados por nuestra ignorancia en fisiología, de los que nos desembarazaremos a medida que aumentemos nuestro saber fisiológico". El profesor belga adelantaba, a comienzos del siglo XX, que los aspectos psicológicos que intentan explicar el problema no eran sino mero "cajón de sastre", del que iríamos sacando "verdades" conforme la fisiología fuera demostrándolo a través de la experimentación anatómica: "...allá donde falta el saber positivo, se recurre a ficciones psicológicas".



Jean Pierre Nuel
(1847-1920)

La armonía conceptual de la percepción sensorial del espacio tiene que llegar procedente de la biología y fisiología. La búsqueda anatómico-estructural e investigación fisiológica será la base que aportará el conocimiento de la "gran verdad", que podrá llevar al entendimiento de la visión binocular. Este camino abierto por nuestro maestro y compatriota, Premio Nobel de **1906**, el aragonés **Santiago Ramón y Cajal**, dio paso a otros hallazgos fisiológicos más recientes, como fue el descubrimiento de las *células binoculares*

(sin duda el avance estrabológico más importante de los últimos cincuenta años), realizado por los neurofisiólogos **David Hubel** (Canadá) y **Torsten Wiesel** (Suecia), que les hizo merecer el Premio Nobel del año **1981**.

Posiblemente, el ideal "recorrido de búsqueda", como afirmaría en **1949 Emilio Díaz Caneja**, "*... debe ocupar un lugar intermedio entre la inmediata rigidez del número y el lejano brillar de la estrella*" ("Discurso leído en la Real Academia de Medicina y Cirugía de Valladolid" pág. 15).

Ciencia y razón, como dijo **François Jacob (1981)**, trabajan sin descanso para esclarecer la verdad. El siglo XIX, siguiendo las iniciativas nacidas en el XVII, llegó a la conclusión de que la *Razón* era suficiente para solucionar y resolver todos los problemas al margen de la *Ciencia*. La misma equivocación que los que hoy piensan que la *Razón* no es necesaria y que la *Ciencia* es lo que únicamente puede diferenciar ficción y realidad. ("El juego de lo posible" pág. 96).

La impronta que la luz produce sobre la retina lo denominamos *sensación*, que inicia la andadura que va a servir para personificar y simbolizar la existencia, la forma y el lugar que ocupan en el espacio los diferentes objetos.

Cualquier *sensación* lumínica, base y punto de partida de la visión, incidiendo de forma "invertida" y en "movimiento" incesante, debido al desplazamiento de las imágenes sobre la membrana nerviosa retiniana en los continuos movimientos oculares, tiene, como cualquier representación óptica, solo "dos dimensiones". Sin embargo, su *percepción* en el espacio, producto de la actividad psíquica del sujeto, es "directa", "con localización egocéntrica estable", y en "tres dimensiones". Ello quiere decir que para que nuestro intelecto pueda entender e interpretar la representación del mundo que nos envuelve, no hay que buscarlo en esquemas geométricos ni en disquisiciones filosóficas, pues es proceso de la mente, que se encuentra dentro del propio ser del individuo, y donde participan: inteligencia, cultura, estado de ánimo, interés, sensibilidad, emoción etc. Allí nacen los diversos estados de conciencia, en el que intervienen, de modo importante, la experiencia e historia personal del individuo, realizándose aquellos a

través de complicados funcionamientos sinápticos y vinculaciones centrales. Por esto, como diría **Alfred Wilhelm Volkman**: "*...hasta que el alma sea más conocida, que es quien contempla las imágenes y les da sentido, estaremos lejos de soluciones científicas*". Mientras tanto, hay que aceptar como algo habitual que filósofos y psicólogos sigan estableciendo teorías e hipótesis. En espera de que la investigación neurofisiológica aporte resultados, seguirán entremezclándose en nuestro "querer saber" conceptos fisiológicos y psicológicos, siendo muy difícil demarcar donde termina la actividad físico-fisiológica con las leyes biológicas que la controlan, y donde empieza la actividad del alma.

Cuando se hace referencia al acto visual en el humano, forma perceptiva sensorial, no debe homologarse con el acto sensitivo simple de "ver" con dos ojos, en el sentido de conseguir un efecto duplo funcional de visión, mejorando umbrales perceptivos en cuanto a sentido morfoscópico, cromático, luminoso, o de extensión de campo visual.

Sir Charles Wheatstone (1838) hizo referencia a este principio cuando dijo: "*... en visión binocular normal hay verdadera cooperación de los dos ojos, constituyendo un notable perfeccionamiento en la función, en manera alguna comparable a la duplicatura funcional de algunos otros órganos pares, que solo añaden cantidad y no-calidad a la acción de sus homólogos*".



Sir Charles Wheatstone
(1802-1875)

Aunque es cierto que cuando cerramos un ojo percibimos un obscurecimiento pasajero, pero con sensación de que, inmediatamente, todo se recupera sin que la luminancia haya descendido a la mitad; que a pesar de saber que la agudeza visual es mejor en visión binocular que en monocular; que además de conocer que el campo visual binocular es más amplio que el de cada uno de los campos monoculares por separado, la mayor importancia de tener dos ojos en la cara (dispuestos frontalmente a través de la filogénesis y el desarrollo embriogénico, animados por músculos que les confiere especial motilidad, y disponiendo de un complejo sensorial que controla al aparato motor) es permitir ver de manera singular con haplopía y sentido espacial a través de sus componentes de equilibrio óculo-motor coordinado y recíproco, visión bi-ocular, aptitud de fusión en binocularidad, sentimiento de distancia y capacidad de percibir en tres dimensiones. Todo lo iremos analizando y desglosando a lo largo del capítulo.

En el individuo normal, la visión con su aspecto más característico, cual es la *percepción única* en el pensamiento a pesar de tener dos ojos, es la resultante de varias formas de impresión sobre el receptor visual, en el que concurren fenómenos centrales y periféricos. El proceso visual está compuesto por un conjunto de acontecimientos, que se hacen en monocularidad y binocularidad. Así mismo, los momentos de binocularidad se realizan bajo tres formas perfectamente diferenciadas, manteniendo cada una ellas, en todo momento, su individualidad funcional: *visión concurrente*, *visión binocular* y *visión alternante*. Las tres intervienen de manera asociada. Su finalidad es el control del espacio visual, captando los objetos de su entorno con sentimiento de profundidad y distancia, entre ellos y con relación al propio individuo, quien se siente centro absoluto de su espacio visual. Y al menos en el área central, bajo el aspecto perceptivo en tres dimensiones.

A lo largo de todo este procedimiento, en el caminar de las sensaciones desde la retina a la corteza cerebral, *"cada uno de los ojos mantiene su individualidad, siendo la fusión en imagen única común, un acto psíquico"* (Helmholtz, 1866). Con esto queremos decir que la imagen haplopíca

final, tridimensional, no surge, de acuerdo con **Franciscus Cornelius Donders**: *"... como algo que resulte de una mezcla con desaparición de sus componentes"*. O como manifestó **Sir Charles Scott Sherrington**: *"... que la imagen percibida existe no como adición de las sensaciones llegadas a cada ojo"*. Incluso, si lo enfocamos bajo el aspecto de la estereopsis, no es que dos imágenes geoméricamente casi iguales, pero no superponibles, ligeramente asimétricas por ser vistas bajo perspectivas diferentes, para conseguir la imagen final perfectamente simétrica tuviera que ser necesario sacrificar partes de cada una de ellas para obtener la resultante. Todo el proceso es mucho más cerebral, buscando perfección en armonía de las dos sensaciones recibidas. Para ello, es cierto que en determinados instantes hay que *neutralizar* partes de cada una de las imágenes como consecuencia de un estadio de *confusión*, y al tiempo *fusionar* otras. Pero todo esto, como consecuencia de la proyección al exterior de diferente manera por cada uno de los puntos homólogos de cada imagen monocular, que hay que estar armonizando con la falsa proyección del ojo cíclope. El fin último de ver con dos ojos, atributo esencial del acto binocular, es, como afirmó **Félix Giraud Teulon (1861)**, *"la percepción en tres dimensiones del espacio"*.

* *Visión concurrente*

Es la forma sensorio-perceptiva básica más elemental. Es, simplemente, *"ver con los dos ojos a la vez sin mediar fusión alguna, ni tendencia a hacerla"*. Ambos ojos funcionan al unísono, pero sin tener un objetivo común vinculado. Como lo hacen los animales con campos visuales separados: Por ejemplo: la gallina o el caballo. Hablo de la percepción simultánea de objetos distintos con cada uno de los ojos. Y, quede claro, que ahora no me estoy refiriendo a la *visión monocular alternante*. Dicho de otro modo: sería *"percibir el mundo que nos rodea de forma binocular"*.

Visión concurrente significa que determinado objeto que es visto por uno de los dos ojos, no lo es al mismo tiempo por el otro. Existe en el individuo durante el primer año de vida, antes de edificarse la *visión binocular*, y se

mantiene y permanece en aquellos casos en que hay pérdida de ésta. Así, en cualquier paciente estrábico no hay *visión binocular* pero el ojo desviado sigue manteniendo capacidad de captación de estímulos al tiempo que fija con su ojo dominante. Demostrable mediante campimetría disociada. Es decir, el paciente sigue viendo con los dos ojos a la vez, aunque no en binocularidad. Y la pregunta que podríamos hacernos es: el estrábico, como ha dicho algún autor ¿es un tuerto funcional? o, por el contrario, ¿la *percepción bi-ocular* de estos pacientes es de más calidad que la *percepción monocular*?. Si así fuera, el estrábico, carente de estereopsis, no pasando la prueba en los tests de estereopsis más burdos podría tener más calidad de visión percibiendo con los dos ojos que con uno solo.

Visión concurrente existe en fisiología coexistiendo en paralelo con *visión binocular*. Puede experimentarse fijando frente a nosotros un objeto fusionable, que presente volumen y características morfológicas para poder ser visto en tres dimensiones, al tiempo que tomamos con cada una de nuestras manos un objeto y, extendiendo en cruz nuestros brazos, las movemos de forma que, cerrando uno y otro ojo de forma alternativa, podemos darnos cuenta de que lo que tiene la mano derecha no es visto por el ojo izquierdo y lo que tiene la izquierda no es percibido por el ojo derecho. Así, de forma coincidente, una persona normal puede ver con *visión binocular* y percepción de relieve el objeto que fijan sus foveas, y con *visión concurrente* los objetos que mantienen cada una de sus manos en el campo periférico (30°), a ambos lados del *campo visual común*, en el área que corresponde a los crecientes temporales del *campo visual* de cada ojo, que permiten mejor visión panorámica. De esta manera, el individuo normal además de fusionar imágenes expresando su binocularidad en acto ciclópeo, cada ojo es capaz, al mismo tiempo, de conservar individualidad funcional, dividiendo por su propia cuenta imágenes que no capta simultáneamente su congénere, asociando funcionalmente, a la vez, *binocularidad* y *visión concurrente*.

En un paciente con estrabismo, lo que habría, en el sentir de **Henri Parinaud (1899)**, es "... combinación de *visión simultánea periférica* y

de visión alternante central". La *visión simultánea periférica* es lo que nosotros denominamos *visión concurrente*.

La *visión concurrente* existe de forma ordinaria vinculada fundamentalmente a la retina periférica y a los reflejos sacádicos; esta visión indirecta permite las búsquedas preliminares y la localización general. Se acepta que la *visión binocular* es patrimonio de la retina central y como respuesta a movimientos de vergencia. Mi gran problema es que desconozco si todas las sensaciones que llegan al *campo visual común*, que se corresponde con los 120° centrales, se perciben en fisiología con *visión binocular*. Pregunto: ¿son solamente las que llegan al centro, captadas por las foveas y su entorno, percibiéndose el resto mediante *visión concurrente* o, por el contrario, las sensaciones llegadas a este campo común extrafoveal (<120°) son percibidas, también, con *visión binocular* aunque degradada (como sostiene **Albert Remy, 1917**), y tanto más cuanto más nos aproximamos a los límites periféricos del *campo visual común*?

Puede demostrarse la existencia de *visión concurrente* en el campo visual común (120° centrales), mediante artificios o aparatos, como por ejemplo las luces de Worth. Un individuo normal, percibe en esta prueba cuatro luces: la luz blanca en *visión binocular* por fusión de ésta con los dos ojos, una luz roja en *visión concurrente* con el ojo derecho que lleva antepuesto el cristal rojo, y dos luces verdes en *visión concurrente* por el ojo izquierdo que lleva ante sí el cristal verde. Sin ayuda tecnológica, no se puede demostrar si existe *visión concurrente central* dentro del campo visual común en la vida real del ortofórico. Sin embargo, aunque no sea factible su demostración, su existencia es lógica. Cuando caminamos abstraídos en nuestros pensamientos, sin fijar objeto alguno, con las forias liberadas, dejando que el *tono muscular* sea el auténtico rey del equilibrio recíproco de nuestro binóculo, además de sentir la *visión concurrente periférica*, despertando los reflejos de llamada y alarma, estamos percibiendo un tipo de visión que no sé si puede llamarse *concurrente central*, pero lo que sí se puede asegurar es que ese *pasar* objetos por delante de nuestros ojos, sin actuar la concentración de los ejes oculares en ellos en

auténtica vergencia fusional, no es *visión binocular*, brillando por su ausencia los *horópteros* o, mejor dicho, los *espacios de Panum*.

*Visión binocular

Es la forma de “*ver*” que preside la vida de relación. Se consigue mediante fusión aislada, o fusión y estereopsis. Es el tipo de visión con la que analizamos y ejecutamos.

La *visión binocular*, función de perfeccionamiento superior a la *visión concurrente* y más elevada en el orden filogénico, es el resultado de un proceso retino-cerebral complejo: óptico, acomodativo, sensorial, motor, y no sé cuantos más procedimientos desconocidos existirán mediante los cuales las sensaciones visuales que inciden en cada uno de nuestros dos ojos son procesadas y fundidas en percepción única (*fusión*), con sentimiento de distancia y relieve (*estereopsis*). Interpretadas, entendidas, reconocidas, memorizadas y respondidas. Esta síntesis del espacio (*sentido espacial*), que percibimos y comprendemos, se realiza de forma refleja y automática sin apenas intervención de la voluntad. Esta complejidad de la binocularidad llevó a **Renée Pigassou (1991)** a hablar de *función binocular* en lugar de *visión binocular*.

Para ello, es preciso la colaboración activa y armonizada de dos ojos, que se vigilan y controlan entre sí, trabajando con rigor exquisito en *equilibrio recíproco*, y que han evolucionado en el tiempo para conseguir una función que va a permitir al hombre, a través de elevados y complicados mecanismos neurológicos, ver objetos, situarlos en una *dirección* y en determinado *lugar* de su universo particular, *relacionarlos* con los demás de su entorno y con su propio cuerpo, precisando profundidades y distancias y así, de esta manera, tener conocimiento psico-fisiológico del espacio exterior. Esta forma de visión no existe en el nacimiento, se va cimentando, construyendo y perfeccionando con los años por efecto de la experiencia y educación, actuando como correctores el resto de los sentidos, sobre todo el tacto y el oído. De ahí la gran fragilidad y vulnerabilidad que presenta en edades precoces, pero también la posibilidad de mejora, en caso de

alteración, si se instaura un tratamiento adecuado en el momento idóneo.

El fin último perseguido es entender de la forma más perfecta posible el mundo que nos rodea. En este acto, la *atención* es elemento imprescindible para percibir en binocularidad. Esta facultad puede ser involuntaria o calculada. La *percepción binocular “atenta”* ocupa parte de nuestra existencia, pero sólo parte, pues el mayor tiempo de vigilia, en que desaparece la *atención*, la percepción visual va acompañada de gran componente neutralizador. “*Vivimos más inconscientemente que conscientemente*”. La *visión consciente* exige un trabajo mental intenso, imposible de mantener de modo permanente. **René Dejean (1926)** escribe en su tesis doctoral (Les conditions objectives de la perception visuelle): “... *el campo visual se estrecha con el desinterés*”. A nuestro juicio no es así, lo que se incrementa es la neutralización, manteniéndose íntegro el campo, que es susceptible de ser excitado en cualquier momento, con toma de conciencia inmediata por el individuo. Mediante esta forma de ver “*desatenta*” o “*abstraída*” también somos conscientes de nuestro entorno, pero no mediante *percepción binocular* tal y como la entendemos. En estos momentos de *percepción binocular “desatenta”*, o mejor dicho, de *percepción bi-ocular sin atención*, no trabaja adecuadamente la *vergenza fusional*, al menos en lo que hace referencia a la fusión central (3º a 5º), ni tampoco la *vergenza acomodativa*. Solo actúan la *vergenza tónica*, tal vez la *vergenza fusional periférica* (siempre “falta de atención”) y la *vergenza mental*, liberándose, incluso, el componente fórico que pudiera tener el individuo, aunque la diplopía secundaria permanece contrarrestada por la neutralización fisiológica. Esta forma de *visión bi-ocular* carente de *atención*, en realidad es difícil saber cómo es. Como dijimos anteriormente, tal vez tendría mejor cabida en el apartado de *visión concurrente*.

La *visión binocular* pues, no es mera adición de sensaciones sensoriales idénticas, y en modo alguno comparable a la duplicatura funcional de otros órganos pares, cuya misión es añadir solo cantidad a la acción de su equivalente. Es función mucho más compleja, que pretende

perfeccionar las sensaciones recibidas y que al mismo tiempo y en cada instante “*fusionan*”, “*confunden*” y “*neutralizan*” estímulos provenientes del campo visual de cada ojo “*produciendo visión única*” como dijo, nada menos que **450 a.d.C.**, el presocrático **Empedocles** de Agrigento.

Este hermoso aparato de la *visión binocular* se compone de un *elemento sensorial* retino-cerebral, que permite la captación armoniosa de los objetos en identidad o correspondencia retiniana con proyección al exterior en el lugar adecuado, y un *elemento motor* capacitado para conseguir la bifovealización. Como nos refiere **Edmond Landolt (1916)** en su libro “Examen des mouvements des yeux” (pág. 2) “... al aparato perceptor común responde un aparato motor común”. Ambos elementos, sensorial y motor, se encuentran íntimamente unidos por las vergencias (tónica, acomodativa, proximal), junto al control activo modulador de la *vergencia fusional* para conseguir la haplopía (visión única), desarrollada de forma refleja.

El *espacio visual* es infinito. No tiene medida. Existen tantos espacios visuales como movimientos oculares realiza el hombre en cada fracción de segundo. Al fijar un objeto configura, en ese instante, su propio *espacio visual*, que siempre será subjetivo y distinto del espacio que percibe otro individuo que, situado en su proximidad, fije también el mismo objeto. La consecuencia final será cambiar lo que se ha considerado genéricamente como *percepción monocular* primitiva en *percepción binocular*, con resultado final sublime: la *estereopsis*, función visual en tres dimensiones y cima de la evolución filogénica.

Pero no debemos caer en la falta antropomórfica y presuntuosa de entender imperfecta la carencia de binocularidad de muchos animales con ojos dispuestos en situación lateral, que en el más puro concepto de la *teoría evolucionista* de **Charles Robert Darwin (1859)**, se mantienen en tal situación, entre otros motivos, para darles mayor efecto panorámico, imprescindible y de suma utilidad para su supervivencia. Y vayamos más lejos fijándonos en la enorme precisión de algunos de estos animales

sin visión binocular para conseguir la meta propuesta, como ocurre en el cálculo matemático del camaleón al cazar el insecto con el disparo súbito de su lengua a pesar de la anarquía motriz de sus ojos faltos de congruencia alguna, o como vemos en la gallina, con sus ojos laterales, en el picotear a uno y otro lado el grano del suelo con acierto certero, o el espectacular salto del caballo con tal elegancia y detalle en los movimientos, que dudo pudiera superarlo la visión tridimensional del primate.

Analicemos en estos animales carentes de visión frontal, ¿dónde está la perturbación mental, penosidad y trastorno debido al proceso de *confusión* que debiera, al menos en teoría, entorpecer estos minuciosos y exigentes actos?. ¿Por qué decimos siempre que en estado de *confusión* permanente la vida no sería posible, mientras contemplamos la perfección de los actos que realizan los animales de nuestro entorno con ojos en disposición lateral y, en teoría al menos, teniendo que soportar este fenómeno?.

**Visión alternante*

Ver de forma alterna, con supresión parcial o total en un ojo de la información recibida por el otro, es modo de visión posible de investigar con aparatos (estereoscopio), en virtud del *antagonismo* o *rivalidad retiniana*, como veremos más tarde. Más complicado es demostrar su existencia en la vida real.

Desechada a través de la experimentación neurofisiológica la concepción de la *visión alternante* de **Verhoeff (1935)**, interpretada como forma opuesta a la *fusión binocular* creemos, por el contrario, que la *visión alternante* existe en fisiología sensorial con otra finalidad, siendo esta información binocular fragmentada un elemento esencial de la visión en tres dimensiones (estereopsis), dando fuerza a nuestra concepción de “*no existencia de dominancia fisiológica sensorial*”.

Al final de este capítulo, en el apartado de “Estereopsis” explicaremos que la naturaleza activa del acto visual binocular normal, precisa de una forma de *visión alternante*, consecuencia de la *rivalidad* que surge, así mismo alternante, a nivel del **área monocular de confusión visual**,

que, siguiendo la teoría de **José Bovis**, es pieza básica de la función estereóptica, entrando en conflicto de *confusión* los dos ojos con resultado final de *neutralización* en uno de ellos. Lo mismo puede ocurrir a nivel de un ojo que del otro según el objeto que se fije, influyendo la dirección de mirada.

FILOGÉNESIS

Cuando nos referimos al papel de la visión en la escala filogénica, podríamos pensar que, según vamos ascendiendo en la progresión animal de acuerdo a la tendencia intrínseca de la naturaleza hacia el aumento de la complejidad de los organismos unido a la adaptación al medio ambiente y a la herencia, debiéramos asistir en el cambio sucesivo de la estructura de los seres al permanente remonte y tránsito de una visión rudimentaria a otra más elevada y compleja (*Teoría transformista* de **Jean-Baptiste Lamarck**). Los hechos nos demuestran que esto no es rigurosamente cierto.

El geógrafo y naturalista inglés **Alfred Russel Wallace**, en asociación con el biólogo británico **Charles Robert Darwin**, en el artículo común escrito por ambos científicos en **1858** "Sobre la tendencia de las especies a crear variedades", exponen que: "... *la selección natural, en biología, es un proceso por el cual los efectos ambientales conducen a una población con determinadas características y rasgos diferentes, con capacidad para ser transmitidos por la herencia. Las diferentes variedades y especies de la naturaleza son el resultado de la selección natural y adaptación en el tiempo*".

Sir William Stewart Duke-Elder (1958), con mentalidad darwinista, cree que la forma y condiciones de vida son los factores que realmente determinan el desarrollo sensorial de los diferentes animales.

Posiblemente pudieran armonizarse las teorías de **Lamarck** y las de **Wallace y Darwin**.

La filogénesis se encuentra marcada por una serie de hechos de singular importancia:

Encefalización de las estructuras nerviosas

En el humano el cerebro adquiere el control dejando en plano secundario las actividades sub-corticales mesencefálicas, órgano de gobierno de especies menos evolucionadas. Así, *los reflejos posturales optomotores no ópticos de Keiner*, bajo dependencia del laberinto y de los receptores propioceptivos de los músculos óculo-motores, de la columna vertebral y del cuello, controlados por el mesencéfalo, que nos informan de la posición de nuestro ojo en la órbita, de nuestra cabeza con relación al cuerpo, y de nuestro cuerpo con relación al suelo, fueron dando paso a *los reflejos optomotores ópticos de Keiner*, gobernados casi esencialmente por la corteza cerebral.

La importancia de la corticalización, entre otras, es la *entrada y puesta en juego de elementos psicológicos* que van a complementar la fisiología. De esta forma, el resultado visual se va a enriquecer de datos de percepción, muy subjetivos, basados en la experiencia y en las cualidades psíquicas del individuo, que van a determinar un *espacio visual singular*, de acuerdo con la interpretación personal que cada uno haga del mismo. Además, lo más importante es que las imágenes percibidas van a ser memorizadas y éstas, así mismo, fragmentándose y recomponiéndose como en un rompecabezas, van a tener capacidad para poder *imaginar* sensaciones y situaciones desconocidas, hasta llegar, incluso, a poder inventar para el mañana formas, mejoras y destrucción de la vida.

Frontalización de los ojos

Los ojos, desplazándose de la posición lateral de la cabeza a la anterior, van a permitir mayor extensión de solapamiento o superposición de los campos visuales y, por tanto, mayor campo visual binocular a costa de menor visión panorámica. A los herbívoros, por ejemplo el conejo, les es fundamental captar la amenaza, y esta necesidad vital les condiciona a disponer de forma especial sus ojos en la parte lateral de la

cabeza, consiguiendo que presenten visión panorámica grande, prácticamente de 360°, que les permite sobrevivir. Conlleva detrimento de su campo visual binocular, que es muy pequeño (10° por delante y 10° por detrás), realizando su forma de ver con movimientos de cabeza. Sin embargo, el hombre, así como las especies cuya forma de vida es prendiendo y apresando, precisa de una

visión que les permita calcular la distancia a la que se encuentra su trofeo, “con mayor campo visual binocular a costa de menor visión panorámica”. Con la frontalización de los ojos en la cabeza se consigue mayor superposición de los campos visuales monoculares. El hombre, el gato y los primates son los mamíferos con campo visual binocular más amplio (120°). (Figura 1).

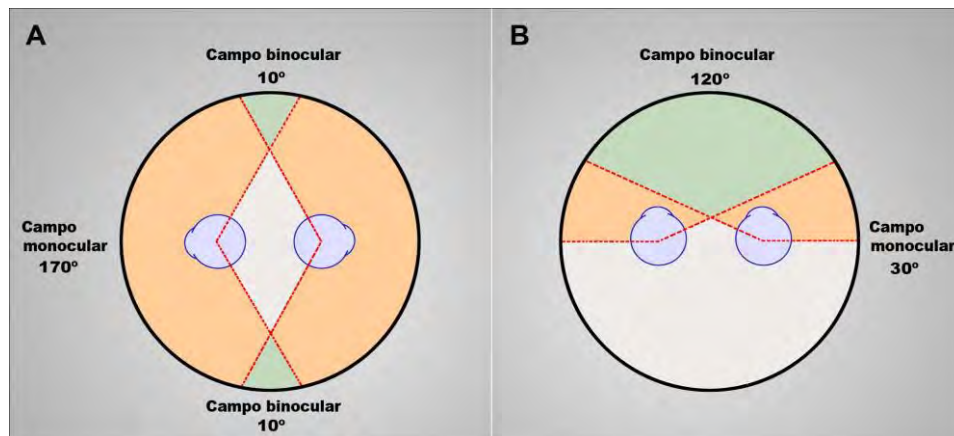


Figura 1. Campo visual monocular y binocular del conejo y del humano.

A) El campo visual del conejo es de tipo panorámico, muy amplio, adecuado para defensa.

B) En el humano es menor, primando al campo visual binocular, que le permite mayor posibilidad localizadora.

Desarrollo estructural de la fovea

Para mejorar la calidad de visión se crea esta estructura retiniana privilegiada con capacidad para poder situarla frente al objeto fijado merced a músculos especializados, efectores de los globos oculares, que, como dijimos, se han situado en posición frontal y son capaces, tras una gama amplia de movimientos, de poner las foveas en esta situación.

Trayecto de las fibras nerviosas

Ya referimos que la visión en el mundo animal se hace de acuerdo con la situación que los ojos ocupan en el macizo facial. La gran consecuencia es el entrecruzamiento de las fibras en el quiasma, que puede ser total como ocurre en los peces o en el ratón, y parcial como es en el

caballo, en el gato o en los primates y, dentro de este orden, en el humano.

La decusación parcial de las fibras ópticas a nivel del quiasma, en el hombre (alrededor del 50% para **Kupfer, 1967**), le ofrece una representación cortical bilateral, permitiendo que la información que recibe cada ojo se combine, de la misma manera que en asociación es la llegada a la corteza cerebral de las fibras que han de tener función conjunta. Así, los espacios visuales captados por cada ojo pueden ser analizados por los dos hemisferios, fusionando en cada uno de ellos las sensaciones que inciden sobre *puntos retinianos correspondientes*. Se produce de esta manera un cambio muy importante de ordenación espacial con relación a los animales inferiores, aunque la hemidecusación quiasmática no explica por sí misma la visión binocular, el sentimiento de distancia y la estereopsis. Hemos conocido experimentalmente la importancia de la conexión

interhemisférica a nivel del cuerpo calloso (Capítulo 1. Anatomía).

Galeno de Pérgamo (131-201 d.C.) en uno de sus escritos refiere: “... la visión simple es posible gracias al quiasma, cuya utilidad primera e indiscutible es que el ojo no vea dobles los objetos externos, y la utilidad secundaria sería compartir el pneuma dirigiéndole a un solo ojo cuando el otro se ocluye o está ciego”. En realidad, es forma de expresar la colaboración y distribución recíproca ocular de las sensaciones.

Pero hemos de llegar a **Isaac Newton** para poder leer en su “*Traité d’Optique*” (1704) lo siguiente: “... las imágenes de los objetos que se ven con los dos ojos se unen en donde los nervios se encuentran antes de entrar en el cerebro; puesto que allí se unen las fibras del lado derecho de ambos nervios y después de unidas entran en el cerebro por el nervio situado en el lado derecho de la cabeza, y las fibras del lado izquierdo de ambos nervios se unen también allí, y después de unidas entran el cerebro por el nervio situado en el lado izquierdo de la cabeza; y esos dos nervios se unen a su vez en el cerebro, de suerte que sus fibras no forman más que una sola imagen completa del objeto; la mitad del cual, del lado derecho del sensorio procede del lado derecho de ambos ojos, mediante el lado derecho de ambos nervios ópticos hasta llegar donde estos nervios se encuentran; y a partir de ese punto sigue por el lado derecho de la cabeza hasta el cerebro; y la otra mitad del lado izquierdo del sensorio procede igualmente del lado izquierdo de ambos ojos. Ocurre que los nervios ópticos de los animales que miran el mismo lugar con los dos ojos (hombre, perros, carneros, bueyes etc) se encuentran antes de entrar en el cerebro, pero lo de los animales que no miran al mismo lugar con los dos ojos, como los peces, no se encuentran”.

Aparición de la acomodación y de las vergencias

Estas transformaciones evolutivas filogénicas de la función visual, *acomodación y convergencia*, fueron de primera magnitud para el desarrollo de la binocularidad, que la

embriogénesis y la ontogénesis acabaron por perfeccionar.

ONTOGÉNESIS

Una vez finalizada la embriogénesis en el momento del alumbramiento, las órbitas, en las que se encuentran ubicadas los globos oculares con sus músculos efectores y todo el resto de su contenido suspensor, ya se encuentran situadas más frontalmente, habiendo pasado del ángulo obtuso de 160° abierto hacia delante, que forman sus ejes en el embrión humano de 9 mm, a los 45°-50° del feto a término. (Figura 2). Este valor del ángulo interorbitario se modifica poco a partir de entonces, disminuyendo tan solo en 5° hasta la edad adulta. En la adolescencia se alcanza la máxima frontalización de los ojos, hecho de poca importancia e influencia en la situación estato-anatómica de los mismos.

La posición de los ojos, y, en consecuencia, la de sus ejes oculares, al igual que las cavidades orbitarias que los alojan se van acercando al paralelismo, consiguiéndolo en mayor grado que las órbitas. No obstante, el final ontogénico es en ligera divergencia (alrededor de 20°) debido a estas condiciones anatómicas pasivas. A partir del alumbramiento quedan sometidos, posiblemente por incitación de los estímulos lumínicos no estructurados, al estado de *vergencia tónica* de **Maddox (1893)**, que, de forma activa bajo dependencia del sistema nervioso. trata de mantener paralelos los globos oculares para controlar y dominar la *posición de reposo anatómico absoluto*, carente de inervación y que puede explorarse en el ser vivo bajo anestesia profunda. Este estado, que en la práctica clínica es explorable, se observa desde el comienzo de la vida. Es la *posición estática de Lancaster*. Para **Maurice Quééré** el buen estado de salud de la *vergencia tónica*, que él llama *tono oculogiro*, es esencial en la etiopatogenia del estrabismo. Nos encontramos ante el primer drama a superar por el órgano doble del sentido de la vista: Sobre dos ojos con fóveas

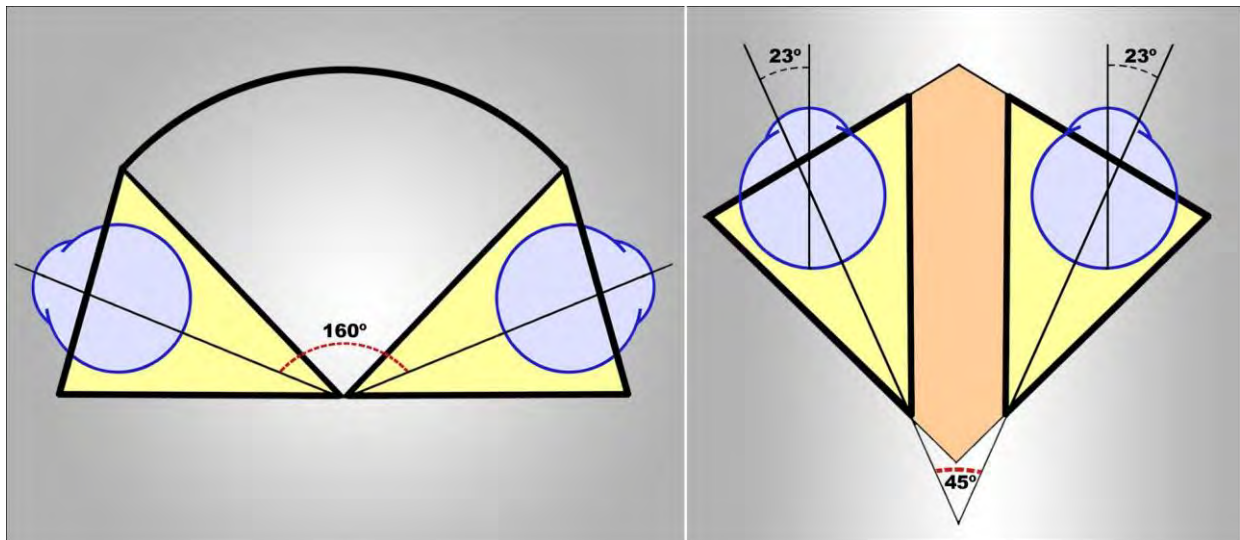


Figura 2. Ángulo de los ejes orbitarios en el embrión de 9 mm y en el adulto.

El ángulo de los ejes orbitarios en el embrión de 9 mm es 160° . En el adulto, la posición de las pirámides orbitarias ha variado a una situación más frontal, presentando sus ejes un ángulo agudo abierto hacia adelante de 45° .

histológicamente inmaduras el aparato sensorio-motor tiene que luchar por medio de la *vergencia tónica* para vencer la *posición de reposo anatómico pasivo* (carente de inervación) y mantener una posición que, en un periodo posterior, puedan utilizar el resto de las vergencias, sobre todo la fusional para conseguir la visión binocular.

En la primera época de la vida el aparato visual es imperfecto, tanto desde el punto de vista anatómico como fisiológico.

En el nacimiento el sistema visual es profundamente inmaduro. El complejo neuronal visual de la corteza cerebral se encuentra presente, aunque no funciona. Precisa del estímulo luminoso procedente del entorno que rodea al niño para que inicie su actividad. A partir de entonces se irán estableciendo las diferentes sinapsis interneuronales y los circuitos que unen a los diferentes sistemas. La mácula está mal individualizada y con escaso desarrollo. Predomina la retina periférica, en especial la nasal. La visión está reducida a percepción de luz o poco más, con débiles respuestas reflejas motoras a intensos estímulos luminosos no formes, siendo, así mismo, muy pobres los reflejos fotomotores. El campo visual es estrecho. Los estímulos luminosos

inciden sobre un sistema sensorial prematuro e inconcluso, porque, no olvidemos que la sensibilidad visual es la más tardía en formarse durante el embarazo. Posterior a la auditiva, olfatoria, vestibular y cutánea.

Al nacer, el sistema refractivo del ojo ya está constituido pero el nervio óptico no está completamente mielinizado, las foveas se encuentran con importante retraso estructural, y a la vía optomotora le falta desarrollo, tanto del sistema nervioso aferencial como del eferente que emerge de la central cerebral.

El recién nacido presenta hipermetropía fisiológica de +3,0 a +3,5D (**Steiger, 1913; Wibaut, 1926**), con el segmento anterior pequeño y menos desarrollado que el posterior. Esta hipermetropía va disminuyendo durante la infancia. A la edad de tres-cuatro años la hipermetropía fisiológica es +2,5D, a los cinco +2D, y a los seis-ocho +1,5D.

En lo que atañe a la motilidad, en esta época de la vida el cuerpo ciliar está poco evolucionado. No existe acomodación (dada la rigidez cristaliniiana) ni tampoco convergencia. Las pupilas, por otra parte, se dilatan escasamente. Lo que sí podemos apreciar son movimientos oculares basados en reflejos rudimentarios posturales de naturaleza mesencefálica, y no

cortical, tanto aquellos ligados a los receptores propioceptivos de la musculatura extrínseca ocular de acuerdo con la situación de los ojos en la cavidad orbitaria, como los vinculados a los de los músculos de la cabeza, del cuello y del laberinto, incitando a un cambio de posición de los ojos en las órbitas, pretendiendo únicamente mantenerlos en situación estacionaria. Así pues, los movimientos oculares no tienen finalidad alguna. Su acción es totalmente primitiva y de naturaleza refleja, no inducida por estímulos visuales. El aparato óculo-motor es, en ese momento, profundamente inmaduro. Solo el sistema postural, como hemos dicho, se encuentra con capacidad para funcionar.

Es obvio, que en el inicio a la vida no hay binocularidad. Los ojos trabajan de modo independiente, sin intención y sin coordinación alguna. Todas las reacciones son monoculares (**Witkowsky y Rahlmann, 1877**). No hay, prácticamente, facultad sensorial, solo respuestas motoras debido a la poca actividad de la corteza cerebral consecuencia de la inmadurez. El mesencéfalo es el auténtico coordinador del sistema ocular, hecho efectivo por todo el aparato periférico.

A partir del nacimiento van a producirse tres hechos:

a) Mejora y desarrollo de las estructuras subcorticales y periféricas, en estado de actividad al nacer.

b) Inicio de formación de las estructuras corticales vinculadas al aparato sensorio-motor de los ojos, no activas en el nacimiento.

c) Establecimiento de múltiples conexiones intracorticales, y de éstas con las estructuras subcorticales (mesencéfalo) y periféricas.

Para ello, es preciso que el niño tenga ojos normales y un entorno que le permita adquirir experiencia visual y binocular adecuada. Así pues, el recién nacido ha de encontrarse inmerso en ambiente adecuado de luz y de elementos estructurados, que le posibilite ir perfeccionando y organizando su sistema visual mediante la práctica que va adquiriendo. A partir de entonces, el aparato motor, que habitualmente es el único que funciona al nacer, va dando paso al sistema sensorial, continuando éste su desarrollo en

estrecha relación con el aparato motor y alcanzando, finalmente, superioridad. Los cimientos sobre los que va a edificarse la visión binocular están presentes en el nacimiento, aunque esta binocularidad aún no funcione. Al final del desarrollo habrá un sistema sensorial óptimo, capaz, incluso, de controlar algunas alteraciones motoras como ocurre en la mayor parte de las heterofobias.

En la segunda semana de vida aparece el reflejo de mirada, en que los globos oculares ya rotan buscando el foco luminoso que llama su atención. El sistema visual se encuentra funcionando con dos ojos, que pueden complementarse, pero aún no colaboran armónicamente. No hay binocularidad.

Entre las tres primeras semanas y los tres meses, una vez que la fovea va mejorando su estructura, se inicia el reflejo de fijación. Este reflejo, aún monocular, se convierte en el punto de arranque de la binocularidad. Los ojos a los dos meses, ya asociados, son capaces de seguir un objeto o cualquier elemento fijo móvil si está a distancia cercana; existe sinergia cabeza-ojos. A los tres meses, aunque de forma rudimentaria, la sensibilidad al contraste está presente. Ya el niño detenta cierta binocularidad y hay coordinación práctica ojo-mano. A partir de esta fecha hacen su aparición las vergencias. Cuando vemos desequilibrio óculo-motor a la edad de tres meses, suele ser un verdadero estrabismo.

A los cuatro meses existe conocimiento de dirección, pero la distancia es mal calculada. A partir de entonces, y en adelante, comienza a trabajar el músculo ciliar que va a permitir en su momento la acomodación. El reflejo postural se encuentra constituido.

Vemos, pues, cómo en esta primera época, debido a la inmadurez visual y motora, no hay binocularidad en el niño. Los ojos trabajan con *visión concurrente*, o como diría **Henri Parinaud (1899)**, con *visión simultánea*, pero no binocular; con ausencia de puntos retinianos correspondientes (*falta de identidad retiniana*) y con una capacidad visual en la que habría *reflejo retiniano de dirección y movimientos asociados de dirección*, faltando el *reflejo retiniano de convergencia* y los *movimientos asociados de distancia (convergencia)*. Lo hacen de forma parecida a los animales inferiores, de modo

independiente y no coordinado. Las reacciones son monoculares, de tal forma que las sensaciones llegadas a cada retina, entrecruzándose en su totalidad, alcanzarían los *tubérculos cuadrigéminos anteriores* a través de la *vía retino-tectal*, para de allí dirigirse a los efectores musculares del mismo lado. Se trataría de un sistema elemental y primario, subcortical (mesencefálico) y cruzado. Cada ojo estaría especializado en percibir las excitaciones cuyos desplazamientos se realizan de fuera adentro, o sea, en *dirección témporo-nasal*, susceptible de ser captados por la retina nasal del lado correspondiente, y de allí caminar al tubérculo cuadrigémino anterior del lado opuesto. De tal manera que las sensaciones que se desplazan hacia la derecha del individuo serían captadas por la retina nasal del ojo izquierdo y, tras su cruzamiento total, transmitidas al hemicentro derecho, y, de la misma manera, las sensaciones que se desplazan hacia la izquierda serían recibidas por la retina nasal del ojo derecho y enviadas al hemicentro izquierdo. Dicho de otra forma, existiría en cada ojo un *predominio de mando témporo-nasal*. Esta organización primitiva se correspondería con un sistema subcortical, en el que todas las fibras retinianas llegarían cruzadas a su *estación central mesencefálica*.

Así pues, repetimos, en este precoz periodo de vida la visión es monocular y *simultánea (Parinaud)*. En tanto la fovea no se encuentra histológicamente diferenciada, cada ojo está especializado en una concreta dirección: así el ojo derecho hace un seguimiento correcto de un estímulo que se desplaza de derecha a izquierda (hacia la aducción) y no de izquierda a derecha. E, igualmente, el ojo izquierdo no es capaz de seguir más que los estímulos que se desplazan de izquierda a derecha. Esto quiere decir que en esta precoz época no hay binocularidad sino tan solo visión monocular simultánea, en la que cada ojo, a su vez, influye en el aprendizaje del otro. Poco a poco esta organización estructural primitiva se perfecciona pretendiendo conseguir otra más perfecta: la *visión binocular*. La corteza cerebral va madurando, y empieza a diferenciarse la *vía directa* nacida de la retina temporal, que, buscando la estación del *cuerno geniculado externo*, llega, acompañada de las fibras

decusadas en el quiasma, procedentes de la retina nasal del otro ojo, a su último destino: el *área 17 de Brodmann (V1)*. Aquí, tras el paso intermedio por la *capa IV*, llegarán a su destino para conectar con las *células binoculares de Hubel y Wiesel*, elementos que, posiblemente, ya existen desde el nacimiento, donde se organiza y conforma la unión de los campos receptores correspondientes de los dos ojos. De esta manera, en los primeros meses de existencia, el mesencéfalo va cediendo protagonismo al encéfalo, aunque hay que esperar que el niño llegue a la edad de seis meses para que la binocularidad se empiece a sentir.

A los cinco o seis meses, la fovea alcanza su desarrollo y comienza a establecerse el reflejo de fusión con movimientos asociados de distancia. Este reflejo nos está indicando la participación activa del córtex. Y es que el soporte anatomofisiológico en el que descansa la visión binocular ya está construido. Cualquier proceso nosológico, actuando antes de esta temprana edad, tendrá consecuencias muy graves sobre el desarrollo de la binocularidad, que no se recuperará jamás, permaneciendo el sistema visual en condiciones muy parecidas al de las especies inferiores (mesencefálico), de ahí la gravedad de las endotropías congénitas.

De manera que a partir de este momento de vida (seis meses) existen cimientos de binocularidad, aunque aún muy frágiles y vulnerables hasta los dos años. En esta época, la distancia comienza a ser percibida. Sin embargo, cualquier trastorno aparecido a esta edad va a dar lugar a alteraciones de la visión binocular, tanto más graves cuanto más precoz sea aquél, con consecuencia de relaciones binoculares anómalas. A los seis meses puede verse el reflejo de convergencia, perseguida ocular y capacidad de prensión.

También, a partir de seis meses el nistagmo optocinético comienza a simetrizarse, visualizándose tanto la respuesta en estimulación témporo-nasal como naso-temporal.

A la edad del año, la agudeza visual es 0,3. A lo largo de estos primeros meses de vida el niño ha ido aprendiendo a ver monocular al principio y binocularmente después. Son funciones, a nuestro juicio, innatas y transmitidas por la herencia, pues ¿cómo puede explicarse que el bebé pudiera ser capaz de coordinar seis músculos de cada ojo,

doce en total, de tal modo que haya podido resistir los diferentes embates que a lo largo de este inmaduro tiempo pudieran haber malogrado los cimientos de su binocularidad?.

A partir de dos años, funciones de mayor perfección como la acomodación-convergencia y la madurez de la estereopsis van a continuar su andadura, de tal forma que cualquier alteración de aquellas va a influir en el equilibrio óculo-motor.

Con dos años y medio la visión estereoscópica es de 125 segundos de arco. A los seis años 80 segundos de arco y a los nueve 40 segundos de arco.

A los tres años y medio la agudeza visual es la unidad, aunque la sensibilidad al contraste para todas las frecuencias espaciales es inferior a la del adulto.

La correspondencia retiniana se conforma en los primeros años de vida, llegando a su estabilización a los cuatro o cinco años.

Después de los ocho años la sensibilidad al contraste es igual a la del adulto.

Vemos, pues, como se van construyendo desde el nacimiento los diferentes elementos que conforman el establecimiento de la visión binocular. Aparece ésta como función perfeccionada y superior en el orden filogénico. Tanto más frágil y vulnerable cuanto más precoces sean los obstáculos que pudieran aparecer en su desarrollo.

Puede resumirse diciendo: La época de los seis primeros meses de vida corresponde al periodo en el que el soporte de la binocularidad se está conformando. Entre seis meses y dos años se extiende el periodo crítico, profundamente vulnerable, en el que se van estableciendo las relaciones sensoriales. Con seis años la binocularidad se halla bien instalada (**Romano, 1975**), y es muy difícil que pueda ser destruida (*adulto estrabológico de Arruga*).



Figura 3. Desarrollo de la agudeza visual (según Worth y Chavasse).

3.2.

LA VISIÓN BINOCULAR

De diferentes maneras los animales contemplan y exploran el entorno que les rodea. Algunos lo sienten, otros lo oyen lo perciben por el olfato, y otros, además, lo ven. Cada una de las especies subsiste en su propio mundo sensorial, que no es igual al de otras, pues ciertas percepciones son particulares y propias de algunas con exclusividad. Por ejemplo, el hombre percibe el color rojo que no es visto por la abeja, la cual, como demostró **Kuhn (1924)** puede ver la radiación ultravioleta que, sin embargo, no es captada por el humano. O los ultrasonidos, percibidos por los murciélagos, o el ojo receptor del infrarrojo de las serpientes etc. etc.

Los órganos de los sentidos, a través de la estrecha relación que mantienen con el sistema nervioso, permiten al hombre percibir el exterior y tener sensación de su presencia en el mundo y realidad de su propio ser. **Aristóteles (384-322 a.d.C.)** se aproximó a lo cognitivo cuando dijo: “... *nada está en la mente que no haya pasado por los sentidos*”.

Conviene conocer la independencia que reina entre ver *luz* y *color* por un lado y *espacio* por otro. Por *espacio* hay que entender: formas, posiciones, movimientos y distancias. La individualización de estos dos grupos es fácil de demostrar: la *luz* y el *color* se perciben con los ojos cerrados, pero el *espacio* necesita “verse” para sentir sus emociones íntimas. **Benjamin Bourdon (1902)** apunta en el Prefacio de su libro “La perception visuelle de l’espace”: “... *las formas persisten, cualesquiera sean los colores que se les da. Las letras impresas en azul guardan la misma forma si se las imprime en rojo. La percepción de los colores es estrictamente retiniana, a diferencia de la percepción visual del espacio que está constituida, en gran parte, por sensaciones táctiles, musculares y articulares, que proceden esencialmente de los párpados, músculos de los ojos, músculos del cuello y articulaciones interesadas en estos movimientos*”.

Cada uno de los órganos de los sentidos posee un estímulo inductor específico capaz de activarle. El más elemental y universal es el tacto, cuyo objeto y finalidad es todo lo que tangiblemente percibimos. Nos inicia en la vida y sirve de enorme ayuda en el papel colaborador del aprendizaje visual. Su facultad de exteriorización no sobrepasa la superficie de los tegumentos y mucosas; este sentido es extenso y arropa todo el cuerpo. El niño tiende la mano para coger cualquier objeto que impresiona su receptor retiniano aunque esté lejos, de la misma manera que la lleva más allá del objeto que se encuentre muy cercano a él. De esta manera, aprende con sus errores y apreciaciones falsas a través de múltiples experiencias asociando los ojos con los movimientos de la mano, consiguiendo que la apreciación de distancia y de conocimiento del mundo exterior sea consecuencia de ellas. La acción combinada y simultánea de la visión y del tacto es una fuente de notable importancia para que el intelecto consiga el dominio del mundo que nos rodea. Como afirma el profesor **Cristini (1964)**, siguiendo a **Berkeley (1709)**: “... *tan pronto la percepción visual del niño se desarrolla, explora incesantemente por el sentido del tacto y por el movimiento ocular el ambiente que le rodea. Es la asociación funcional de los movimientos del cuerpo, de los miembros y de los ojos, que la visual madura. Son, pues, indispensables para el desarrollo de la estructura de la percepción visual del espacio aferencias extraópticas, tales como las cinestésicas, y aferencias ópticas específicas. Está claro que, al hablar de aferencias cinestésicas, se incluyen, también, las, todavía discutidas, propioceptivas oculares*” (“Jornadas europeas de estudios estrabológicos”, 1964. pág. 9).

El olfato y el gusto son sentidos íntimos de poca exteriorización.

Los sentidos auditivo y visual comportan

un procedimiento de impresión de la sensación y, otro, de exteriorización de la percepción. En lo que respecta a la localización espacial auditiva, no es comparable a la precisa y concreta localización visual. La visión binocular está lograda, sin duda alguna, por el dúo sensorial más perfecto del organismo.

Hay diferencia importante entre el sonido que oímos y el estímulo luminoso que vemos con cada una de estas parejas sensoriales. Para el profesor de la Universidad alemana de Leipzig, **Wilhelm Wundt (1880)**: *“... las sensaciones acústicas, al despertar la noción del tiempo, dan impresión de caminar desde la lejanía hasta nosotros, en tanto que las sensaciones visuales es algo mucho más estático, que permanece frente a nosotros”*.

En el sentido de la visión, la sensibilidad perceptiva alcanza la cima, teniendo en el acto visual mucho que decir, de forma armónica y enlazada, la fisiología y la filosofía.

La percepción de los objetos con todas sus variantes de cambio de forma, color, contraste, tamaño, lugar etc, que nos lleva a reconocerle y situarle en una dirección y a determinada distancia, lo conseguimos gracias a un conjunto de elementos sensoriales de apoyo. Estos sentidos de amparo, colaboradores receptivos de sensaciones, llegan a nuestros centros corticales profundos acorde con un “orden” de regulación, que no debe alterarse, pues, en su caso, el error sería la consecuencia inmediata. Este “orden” es el principal elemento de conversión de la sensación en percepción.

Aunque la percepción y localización de un objeto de nuestro entorno es un proceso fundamentalmente visual, hay que aceptar el importante papel que el resto de los sentidos aportan cuando falta la visión. Me refiero en particular a la audición y al tacto.

Tener dos ojos en el macizo facial y percibir, sin embargo, una sola imagen de cualquier objeto fijado no tenía por qué extrañar a nuestros primeros pensadores, pues a nadie le parecía raro tocarle con un dedo de las dos manos, al igual que escuchar un sonido teniendo dos oídos y no tener sentimiento de duplicidad alguna.

Sin embargo, hay un detalle que diferencia al sentido de la vista de los otros dos citados

(tacto y audición). Cuando tocamos un objeto, diferenciamos perfectamente y de modo exquisito el área de piel o mucosa que lo ha hecho, cuanto más si ha sido la extremidad derecha o izquierda. Del mismo modo, distinguimos con frecuencia el oído que está percibiendo con mayor intensidad o preferencia un determinado sonido debido a las opuestas posiciones que ambos ocupan en la cabeza, localizando así su procedencia. Con el sentido de la vista no es igual, pues en fisiología no tenemos sentimiento alguno de percepción diferente por uno u otro ojo, a pesar de que las imágenes recibidas por cada ojo son diferentes por motivos de paralaje en virtud de la distancia interocular. El cerebro no nos da en cada momento información discriminativa en el sentido de cuál de las dos imágenes es patrimonio de uno u otro ojo. Y esto a pesar de la rigurosa y absoluta independencia del caminar de las sensaciones al cerebro tras ser recibidas por el receptor retiniano.

La explicación de esta falta de conciencia habida entre las recepciones visuales derecha e izquierda se encuentra en la **“binocularidad”**. Con este concepto de **“binocularidad”** queremos dar a entender al lector que la imagen que nuestra alma percibe no es ni la que ha sentido el ojo derecho ni la que le ha correspondido al ojo izquierdo, sino otra irreal y muy distinta a las anteriores, elaborada por el intelecto y proyectada al exterior por un tercer ojo imaginario al que el cerebro no puede dar protagonismo causal del efecto conseguido porque es inexistente en la vida real y del que no puede definirse más que por el efecto conseguido: **“haplopía, distancia y estereopsis”**.

La binocularidad implica equilibrio óptico, sensorial y motor de dos ojos, en los que intervienen mecanismos y funciones oculares y extraoculares, cuya misión es que, partiendo de dos imágenes retinianas de un objeto, en un acto de síntesis, puedan percibirse en haplopía (visión única), estereopsis (sentido de relieve) y cálculo de distancia. Esta percepción mental única, estadio final de dualidad de sensaciones, es extremadamente compleja en el que interviene luz, cromatismo y formas. Siempre es preciso que el conjunto de esta serie de sistemas visuales forme un todo.

La asociación funcional de los ojos del individuo, antes comentado, solo en rarísimas

ocasiones supone mera *adición* de sensaciones iguales. Normalmente, la binocularidad es un hecho complejo de fusión, confusión, antagonismo retiniano y neutralización fina y selectiva de estímulos, cuya culminación es esa irrealidad que llamamos estereopsis.

Para entender el acto binocular normal y el patológico, se han de conocer los aspectos anatómicos y estructurales, en que la parte óptica, postural, sensorial y motora, enlazadas íntimamente, con su inmenso complejo celular perfectamente organizado, formen unidad indivisible y coordinada, respondiendo de forma refleja a incitaciones variadas, siendo error considerar cada una de estas etapas eslabones independientes.

Cuando sobre nuestro campo visual incide un estímulo alertando nuestra atención, se desencadenan inmediatamente una sucesión de actos, posiblemente innatos pero edificados gracias a la experiencia, dispuestos a fijar, orientar y situar ese objeto en el espacio (*reflejo de fijación*). Se busca la posibilidad de verlo y relacionarlo con los demás objetos del entorno y con respecto a nosotros mismos. Para identificar dicho estímulo, va a ponerse en marcha una modificación del *tono* de todo el complejo muscular, precisando realizar un conjunto de movimientos, sacádicos, vergenciales y automático-reflejos (vestíbulo-oculares y optocinéticos) en armónica mixtura, y activarse un cúmulo de funciones (pupilar, de acomodación, fusión, psíquicas de proximidad etc). Se pretende que los ejes visuales de nuestros dos ojos busquen y se entrecrucen en el estímulo que los ha alertado, con un objetivo primordial: el *trabajo con las dos fóveas (bifovealización)*, asociado a otros quehaceres, entre los que hay que destacar la acomodación para conseguir visión nítida, suprimiendo los círculos de difusión mediante la focalización de la imagen en la retina. El proceso es binocular de *detección* y *discriminación*. La primera de estas funciones, con poca capacidad para el reconocimiento de formas, y especialmente sensible para determinadas señales como la captación del movimiento, se atribuye primordialmente a la *visión periférica*. La segunda, con posibilidad de diferenciación fina, es específica de la *visión central*, conseguida merced a la riqueza en conos que existe en los 0,3 mm de

diámetro, con equivalencia angular a $1,5^\circ$, ubicados en el centro retiniano, y que denominamos fóvea. De este modo dejamos fijado que la retina periférica es la estructura de más alto poder optomotor, en tanto que la fóvea es la de mayor poder resolutivo.

Los movimientos que se realizan para conseguir este trabajo son practicados con particular precisión y armonía, y en íntima relación con movimientos de cabeza, que evitan rotaciones extremas de los globos oculares, que serían difíciles y trabajosas de ejecución y mantenimiento, siguiendo, como hemos dicho en el *Capítulo 2º (Fisiología motora)*, la ley del mínimo esfuerzo. La visión binocular es la gran reguladora del equilibrio motor.

Son varias las condiciones a darse para que el hombre pueda ejercer la visión binocular:

a) Sensación adecuada recibida por los dos ojos, en condición de igualdad, o muy similar, en cuanto a nitidez, forma, tamaño, contraste y color.

b) Existencia de *campo visual común* para ambos ojos. La visión binocular, patrimonio de los seres que lo poseen, precisa que este campo sea amplio, producto de la superposición de dos campos monoculares, existente en especies muy evolucionadas, y que a través del tiempo han conseguido frontalizar sus ojos.

La determinación del campo visual es fácil desde que **Förster y Aubert en 1862** nos dotaron con el arco perimétrico, permitiéndonos conocer sus límites en todas las direcciones, tanto del campo visual monocular como del binocular.



Perímetro de Foster y Aubert.

La superposición de dos campos monoculares para constituir el campo visual binocular se realiza de tal manera que los campos nasales de cada ojo se solapan o sobreponen en parte de los temporales del otro, quedando siempre en ambos extremos los dos crecientes temporales monoculares. La parte central que es común a ambos ojos, consecuencia de la superposición de los campos visuales monoculares, presenta extensión aproximada a 120° (*campo común de Lagrange*), con forma más o menos circular. En este campo binocular hay que extraer el área de las dos manchas ciegas, que como demostró **André Dubois-Poulsen (1952)** es algo más importante en visión binocular que en monocular. Cada creciente monocular temporal es de unos 30° . Es decir, que la visión panorámica horizontal del hombre es de 180° . La extensión de este campo visual es entendida con mirada inmóvil, pues aquella se encuentra agrandada por los continuos movimientos de ojos y cabeza.

Este campo visual binocular es muy distinto en endotropía que en exotropía.

En endotropía hay mayor campo visual binocular, con menor campo binocular panorámico, en tanto que en exotropía existe menor campo visual binocular con mayor campo binocular panorámico (efecto descrito por **Hermann Martin Burian** en 1971). En exotropía, cuando operamos mejorando la estética del enfermo, el resultado a veces es poco agradecido, debido a la reducción del campo panorámico.

Esto es al margen del fenómeno de neutralización que ampliaremos más adelante.

c) Toda la información captada por los receptores oculares se ha de transmitir al cerebro de forma armoniosa en *correspondencia retino-cortical normal*.

d) La motilidad ocular en la estática y en el movimiento se encontrará equilibrada, de tal forma que cuando los ojos se dirijan a los distintos objetos del espacio se realizará de modo congruente o sinérgico, para que la fijación de esos objetos por cada uno de nuestros ojos se haga por áreas o *campos receptores* en correspondencia retiniana normal.

e) El cerebro tendrá categoría de *central* con capacidad para poder fusionar en el pensamiento las dos imágenes captadas en la periferia y traducirlas en sensación final única (haplopía) y con sentido de profundidad (estereopsis).

La información que incide en el campo visual binocular se transmite al cerebro, y esta central pone en marcha mecanismos adecuados para que la musculatura ocular se movilizase comportándose como órgano efector apto. Así, sitúa los ojos de forma tal que puedan ser estimulados *campos receptores correspondientes* con capacidad para transmitir esta sensación a la corteza visual, que, a su vez, se transformará en percepción final única como resultado de la fusión. Para todo esto es preciso que el sistema óptico, sensorial, y motor ocular se encuentren en perfecta cadencia y trabajando conjuntamente.

Esta transmisión es posible gracias a la existencia de las vías ópticas, vías óculo-motoras, vías sensitivas y sistema nervioso autónomo, cuya sincronización no podría ser posible sin la ayuda prestada por la autorregulación cibernética.

Expresado de forma muy elemental, el aparato de la visión binocular es, normalmente, un arco reflejo constituido por la vía centrípeta, la central efectora y la vía centrífuga.

* La vía centrípeta es sensorial, iniciándose, como después veremos, en la *identidad retiniana de Müller (puntos correspondientes)*, de donde partirán las sensaciones a través de las vías ópticas hasta la corteza cerebral.

* La central efectora se encuentra en la cisura calcarina del lóbulo occipital del cerebro, donde arriban las sensaciones, y, a partir de aquí, mediante proceso mental elaborado son interpretadas, conocidas y memorizadas, transformándose en percepciones.

Estas percepciones visuales, al igual que las que se producen en los demás sentidos, para ser consideradas como tales han de materializarse en el espacio visual. La razón de ser de los sentidos es permitir al individuo relacionarse con

el exterior. Esto significa que las percepciones sentidas hay que *exteriorizarlas* en el lugar que ocupan en el espacio. Este hecho en fisiología se conoce con la denominación de “*visión corporal*”.

Lo que habitualmente conocemos como campo visual no es otra cosa que la proyección espacial de estímulos retinianos múltiples y diversos. Para ello ha de colaborar la vía centrífuga del arco reflejo de la visión binocular.

Tenemos, pues, dos ejes expresando dos procesos, que en el individuo normal hay tendencia a confundir: **a)** El *eje de impresión*, que sigue los principios de la óptica geométrica con sus leyes refractivas, y que va desde el objeto fijado hasta el receptor retiniano, pasando por el centro óptico ocular; y **b)** el *eje de exteriorización*, *línea de dirección subjetiva*, o *eje de proyección de Parinaud*, que se extiende desde la retina al espacio, pasando, así mismo, por el centro óptico, marcando una dirección determinada. Ahora bien, lo importante a tener en cuenta es que el *eje de proyección* o *eje de exteriorización*, a diferencia del *eje de impresión*, es fruto, producto y consecuencia de la actividad y elaboración psíquica, y no de un efecto físico que pueda explicarse por las leyes de la Óptica. Como escribe

Félix Terrien (1928) en su libro “*Sémiologie oculaire*” (Tomo IV pág. 25) “... lo que consideramos imagen de los objetos, no es en realidad más que la proyección exterior de las imágenes retinianas”. Más adelante matizaremos la diferencia que existe entre exteriorización de la imagen en monocularidad y binocularidad. De momento, diremos únicamente que el *eje de dirección* monocular y su correspondiente *eje de exteriorización* coinciden en fisiología. Sin embargo, en patología, pongamos como ejemplo el estrabismo, el *eje de exteriorización* o *proyectivo* puede no identificarse y estar dissociado del *eje de impresión*, fenómeno que vemos en tanto el desequilibrio motor presenta correspondencia retiniana normal, pasando a coincidir ambos cuando se instala la correspondencia anómala armónica.

* La vía centrífuga, que es motora, se origina en la corteza y se dirige al mesencéfalo para terminar en los diferentes núcleos y centros motores asistidos por coordinación increíble, haciendo posible los variados tipos de movimientos: de dirección y vergencia, casi siempre asociados.

3.3.

DIRECCIÓN VISUAL OCULOCÉNTRICA

Lo que distingue fundamentalmente al hombre del animal es la capacidad de diferenciar sensación y percepción (**René Descartes**). Ante cualquier cambio o estímulo ambiental, el animal responde de manera refleja. El humano, al tomar conciencia de la sensación recibida, su cerebro tiene capacidad para procesarla y elaborar la percepción.

Los órganos de los sentidos, y en concreto el órgano visual, tienen como fin esencial mostrar y dar a conocer al individuo el mundo que le rodea. Para conseguirlo, es preciso el traslado mental al exterior de las sensaciones recibidas (foto-recepciones de **Jean Pierre Nuel**), al transformarlas el cerebro en percepciones elaboradas. “Ver”, en todo su amplio sentido, consiste en estimar y contemplar fuera del individuo las sensaciones que le llegan referidas al objeto que las ha emitido. Así, cuando los estímulos recaen en una retina dotada de desarrollo y madurez suficiente, es decir, a partir de la edad en que son capaces de llegar al cuerpo geniculado externo (hacia los 6 meses de vida), esta *sensación* inicia el recorrido por la vía óptica hasta llegar a la corteza visual donde es procesada en acto cerebral y, en consecuencia, *percibida*. La visión en este acto lleva implícita su *exteriorización* al espacio visual en determinada *dirección*, pudiendo conocer, de esta manera, su procedencia. Esta capacidad de saber la procedencia de la excitación retiniana, bien sea

morfológica o luminosa, se denomina *dirección visual oculocéntrica*.

Con **Heinrich Ewald Hering** (1861) sabemos que cada área retiniana presenta una *dirección visual de proyección* que le es propia. Si el estímulo incide en una de ellas, será localizado en determinada y concreta dirección con relación al ojo (*ley general de la proyección*). El estímulo que recaiga sobre otra área retiniana será proyectado al exterior en otra dirección distinta, pero manteniendo, siempre, relación con la primera. La dirección que en el espacio es asignada a los distintos estímulos que excitan la membrana nerviosa ocular (*proyección espacial*), depende del área estimulada. De esta manera, se puede afirmar que cada *campo receptor retiniano* tiene su propia y particular dirección localizadora en el espacio. A este fenómeno, posiblemente el más importante de toda la visión, se le conoce como *Seherichtungen* de **Hering** o *signo local* de **Lotze**. (Figura 4). La *ley general de la proyección* se aplica no solo a los estímulos luminosos ordinarios de visión normal, sino también a todos los demás: post-imágenes, fosfenos, fenómenos entópticos etc.

Rudolph Hermann Lotze, en 1846, llamó “*signo local*” a: “... esa cosa por la que distinguimos la excitación de un cono de la de otro”. Cada unidad sensorial excitada (*unidad fotosensible* de **Cajal**) se asocia a un proceso de dirección espacial.

Heinrich Ewald Hering



Rudolph Hermann Lotze



Existe, pues, un área y una dirección visual de referencia. El individuo normal cuando fija un objeto del espacio estimula su fovea, estructura retiniana privilegiada histológicamente y totalmente distinta al resto, que presenta la *dirección visual principal*, cuya localización o proyección subjetiva en el espacio va a ser la de "recto adelante", siendo el referente (*punto zéro*) en torno al cual proyectan el resto de las imágenes retinianas (*direcciones visuales secundarias*). Así, la imagen de cualquier objeto estimulante del campo visual que incida fuera de la fovea, hará su proyección oculocéntrica espacial en derredor a la *dirección visual principal* que, dicho antes, corresponde a la fovea, y que en el individuo normal es el punto de referencia. La organización en torno a ella irá de acuerdo a su situación topográfica a un lado, a otro, arriba o abajo, proyectándolo con relación a la misma. Los

objetos sentidos en la membrana retiniana se conciben, de un modo general, dispuestos alrededor de la fovea siguiendo los radios de una esfera (*proyección radiada*). Cada punto o campo receptor retiniano tiene un valor proyectivo dependiente de su distancia a la fovea. La aptitud para concretar diferencia entre las distintas direcciones oculocéntricas es muy precisa. Se sitúa alrededor de cinco segundos de arco en el ámbito de la visión central.

Resumiendo: *Todas las áreas retinianas y todas sus direcciones visuales se organizan en el espacio tomando como centro de selección la fovea y su dirección visual principal de "recto adelante". Existe un verdadero mapa retiniano ordenado que tiene como centro referencial la fovea, con capacidad de localizar todo el espacio visual que en él tenga cabida.*

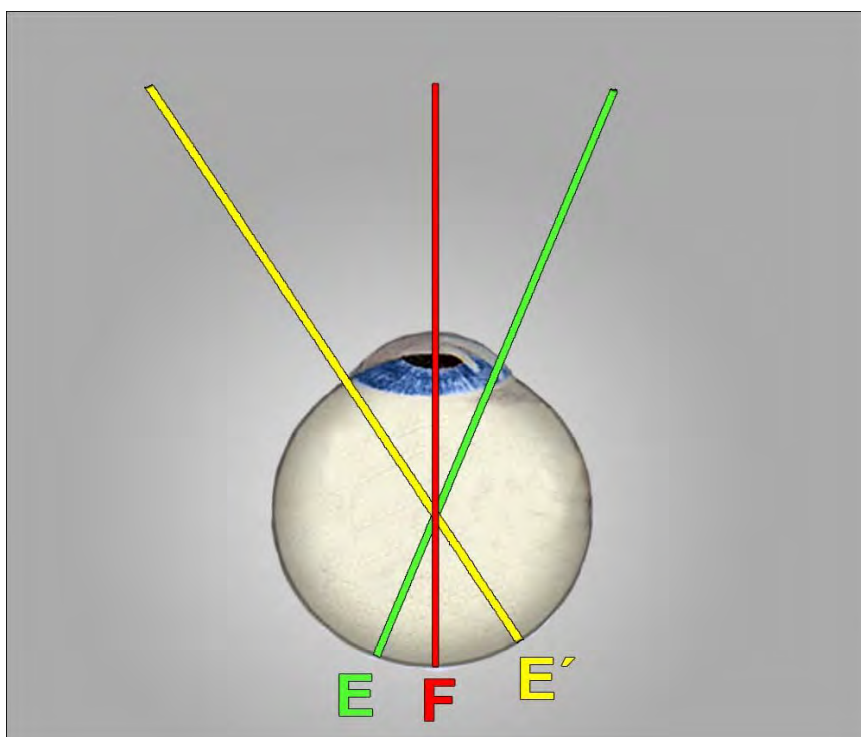


Figura 4. Dirección visual oculocéntrica.

Cada área retino-cortical tiene su propia dirección localizadora en el espacio (*signo local de Lotze*). La fovea posee la *dirección visual principal*. Su proyección subjetiva en el espacio es "recto adelante". Es el referente en torno al cual se van a producir el resto de las proyecciones retinianas, que lo harán siempre con relación a la dirección proyectiva de la fovea.

Empíricos y nativistas han venido discutiendo la naturaleza de los *signos locales* y de la *correspondencia retiniana*.

Para **Hering (1864)**, defensor del *nativismo*, y seguidor ciego de las ideas de **Emmanuel Kant (1724-1804)**, con su concepción apriorística del espacio, no deducida de la experiencia (“Crítica de la razón pura”, 1781), la localización espacial retiniana es *propiedad innata* y muy antigua en la escala animal, que el aprendizaje perfecciona y madura. Las teorías nativistas aceptan que la imagen retiniana, por sí sola, es suficiente para aclarar la percepción del espacio. La mera “sensación” es apta para ser transformada en “idea”, en razón de una disposición básica natural procedente de la consciencia (*calidad inconsciente del “signo local”*).

Sin embargo, **Lotze** cree que el *signo local* es compendio de sensaciones táctiles, musculares del propio globo ocular y de la cabeza, de experiencia, etc. influyendo a través del recuerdo sobre esta facultad oculocéntrica (*teoría de los signos locales* de **Lotze**), coincidente con la opinión de **Etienne Bonnot de Condillac (1754)** y de **George Berkeley (1769)**, que dicen hacer subordinar al sentido del tacto las funciones objetivantes de todos los órganos de los sentidos. El mismo **John Locke** en **1690** nos dice: “... *la fuente de todas las ideas es la experiencia adquirida por la sensación y la reflexión*”. Para los empíricos, pues, la idea del espacio nace de la reconstrucción psicológica del mismo, no bastando la formación simple de la imagen retiniana para explicar la capacidad de medición del campo visual.

La situación del globo en la órbita, conocida por los estímulos propioceptivos musculares (**Charles Scott Sherrington, 1918**), y las aportaciones de los centros propioceptivos del laberinto y del cuello, así como el conocimiento de la posición del propio cuerpo con respecto al suelo, son parámetros que, a juicio del Catedrático de Fisiología de Oxford y Premio Nobel de Medicina del año 1932, también van a dar información de la localización de los objetos en el espacio y sentimiento de distancia con relación al individuo.

Renée Pigassou, en su “tesis doctoral”, al referirse al papel desempeñado por los propio-receptores de la musculatura ocular, aceptando el papel preponderante que tienen los reflejos de postura en los animales primitivos, cree que no intervienen en el hombre más que en los movimientos automático-reflejos, dentro de la relación existente ojo-vestíbulo, de tal manera que en la *localización espacial*, en condiciones normales, la participación del sentido de la posición de nuestros ojos apenas tiene influencia en ella. Ante la pregunta ¿tenemos, o no, conocimiento de la posición que tienen nuestros ojos en la órbita?, la autora contesta:

“**No**, en el sentido de que el sujeto conoce la posición de sus ojos a seguidas de una información que proviene de la estimulación de órganos sensibles. También, si se asimila este sentido a un mecanismo postural automático reflejo, tal como el que funciona en el enlace cabeza-cuerpo”.

“**Sí**, si entendemos por este término la posibilidad de dirigir nuestra mirada hacia tal o cual objeto sin titubear. Este mecanismo es posible porque tenemos conciencia no de la posición del ojo sino del “zéro motor”, es decir, de la demanda o de la ausencia de demanda”.

Aunque en **1964**, en las “Jornadas europeas de estudios estrabológicos”, celebradas en Palma de Mallorca, asigna un papel débil a los impulsos propioceptivos musculares en la percepción espacial, mi querida profesora de Toulouse, en su tesis doctoral, tuvo el acierto intuitivo de evitar en su trabajo, no entrando en ello, la participación que pudieran tener los *receptores sensoriales* de la musculatura extrínseca ocular sobre la noción de “*distancia*”, que tanta importancia, a seguidas de las investigaciones neurofisiológicas, ha dado, posteriormente, **Yves Trotter** en **1991**.

Pigassou, en **1991**, (“Les divergences oculaires”, Pág. 22) actualiza su opinión diciéndonos que durante la ontogénesis la sensibilidad propioceptiva de la musculatura ocular interviene en el desarrollo de la selectividad de orientación y en el perfeccionamiento de la binocularidad. En el

adulto, una vez terminado el desarrollo, los centros propioceptivos participan: **a)** en la práctica adecuada de los movimientos voluntarios haciendo intervenir la localización postural; **b)** en la información sobre el lugar que en el espacio ocupan los diferentes objetos, a través de descarga de influjos propioceptivos que aporta la contracción de la musculatura ocular; **c)** en la elaboración de nuevos esquemas corporales a los que se llegan a través de la experiencia y el aprendizaje.

Posiblemente, como sostiene **Henri Bouasse (1917)**, el nativismo y el empirismo son formas estrechas de analizar el problema. El profesor de la Facultad de las Ciencias de Toulouse, siguiendo a **Emile Javal**, cree que la localización y, en general, la visión binocular es innata y adquirida a la vez: “... *la educación es necesaria, pero es tan rápida que obliga a admitir la existencia de un elemento básico, ya preparado*” (“*Vision et reproduction des formes et des couleurs*” pág. 75). No tienen por qué ser excluyentes en el comportamiento del hombre el contenido cromosómico y la reacción del individuo al entorno que le rodea.

Esta forma conciliadora entre nativismo y empirismo en biología lo describe magistralmente **François Jacob (2005)** de esta manera: “... *Lo más verosímil es que el programa genético predisponga las estructuras de recepción a los estímulos del medio, para buscar, localizar y memorizarlos. Con el aprendizaje estas estructuras nerviosas se afinan y elaboran poco a poco. Como todo organismo vivo, el ser humano está genéticamente programado, pero está programado para aprender. La naturaleza nos ofrece todo un abanico de posibilidades al nacer. Lo que es actualizado se construye poco a poco durante la vida por la interacción con el medio*”. (“El juego de lo posible” pág. 93.)

Ciertamente significativo es el experimento siguiente: Con el ojo izquierdo ocluido, sobre la mesa situada ante nosotros colocamos un objeto pequeño, y anteponiendo un prisma de 12 dioptrías, base temporal, delante del ojo derecho, vemos como el objeto que estamos observando se desplaza a la

izquierda. Si inmediatamente tratamos de colocar la punta de nuestro dedo índice sobre el objeto, en el primer intento hay mal cálculo con desplazamiento hacia la izquierda, pero, a continuación, al repetir la prueba ya lo hacemos correctamente. Esto es indicativo de que la experiencia es capaz de enseñarnos “rápidamente” a localizar la dirección.

Un objeto del espacio que estimule el área periférica de la retina del ojo de un individuo, llamando su atención, desencadena de manera refleja un movimiento motor sacádico (*reflejo optomotor* o *psico-óptico*), cuya misión es conseguir la fijación de aquél por medio del área estructuralmente más adecuada (fóvea), con el fin de conseguir la visión más idónea. La amplitud del movimiento realizado queda bajo el dominio e imperativo del poder localizador retino-motor del elemento retiniano estimulado. Como dijimos anteriormente, cada punto de la retina tiene un valor retino-motor de acuerdo a su distancia con respecto a la fóvea. Los ojos dirigen la mirada, en principio de forma imprecisa, hacia el lugar que ha originado el estímulo para percibirlo como si tratara de “palparlo”. **Buffon** en su escrito “Historia del hombre” (1834), pág. 87 relata: “... *La vista es una especie de tacto, pero que puede tocar a cualquier distancia*”. A este primer movimiento le sigue el proceso de consolidación, cuyo cometido es mantener estable la fijación (*reflejo de fijación*). Para ello, el sistema óculo-motor ha de realizar pequeños micromovimientos y rectificaciones de compensación, fundamentalmente desplazamientos de cabeza mediante reflejos de origen vestibular. La consecuencia última es localizar en el espacio este elemento según una dirección visual determinada y relacionarlo con su ojo y con su cuerpo y, también, con los objetos restantes situados alrededor del objeto motivo de fijación foveal. Quiere decir que: cada área retiniana, además de tener una determinada *dirección visual de exteriorización* del estímulo recibido, tiene determinado *valor motor* expresado en amplitud de movimiento, que es el que tiene que efectuar el globo para colocar a la fóvea en situación frontal con relación al elemento que ha excitado aquella

área retiniana. Así vamos aprendiendo poco a poco, de acuerdo a la experiencia, el lugar que ocupa cada objeto del espacio sobre la base del movimiento que hemos tenido que hacer en su búsqueda para situarlo en la fovea, así como la situación de otros objetos relacionados con él y que son vistos de forma indirecta, en razón de los movimientos oculares que la experimentación nos ha enseñado de acuerdo al impulso muscular que conocemos.

Por deducción hay que decir que cualquier estímulo que incida sobre la retina en dirección de la fovea no producirá

desencadenamiento de movimiento alguno, debido a que esta estructura se corresponde fisiológicamente con el *punto zéro* de la motilidad del ojo (*zéro óculo-motor* de **Dietkes**), cuyo *valor motriz inductor* es nulo. En este caso concreto solo intervendrá el aparato motor intrínseco: músculo ciliar para enfocar la imagen y el iridiano para diafragmar.

La organización en el ojo humano se hace tomando como referente central la fovea, que presenta, por su riqueza histológica, alto poder de resolución, además de corresponderle valor motor cero (*zéro óculo-motor*).

3.4.

DIRECCIÓN VISUAL EGOCÉNTRICA

Comenzamos refiriéndonos a aspectos monoculares, sabiendo que hablar de éstos no tiene más interés que didáctico. La monocularidad no existe en el individuo normal. Todo es *biocular*, siendo una faceta de esta disposición sensorial la *binocularidad*, que precisa dos funciones adecuadas monoculares en asociación armónica para conseguir la visión única (haplopía).

Galeno de Pérgamo (129-200 d.C.) dice en su libro X, capítulo XII, tomo 1º, pág. 640: “... un objeto no es visto en el mismo lugar por uno y otro ojo, sino que el derecho ve en un sitio, el izquierdo ve en otro, y los dos juntos ven en un tercer lugar, como en un punto intermedio”. El genial filósofo continúa escribiendo: “... si miramos una columna con un ojo, la vemos en un lugar y en él se ordena, en relación con ella, todas las cosas del espacio; y si la vemos con el opuesto, aparentemente se desplaza en otro sentido y también en relación con él se hace la ordenación espacial del fondo. Si la miramos con ambos ojos, la visión se regula y ordena como lograda desde un punto intermedio”.

Resulta evidente que **Galeno** se había adelantado en más de mil quinientos años a la concepción del “ojo doble” de **Hering** u “ojo cíclope” de **Helmholtz**.

La primera pregunta que debemos hacernos es ¿por qué tenemos dos ojos?. El sistema visual es el mejor sensorio de que dispone el hombre para interpretar el mundo que le rodea, colaborando con él el resto de los sentidos. Mediante el sistema visual y a partir de dos imágenes percibidas, traducimos nuestro entorno en imagen *única*. En esencia, esto es la visión binocular, mediante la cual el individuo se orienta, percibe y sitúa los objetos no-solo en determinada dirección sino, además, a distancia precisa, con perfección no conseguida monocularmente. **François D’Aguilon**, en **1613**, diferenció la estereoscopia monocular de la binocular cuando

dijo “... una cosa es la distancia y otra la cantidad de distancia”.

Para poder tener justa idea de la posición que un objeto ocupa en el espacio, deben conocerse los parámetros de dirección angular y distancia con respecto al individuo. Con la “*visión monocular*” se conoce la *dirección* exacta en la que se encuentra un objeto. Bajo este punto de vista exclusivamente *direccional*, la “*visión monocular*” es la forma más importante para esta competencia (para hacer blanco, el tirador cierra un ojo con la finalidad de afinar puntería). Sin embargo, con la “*visión binocular*” es posible *ubicar* el objeto en el lugar preciso, concretando psicológicamente distancia y profundidad sobre la base del sitio donde convergen y se encuentran los *ejes de proyección* de los dos ojos.

La binocularidad es facultad visual adquirida, consecuencia y compendio de dos direcciones visuales oculocéntricas asociadas. La aportación coordinada por el cerebro de dos imágenes ligeramente distintas, viendo un mundo sensiblemente diferente con cada uno de nuestros ojos al no presentar la misma situación espacial debido a la distancia interpupilar (*disparidad horizontal*), nos aporta otro concepto al sistema. Este hecho fundamental, descrito por **Euclides** en su “*Tratado de Optica*”, posibilita poder relacionar los objetos del espacio no con cada uno de los ojos de forma aislada, sino con los dos ojos en su conjunto, con la cabeza y con el cuerpo del individuo. Sería como si del eje central de cada sujeto partiera lo que **François D’Aguilon** llamó el “*radius communis*” (*rayo común*) que, sin tener materialidad física alguna, tendría, no obstante, realidad sensorial con capacidad para organizar los objetos en el espacio visual. Es el orden ficticio y subjetivo que singulariza a cada persona, mediante el cual quiméricamente cada uno interpreta el mundo que le rodea.

Todo queda sintetizado, al menos desde el punto de vista didáctico, en ese estado de un

solo órgano que conocemos como “*egocentro*”, “*ojo cíclope imaginario*” de **Hermann von Helmholtz**, “*ojo doble*” de **Ewald Hering** o “*binóculo*” de **Walter Lancaster**, situado en posición centrada entre ambos ojos y que contiene superpuestas las dos retinas, como si de una sola común a los dos ojos se tratara, de tal manera que la nasal del ojo derecho se superpone a la temporal del ojo izquierdo y la retina temporal del ojo derecho a la nasal del ojo izquierdo. En la parte central del *ojo cíclope* estarían superpuestas ambas foveas. Su ubicación se encontraría inmediatamente por detrás de la línea de unión de los dos centros de rotación de los ojos. Así, la percepción *proyectiva* o identificación en el espacio del objeto fijado se hará no con relación a cada uno de los ojos (*dirección visual oculocéntrica*), sino con respecto a un fantasmagórico o teórico ojo central situado medialmente entre los mismos (*dirección visual egocéntrica*) (Figura 5A), de ahí la falta de

coincidencia entre ambos tipos de localizaciones unioculares, y de cada una de éstas con relación al ojo cíclope. El “*ojo cíclope*” es un concepto fisiológico constituido por dos semiojos izquierdos y dos semiojos derechos superpuestos en un solo órgano. En la parte central del “*ojo cíclope*” ambas foveas estarían en posición coincidente.

Podemos hacer la prueba inversa: Fijamos binocularmente un pequeño objeto en posición cercana y de esta guisa nos tapamos un ojo (por ejemplo el izquierdo); comprobamos que se produce corrimiento del objeto hacia el lado del ojo ocluido, o sea el izquierdo, a pesar de que el ojo derecho ha permanecido inmóvil. Lo que ha pasado es que de una *localización visual egocéntrica*, que es la binocular de partida llevada a cabo por el ojo cíclope medial, se ha pasado a una *localización oculocéntrica*: la monocular del ojo derecho. Esta, por supuesto, con valor proyectivo al exterior distinto, lo que hace que la imagen se desplace hacia la izquierda (Figura 5B).

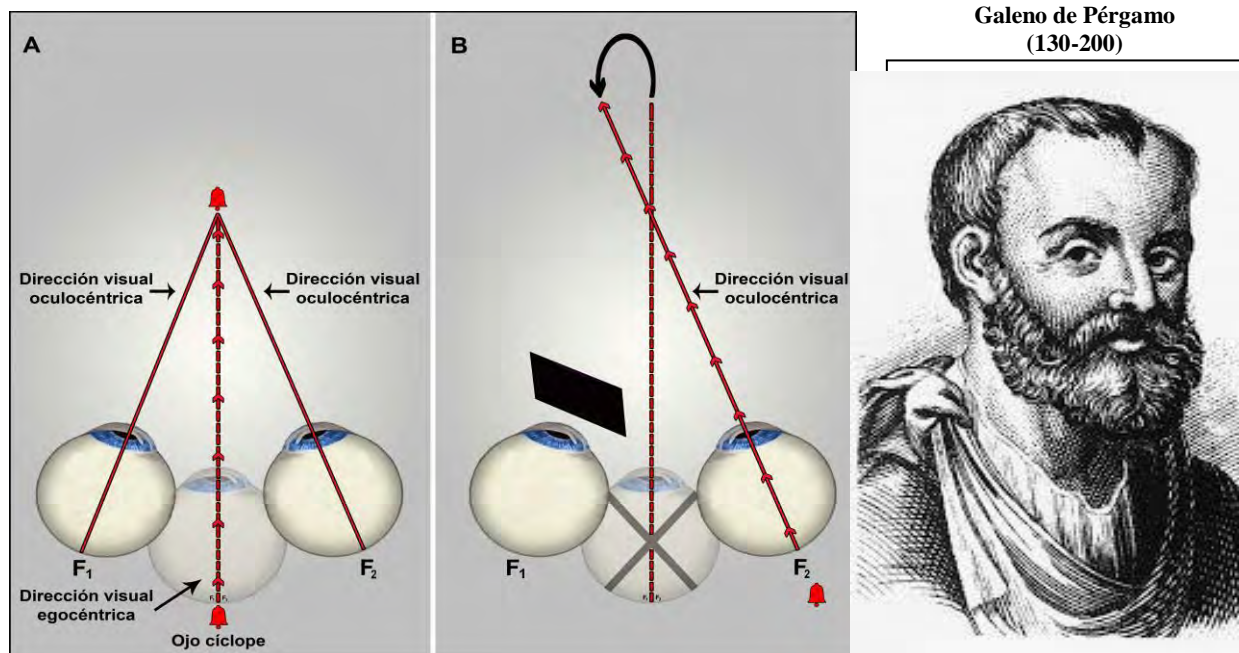


Figura 5. Dirección visual egocéntrica.

A) Si cada ojo percibe un objeto, en el espacio es identificado no en relación a cada uno de ellos (*dirección visual oculocéntrica*), sino a ambos asociados, sintetizando este hecho como *ojo cíclope*, que se sitúa entre ambos en posición mediana (*dirección visual egocéntrica*).

B) Experimento: Fijando binocularmente un objeto en posición cercana, nos tapamos un ojo (en la figura OI). Comprobamos, entonces, que se produce un traslado del objeto hacia el lado izquierdo, habiendo permanecido inmóvil el ojo derecho. Se explica por el paso brusco de la *localización egocéntrica* de que partimos, en la que el protagonista era el *ojo cíclope*, a la *localización oculocéntrica* final, que es la monocular del ojo derecho. Se ha producido, simplemente, un cambio del *valor proyectivo* o de *exteriorización*.

El monoftalmo adopta, por lo común, tortícolis con la cabeza girada horizontalmente hacia el lado de visión nula para que su único ojo tome la posición ciclópea, buscando el *egocentro* (Figura 6).

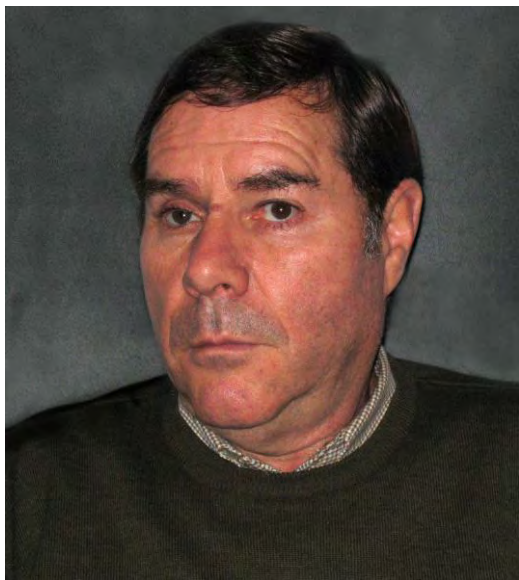


Figura 6. Tortícolis del monoftalmo.

Cabeza girada hacia el lado del ojo sin visión (OD). El ojo funcionalmente útil (OI) busca la posición del *ojo cíclope* (*egocentro*).

En el libro de **Albert Remy (1917)**, "Le diploscope" (pág. 4), su colaborador **André Louis Cantonnet** dice, y repite en el suyo, "Le strabisme" (pág. 19): "... el ojo, a pesar de su admirable complejidad es, solamente, el aparato de recepción de las sensaciones. Es la membrana vibrante, si se quiere. La dos membranas vibrantes, recibiendo sensaciones sincrónicas, iguales en amplitud y tonalidad, las transmiten al cerebro por las vías de conducción y órganos de transmisión si éstos están convenientemente conjugados, siendo registradas en los centros, y allí unidas como lo haría un solo estilete inscribiendo un diagrama único sobre el tambor de registro".

La *teoría proyectiva* de las sensaciones percibidas nos dice que las imágenes retinianas llegadas a nuestro cerebro estarían expresadas en el espacio según una línea, que iría desde los

campos receptores de ambas membranas nerviosas al exterior pasando por el punto nodal del ojo. Así concebido, cualquier objeto sería visto en el lugar donde ambos *ejes proyectivos* convergen, que en el individuo normal estaría en coincidencia con los *ejes de dirección* incidentes (**Félix Giraud-Teulon, 1861**).

Hering (1868), con el siguiente ejemplo demuestra que esta teoría no puede aplicarse en todas las circunstancias (Figura 7): Imaginemos que colocados frente a una ventana, sobre el cristal de la misma y a la altura de los ojos situamos un test sobre el que mantenemos la fijación con los dos ojos. Tapando el ojo derecho, y mirando con el ojo izquierdo el test situamos más lejos del mismo, pero en igual *línea de dirección*, un segundo objeto. Seguidamente, procedemos a colocar ante el ojo derecho un cartón con un agujero, a través del cual este ojo no pueda ver más que el test del cristal. Ocurrirá, entonces, que en binocular veremos el test, y en el plano mediano, detrás del mismo, percibiremos el objeto que habíamos colocado, previamente, en la *línea de dirección* del ojo izquierdo, de tal manera que habría sufrido un traslado subjetivo cerebral hacia la izquierda. Es decir, el ojo izquierdo lo había percibido según una determinada *línea de dirección*, pero su percepción espacial es ordenada por el *ojo cíclope imaginario* según su *dirección proyectiva*, que va desde su fóvea al objeto fijado por ambos ojos.

Si, por otra parte, situamos otro objeto en la *línea de dirección* del ojo derecho, por ejemplo entre el cartón agujereado y el test del cristal, lo percibiremos, también, en la misma dirección del plano mediano correspondiente al *ojo cíclope*, aunque ahora por delante del test. Como conclusión se puede decir que: mirando con los dos ojos el objeto fijado en el cristal, el *ojo cíclope* cubrirá simultáneamente los objetos situados en las direcciones de mirada de ambos ojos.

Hering (1868) termina su investigación diciendo: "... para dos líneas de dirección correspondientes de los dos ojos, hay una sola dirección de visión pasando por el punto de fijación binocular sobre la que aparece todo lo que existe realmente sobre estas dos líneas de dirección". Es la línea principal de dirección de la

mirada. Esta línea de dirección final es la bisectriz del ángulo de convergencia de las dos líneas de dirección. (Figura 7)

Es la **ley de Hering** que dice: “*Todos los objetos que impresionan simultáneamente ambas fóveas, son vistos en idéntica dirección, aunque sus direcciones objetivas sean distintas.*”

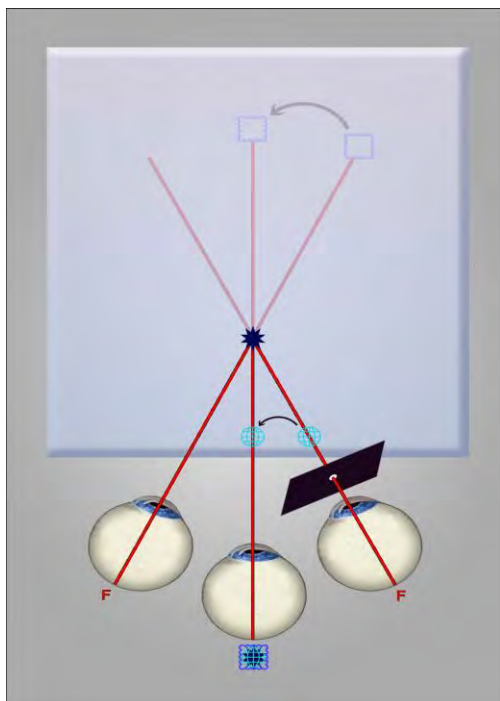


Figura 7. Experiencia de Hering.
Explicación en el texto.

Puede ocurrir, si un ojo tiene mucha mejor visión que el otro, que en el acto visual común predominará su línea de mirada sobre la del congénere, transformándose en *línea principal de dirección de la mirada*. **Hering** llama a este ojo: *ojo director* o *conductor*. De tal forma, que en la experiencia anterior, suponiendo que el ojo derecho fuera el ojo director, la línea principal de dirección de la mirada en vez de ser la bisectriz de las líneas de dirección de ambos ojos, se desplaza hacia el ojo conductor coincidiendo con la línea de dirección del ojo derecho.

Con respecto a la proyección cerebral exterior de la imagen percibida, debe

quedar claro que el *eje de proyección* verdadero es el que aporta un solo ojo. Este eje puede fundamentarse por leyes físicas. De esta manera se localiza el objeto donde realmente está. Así, cuando disparamos con una escopeta, cerramos un ojo para hacer mejor puntería. En cambio, la proyección o exteriorización en binocularidad es un hecho psíquico, falseando la realidad, al ser transmitido por un ojo teórico inexistente, tal es el *ojo doble* de **Hering**, que asocia en *correspondencia de identidad* las retinas de los dos ojos. Si lo queremos expresar con rigor, lo que estamos percibiendo no es el objeto que vemos, en su realidad absoluta, sino el efecto de la elaboración intelectual por parte de nuestro cerebro (“*juicios inconscientes*” de **Helmholtz**).

Mediante el acto binocular unimos y armonizamos el sistema visual de los dos ojos con todos sus parámetros dinámicos: **a)** Las direcciones oculocéntricas de cada ojo; **b)** la totalidad de sus músculos óculo-motores con su sistema propioceptivo, mediante el cual somos conscientes de la situación que ocupan los globos oculares en la órbita; **c)** la capacidad acomodativa de cada ojo; **d)** la relación habida de la cabeza con el tronco etc. etc, y esto a todos los niveles, desde la periferia hasta la corteza cerebral formando verdadera asociación óptico-motor-sensorial binocular, que pretende la fijación con nitidez del objeto, su localización creando un juicio de dirección y su ubicación en determinado lugar relacionándolo con todo lo que rodea y con nosotros mismos.

Sintetizando: La binocularidad presenta vinculación profunda de todos los parámetros dinámicos homólogos habidos en ambos ojos. A saber: postural, motor, sensorial y acomodativo.

Siendo preciso que exista asociación de proyecciones y de percepciones:

a) La asociación de *proyecciones espaciales* nos lleva al estudio de *correspondencia retiniana*.

b) La asociación de *percepciones*, con todo el proceso psico-sensorial inherente a la misma, nos conduce al de *fusión*.

CORRESPONDENCIA RETINIANA

A mediados del siglo XVII **Cristian Huygens (1629-1665)** exponía al mundo científico: *“La naturaleza se ha ocupado de modo muy particular para que nuestros dos ojos no hagan parecer doble el objeto visto por ellos. Ha hecho que cada punto del fondo del ojo tenga su punto correspondiente en el fondo del otro, de manera que cuando un objeto incide en estos dos puntos correspondientes, aparezca como simple”*.



Cristian Huygens
(1629-1665)

George Louis Leclerc, conde de Buffon (1707-1788), en **1749** publica los Tomos I, II y III de su *“Historia Natural, general y particular”* donde está incluido el capítulo *“Del Hombre”*. Auténtico tratado de biología humana y obra maestra de este gran naturalista francés, nacido en Montbard y *Miembro de la Academia de Ciencias Francesas* a los 27 años.

En el apartado que hace referencia al aparato visual (*“Du sens de la vue”*) relata: *“... en cada ojo se forma una imagen del objeto, y cuando estas dos imágenes caen sobre partes de la retina que son correspondientes, es decir, que desde siempre han sido afectadas al mismo tiempo, los objetos nos parecen simples, porque hemos tomado el hábito de juzgar como tales; pero si las imágenes de los objetos inciden sobre partes de la retina que no son ordinariamente afectadas juntas y al mismo tiempo, entonces los*

objetos nos parecen dobles, porque no hemos tomado el hábito desde el nacimiento de rectificar esta sensación que no es ordinaria”.

En **1826**, en su *“Fisiología de la visión”*, el nativista **Johannes Müller** denomina *“puntos idénticos”* (correspondientes) a *“puntos de las dos retinas cuya excitación simultánea da la sensación de un origen único exterior”*. Para este autor, la *identidad retiniana* es propiedad esencial de la visión binocular, cuyo resultado final será el privilegio de *fusión* por parte del cerebro de las dos imágenes que han incidido en ambas retinas despertando en el espíritu visión única o simple. Aquí terminaría para él todo el proceso de la **correspondencia retiniana**. El matemático alemán no entra en la *“proyección al exterior”* de la imagen fusionada. El espacio sería para él algo totalmente subjetivo, en el que las relaciones existentes entre objetos y profundidades percibidas serían producto de la *“imaginación”* (Manuel de Physiologie, 1845). Tomo 2º. Pág. 369. Subsistirían solo como *“idea”* o *“ilusión”*. Nada real. De ahí, que lo asigne el nombre de *“identidad subjetiva”*.

Reflexiona en este aspecto **Léon Liégard (1865)** cuando dice: *“... lo importante no es que los puntos idénticos, adquiridos por el hábito, sean idénticos. Lo importante es saber por qué los puntos idénticos son idénticos”* (*“La double image oculaire”* pág.4).

En el sentir de **Müller** *“... hay en las dos retinas partes unidas anatómicamente por medio del sistema nervioso, de tal forma que la impresión lumínica de dos puntos idénticos se confunde en una sola percepción, mientras que la impresión de dos puntos no correspondientes da la percepción de dos luces”*. Este concepto ha permanecido como piedra básica de los mecanismos sensoriales de la binocularidad.

Realmente los ojos, al igual que el resto de los sentidos, tienen una misión que cumplir, y es poner a la persona en contacto y relación con el mundo que le rodea. Fusionar ambas imágenes dejando como quimera y al libre albedrío de la subjetividad del individuo la interpretación del espacio de nuestro entorno dotaría al proceso de binocularidad de una carga exagerada de imaginación e interpretación. Y es que el cerebro, tras recibir las imágenes que le llegan de cada ojo,

y realizada la *fusión* a través de un esmerado proceso cerebral, comienza otra función no menos importante: la *proyectiva*, con el fin de ubicar en el espacio la percepción consciente elaborada. Afirmaba **Donnadieu (1892)**: “...la *identidad retiniana* y la *proyección* se complementan y necesitan; que si estamos obligados por la *proyección* a unir en el espacio en una las dos imágenes, es porque también las unimos en el sensorio para identificarlas en una sola”. En el individuo normal coincide el *eje de dirección* de impresión de la sensación luminosa a la retina, que sigue las leyes de la refracción, con el *eje de proyección* al exterior, que es proceso eminentemente cerebral (**Remy, 1909**). En el lugar donde convergen en el exterior ambos ejes proyectivos es donde queda localizado el objeto. Significa que la *vergencia* es la forma de movimiento asociado que se vincula al funcionamiento de la visión binocular. Actúa de forma refleja.

En patología puede haber disociación cerebral y el *eje de proyección* no coincidir con el *eje de dirección*, por haber aparecido, por ejemplo, desviación ocular. Habrá, entonces, diplopía.

Considerado de esta manera, determinada área de la retina de un ojo tendrá en el opuesto otra área que proyectará al exterior según la misma dirección visual que la primera. A esto se denomina “correspondencia sensorial retiniana” y a los puntos de la membrana nerviosa en tal situación: *puntos retinianos correspondientes*. También, *puntos retinianos idénticos*, *puntos retinianos superpuestos*, *puntos retinianos concordantes*, *puntos retinianos acoplados*, *puntos retinianos sinestésicos*, *puntos retinianos de superposición*, o como prefiere llamarlo **William Nicati** en su tratado de “Fisiología Ocular” escrito en 1909 (pág.562): *puntos retinianos solidarios*. En este concepto no nos referimos a puntos de la retina como simple expresión geométrica, sino a todo el conjunto retino-genículo-cortical (*correspondencia fisio-psicológica*).

En el *Capítulo 1º (Anatomía)*, vimos que no podemos hablar de puntos retinianos, sino de *unidades sensibles* o *campos receptivos*. **Santiago Ramón y Cajal** lo denominó “*unidades fotosensibles*” o “*unidades isoestésicas*”; también,

denominados “*territorios independientes*” por **Carpentier**, y “*círculos de Panum*” por el excepcional médico danés **Peter Ludvig Panum (1858)**.

Se debe a que la retina no tiene puntos geométricos con individualidad propia sino áreas con desigual sensibilidad, tanto menor cuanto más nos alejamos de la fovea. El *campo receptor retiniano* es extenso en la periferia y mucho más reducido en el área central, particularmente en el ámbito de la foveola donde es tan pequeño como un cono de 30 segundos de arco. La gran extensión del campo receptor en la periferia no se ha de considerar como algo deficiente, imperfecto o defectuoso, sino como extraordinario e inigualable ingenio fisiológico habido en la retina para mantener la haplopía (visión única).

Las foveas son los puntos retinianos o, mejor dicho, los *campos receptivos correspondientes* por excelencia formando comunidad funcional, cuya *dirección visual oculocéntrica* veíamos que era la de *recto adelante*. A partir de aquí, podemos establecer que cada retina contiene un conjunto de puntos o áreas con equivalente *identidad* de proyección espacial en la retina del otro ojo.

Estimuladas ambas foveas por un determinado objeto, éste es percibido en el exterior en una determinada dirección, independientemente del ángulo objetivo que tenga cada ojo (Ley de Hering, 1879). La mejor manera de comprender este enunciado, es experimentando con el “test de las imágenes persistentes” del mismo autor (post-imágenes): Si estimulamos ambas foveas mediante una post-imagen en **correspondencia retiniana** normal, ambas post-imágenes tienen que ser coincidentes en el espacio a pesar de que el paciente tenga un ojo desviado. Este mismo hecho se puede constatar comprobando la coincidencia espacial de las post-imágenes aunque desplazemos un ojo mediante presión digital.

Para considerar los *puntos correspondientes*, **Müller** da la siguiente regla: Dividiendo las retinas en cuatro cuadrantes con un meridiano horizontal y otro vertical pasando ambos por las foveas, la posición de cada punto viene dado, como en un globo terráqueo, en razón de su latitud y longitud con relación a ambos

meridianos. Así considerados, dos puntos que tengan la misma latitud y longitud, siendo, pues, equidistantes en grados de las fóveas, serían *puntos idénticos o correspondientes*. Ambas retinas serían solidarias para todos sus meridianos del mismo nombre y para todos sus sectores de igual dirección.

A esta regla descrita por **Müller, Alfred Wilhelm Volkmann** le refutó falta de exactitud, pero, al menos, desde el punto de vista práctico conserva su interés.

Así, podemos ver que los puntos de la retina nasal del ojo izquierdo proyectan a la izquierda, en identidad con los puntos retinianos de la retina temporal del ojo derecho. De la misma manera podríamos decir de la retina nasal del ojo derecho y de la temporal del ojo izquierdo en su proyección a la derecha con relación a las fóveas. (Figura 8). Existen en el fondo ocular de ambos ojos dos áreas singulares, situadas por dentro de ambas fóveas, las papilas o *áreas ciegas de Mariotte*, que, careciendo de percepción de sensación luminosa, el individuo no se percata de esta laguna escotomatosa debido a su falta de **correspondencia retiniana**, de tal forma que binocularmente el vacío perceptivo de una de ellas se suple por la capacidad visual de la otra. **Schoeler** autoexperimentó el hecho de que para poder hablar de *puntos correspondientes* hay que hacerlo en los siguientes márgenes de extensión retiniana: nasal y temporalmente 2,85 mm, hacia arriba 6,20 mm, y hacia abajo 3,10 mm.

Entonces, la *identidad retiniana absoluta* solo existe para las fóveas, y es tanto más elástica cuanto más nos vamos alejando de ellas.

Estos hechos fueron corroborados por **Mandelstamm (1866)** y **Volkmann (1869)**.

Como corolario puede afirmarse que dos impresiones que inciden en *puntos correspondientes*, son localizadas en el exterior en la misma dirección, hablando entonces de *correspondencia retiniana normal*. Si las dos impresiones proceden del mismo objeto, este será visto como percepción única, simple o haplópica. Sin embargo, si las dos impresiones procedentes del mismo objeto recaen sobre puntos no correspondientes, el objeto será visto doble al ser proyectado al exterior según dos direcciones visuales distintas. Observamos que: Si

fijamos un objeto, y con el dedo índice hacemos presión lateral desplazando ligeramente un globo ocular hacia adentro, el resultado es diplopía debido a que hemos cambiado la situación de una retina con relación a la otra, rompiendo la armonía de los elementos correspondientes. Y distinta forma de provocar la duplicidad de imágenes es anteponer un prisma en un ojo y comprobar el efecto de desplazamiento que se provoca en la imagen retiniana.

A los *puntos no correspondientes* **Gustav Theodor Fechner (1801-1887)** les llamó "*dispaes*" o "*diferentes*". Cuando dos impresiones procedentes de un objeto inciden sobre *puntos no correspondientes* retinianos, se dice que existe *disparidad retiniana* o *disparidad binocular*. Esta disparidad puede ser vertical u horizontal.

La **correspondencia retiniana** en fisiología puede, pues, definirse como: "*la relación existente entre áreas retino-corticales o campos receptivos, que al ser estimulados simultáneamente por un objeto del exterior se traducen en sensación única o haplópica*".

Es obvio pensar que de los movimientos oculares, normalmente mixtos, que realizamos en la búsqueda de un objeto en nuestro campo visual, constituidos por la asociación conjunta de versiones y vergencias, es únicamente su componente versional el que puede influir en la percepción de la *dirección visual egocéntrica*, sin participación alguna de las vergencias en la misma.

Así como la localización espacial de cada punto retiniano (*Seherichtungen de Hering* o *signo local de Lotze*) pudiera ser propiedad innata, la **correspondencia retiniana**, basada sobre dos direcciones visuales oculocéntricas, facultad binocular constituida a través de la experiencia que se desarrolla durante los primeros años de vida, no adquiere la madurez hasta la edad de seis o siete años, lo que explica su fragilidad, precisando reforzarse día a día hasta la edad adulta.

Mediante esta proyección binocular de nuestras fóveas, *puntos correspondientes* por excelencia, tenemos sensación de ser el centro de nuestro espacio visual, relacionando subjetivamente todos los objetos, habidos en el mismo, y con respecto a este centro.

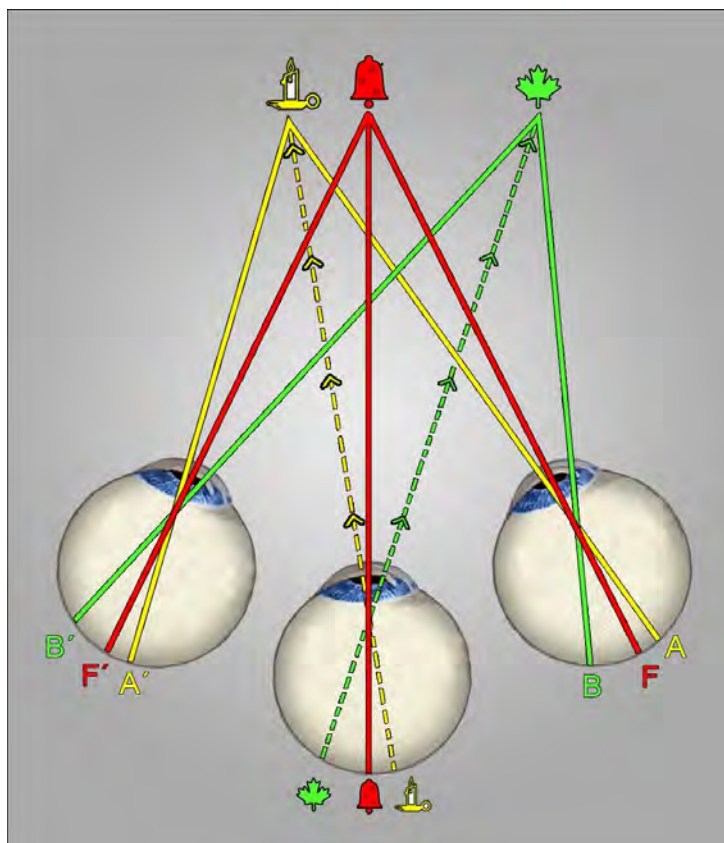


Figura 8. Puntos correspondientes o idénticos.

Cada punto de la retina de un ojo tiene en el otro un área que presenta la misma dirección visual oculocéntrica. Significa que la exteriorización o proyección al espacio de los estímulos recibidos en cada uno de ellos se realizan en idéntica dirección. Las fóveas son los puntos retinianos correspondientes por excelencia, cuya dirección visual oculocéntrica es la “recto adelante”.

FUSIÓN

El espíritu intuitivo de **René Descartes** en **1649** tuvo la genialidad de escribir: “... *todos los órganos de nuestros sentidos son dobles; y que, puesto que no tenemos más que un único pensamiento de una misma cosa al mismo tiempo, por fuerza ha de haber algún lugar donde las dos imágenes que vienen por los dos ojos, o las otras dos impresiones que vienen de un solo objeto por los dobles órganos de los otros sentidos se puedan juntar en una antes de llegar al alma, a fin de que*

no le representen dos objetos en lugar de uno” (Las Pasiones del Alma. Art.32). De esta manera, el francés nacido en La Haye (Turena francesa), excepcional matemático, físico, químico, astrónomo, psicólogo y Padre de la Filosofía Moderna, se había adelantado al tiempo al glosar la “*unidad sensorial visual*”.

En el año **1903**, **Claud Worth** en su libro “*Squint*” (pág. 12) dividió la visión binocular en tres grados. Forma especial de clasificación basada en respuestas que el paciente daba a tres tests que llevaba incorporado el amblioscopio de su

invención. Esta división fue aceptada en todo el mundo al tiempo que el sinoptóforo, derivado de aquél, se constituía en el aparato básico de estudio y tratamiento en los gabinetes de estrabología.

Habían pasado más de sesenta años y **René Hugonnier (1965)** seguía utilizando esta división, si bien con ciertas advertencias, pues como decía el profesor de Lyon, "... *era forma cómoda de expresarlo y universalmente utilizada*":

Primer grado de Worth: (Percepción simultánea).

Resultaba de sobreponer dos imágenes diferentes, pero presentando cierta relación. Por ejemplo, introducir un "soldado" en la "garita" o un "león" dentro de la "jaula".

Segundo grado de Worth: (Fusión).

Partiendo de dos imágenes iguales, con aportación en una y otra de algún particular detalle, hay que fusionarlas en una tercera imagen que lleva los motivos de distinción de cada una de las primeras por separado. Por ejemplo, el test del niño con un ramo de flores en la mano derecha, y en el otro el mismo niño pero con un martillo en la izquierda. Al fusionar ambas imágenes habrá de verse un único niño con el ramo de flores en una mano y el martillo en la otra.

Tras comprobar la existencia de **fusión**, se mide su amplitud en sentido divergente y convergente.

Tercer grado de Worth: (Estereopsis).

Este último estudio amblioscópico muestra al paciente dos imágenes iguales aunque un poco descentradas, cuya **fusión** permite, merced a esta disparidad, dar percepción de relieve.

Hoy no se sostiene la gradación o escalonamiento cuantitativo que hace años se dio a los *tres grados de visión binocular de Worth*, debido a lo siguiente:

a) Atribuir al fenómeno de *confusión*, por sí solo, categoría de *1º grado de visión binocular* es un despropósito. Trabajo puede costar a algunos heterofóricos aprobar el *2º grado de visión binocular (test de fusión)*, para pedirle que

pase el *test de percepción simultánea*, que en realidad es un test de *confusión*. Presentando al individuo dos imágenes distintas para que las fusione, nos conduce a una situación tan anormal que poco puede aportar para determinar su estado binocular. El estudio de percepción simultánea puede ser válido para determinar el ángulo de desviación o la existencia de neutralización, pero poco más.

b) Si **fusión** y *estereopsis* son facultades esenciales para que el acto visual binocular se lleve a cabo de modo adecuado, los trabajos de investigación han demostrado que ambas son funciones complementarias entre sí aunque distintas e independientes.

Fusión es un acto cerebral de integración y unificación (haplopía) de las dos imágenes captadas por ambas retinas y llegadas a los estratos superiores a través de la vía óptica. Es función puramente sensorial, por lo que está de más hablar de "*fusión sensorial*", aunque el uso obligue a hacerlo.

Es, como diría **William Nicati (1909)** en su libro "Fisiología ocular. Humana y comparada", pág. 562: "... *dos imágenes del mismo objeto, que, superponiéndose en el pensamiento, se ven simple*".

A través de los distintos movimientos de vergencia, con especial mención de esa vergencia final de retoque llamada *vergencia fusional*, íntimamente coordinados con movimientos conjugados de dirección (versiones), se ejerce de modo permanente y en constante actividad la binocularidad (*binocularidad dinámica*). Si este juego asociado "vergencia-versión" se perturba, será obstáculo insuperable para conseguir las funciones de **fusión** y estereopsis.

Así pues, a la **fusión** se llega por el camino de respuestas motoras de vergencia, colaborando con ellas el resto de los movimientos oculares (sacádicos, vestibulo-oculares y optocinéticos), destinados a situar las direcciones visuales principales en posición correcta para percibir en haplopía. Este componente motor que busca posicionar los ojos en bi-fovealización, **Burian** lo llamó *fusión motora*, aunque esta posición idónea para el objetivo que se pretende es previa al verdadero acto posterior de **fusión**. Una vez que

las fóveas se disponen adecuadamente frente al objeto, interviene la sensorialidad (*fusión sensorial*), que es la única y auténtica **fusión** para conseguir visión binocular única.

Para que puedan fusionarse ambas sensaciones luminosas es preciso:

a) Que las imágenes recibidas por ambos ojos sean muy parecidas en forma, tamaño, color, luminosidad y contraste. Para ello, se precisa normalidad anatómico-fisiológica de los dos globos y escasa disparidad en el valor dióptrico de ambos, evitando que haya anisometropía importante. Es preciso, pues, similitud de nitidez de ambas imágenes.

Me gustaría puntualizar, cierto es, que dos imágenes distintas no pueden fusionarse para poder ser vistas en haplopía, pero determinados objetos, por su compatibilidad, pueden acoplarse armónicamente y ser vistos simultáneamente sin que intervenga la neutralización total. Por ejemplo, la clásica presentación sinoptofórica del soldado en un ojo y la garita en el otro. Aquí entraría en juego sólo neutralización parcial, exclusivamente foveolar, del ojo que recibe el estímulo de la garita. Sería el primer grado de visión binocular que enunció **Worth (1903)**.

b) Que exista campo visual binocular (120° en el hombre), producto de la superposición de ambos campos monoculares, y representación en cada hemisferio de las dos retinas.

c) Que el sistema efector de la motilidad ocular esté dotado de suficiente salud, para que, mediante armonioso movimiento sacádico-vergencial, los ojos puedan responder al estímulo que ha motivado su atención o intención de verlo.

d) Que el resultado final sea la incidencia de las imágenes sobre puntos retinianos idénticos o correspondientes (*correspondencia retiniana normal*).

Manteniendo estos principios, con todo el valor que merece el concepto de binocularidad perfecta, existe cierta tolerancia en la estimación de estos parámetros. Podemos encontrar **fusión**

en personas que presentan alguna disparidad anatómica, en anisométropes (hasta de 6 dioptrías), en aniseiconias, en anisocampos visuales, en microtropías con correspondencia retiniana anómala, y en pacientes con sistema motor defectuoso (heteroforias).

Decíamos antes que para poder fusionar dos sensaciones luminosas es preciso que las imágenes recibidas por las retinas de ambos ojos sean muy parecidas. En el supuesto de que aquellas difieran demasiado, sin posibilidad inductora de aportar sensación de “unidad mental”, dará lugar al fenómeno conocido en óptica fisiológica como *rivalidad* o *antagonismo* retiniano, descrito por **Helmholtz (1867)** con la denominación de *antagonismo* o *lucha de los campos visuales*.

Cuando dos estímulos entran en competencia binocular, la *rivalidad* que se establece desencadena una batalla de los dos campos visuales, de la que emerge el proceso de *confusión*, que conduce a una mezcla perceptiva de: “predominio” y “neutralización” (este último fenómeno, conocido desde **Emile Javal** en **1896**). Está demostrado que la neutralización fisiológica por *rivalidad* retiniana obedece a mecanismos neuronales superiores, distintos a los que encontramos en neutralización estrábica. En el acto binocular, si nos ceñimos al aspecto fisiológico: “o existe *fusión* o existe *neutralización*”. La visión binocular puede considerarse como acto complejo en el que se funden o rechazan estímulos visuales. El rechazo para el que fuera Director del Laboratorio de Oftalmoscopia de la Sorbonne es tanto más fuerte cuanto más semejantes son las imágenes distintas.

El fenómeno más elemental y simple de *antagonismo de campos visuales* tiene lugar cuando un ojo fija un objeto definido y el otro tiene ante sí un campo visual homogéneo en toda su amplitud, en cuyo caso la percepción final es la imagen mirada por el primero y nada más. Por ejemplo, esto ocurre al fijar con un ojo un determinado objeto, anteponiendo al otro, a pequeña distancia, la palma de la mano. Y es que en esta rivalidad (objeto-superficie homogénea), el triunfo del ojo que mira el objeto distal, a través de un proceso mental es exteriorizado por la

fóvea del otro “*atravesando cuerpos opacos*”, como diría **André Louis Cantonnet (1917)**, merced a la identidad proyectiva de ambas fóveas superpuestas en el *ojo doble* de Hering. A este respecto es muy ilustrativa la experiencia de **Cantonnet** (Figura 9): Mirando un objeto lejano (por ejemplo con el ojo derecho) por un tubo de 30 cm de largo, y anteponiendo verticalmente delante del otro ojo la palma de la mano izquierda, con el borde cubital pegado al tubo, hay la percepción final de ver el objeto fijado por el ojo derecho a través de un agujero que perfora la mano izquierda. **Yves Le Grand (1959)** refiere de este experimento: “... es la prueba de que la *neutralización afecta en cada imagen las partes menos interesantes y no a la totalidad de una de las imágenes*”.

También, si ocluimos totalmente un ojo, no percibiremos más que la imagen observada por el otro, neutralizándose la obscuridad del ojo ocluido, que no se mezcla con el objeto visualizado. Otra percepción a exponer es la de los crecientes temporales de cada ojo, rivalizando su

visión con “*nada*”, aunque dicho con rigor esto no sería antagonismo, porque no habría “*nada*” con lo que batallar, y la lucha sería con un campo “*vacío*”.

Otra consideración en *rivalidad binocular* merece la superposición no de formas sino de brillos y colores. Se conoce como *lustre estereoscópico* (**Dove, 1850**) y *rivalidad por color* respectivamente. Véase la experiencia de mostrar a cada ojo un test con diferente luminancia. Por ejemplo: un cuadrado negro ante el ojo derecho y blanco ante el ojo izquierdo. El resultado final no es, en razón de *rivalidad*, la *neutralización*, sino la *compensación*, cuya consecuencia final percibida es una superficie uniforme de color gris.

No debemos pasar por alto a **Claudio Ptolomeo (85-165)**, astrólogo, matemático, óptico, y primer autor en analizar el antagonismo de la visión comprobando que la combinación de dos colores diferentes, sentidos por uno y otro ojo, da como resultado visual un tercer color diferente a los de la mezcla.



Figura 9. Experiencia del “agujero en la mano” de André Louis Cantonnet (1917).

Mirando con el ojo derecho, a través de un tubo de cartón de 25-30 cm el cuadro que hay delante, y manteniendo la palma de la mano izquierda vertical con su borde cubital en contacto con el canuto en la posición que se ve en la fotografía, se tiene la percepción de ver el objeto fijado (en este caso la cara del Conde de Orgaz) a través de un agujero que perfora la mano.

Más complicado es el antagonismo de las formas. Cuando cada ojo percibe una imagen distinta, la *neutralización* puede referirse a la

imagen completa de uno de los dos ojos. Bien siempre la misma, o de forma irregularmente alternada, de modo que una de ellas es

remplazada en el tiempo por la otra. Esta *neutralización* completa ocurre, sobre todo, cuando se trata de imágenes dispares de pequeño tamaño.

Otras veces, se perciben partes o fragmentos de la imagen de cada uno de los dos ojos, con mezcla irregular de ambos. Así ocurre con los “estereogramas de líneas diagonales delgadas de Panum”, con rejillas de orientación ortogonal, de manera que el resultado final es la dominancia en *mosaico con parches* de cada una de ellos, entremezclados y cambiantes de modo alterno, de tal forma que partes de la imagen del uno se disipa dando paso a las del otro (Figura 10). Al estudiar esta sensación **Helmholtz** subraya la

influencia que tiene la *atención* para la percepción y prevalencia de unos u otros elementos, hecho que no fue compartido por **Gustav Theodor Fechner**. Este experimento llevó a **Helmholtz (1866)** a la conclusión de que “... *el contenido de cada campo visual llega a nuestra conciencia sin estar unido al del otro por una disposición orgánica, y que, en consecuencia, la fusión de los dos campos visuales en una imagen común, en tanto se produce, es un acto psíquico*”. Las percepciones quedarían elaboradas de forma aislada por cada ojo, pero solo la mente sería capaz de combinarlas, con resultado de **fusión** si no son muy dispares, o entrando en *rivalidad*. En esta lucha, el triunfo de un ojo implica la neutralización del otro.

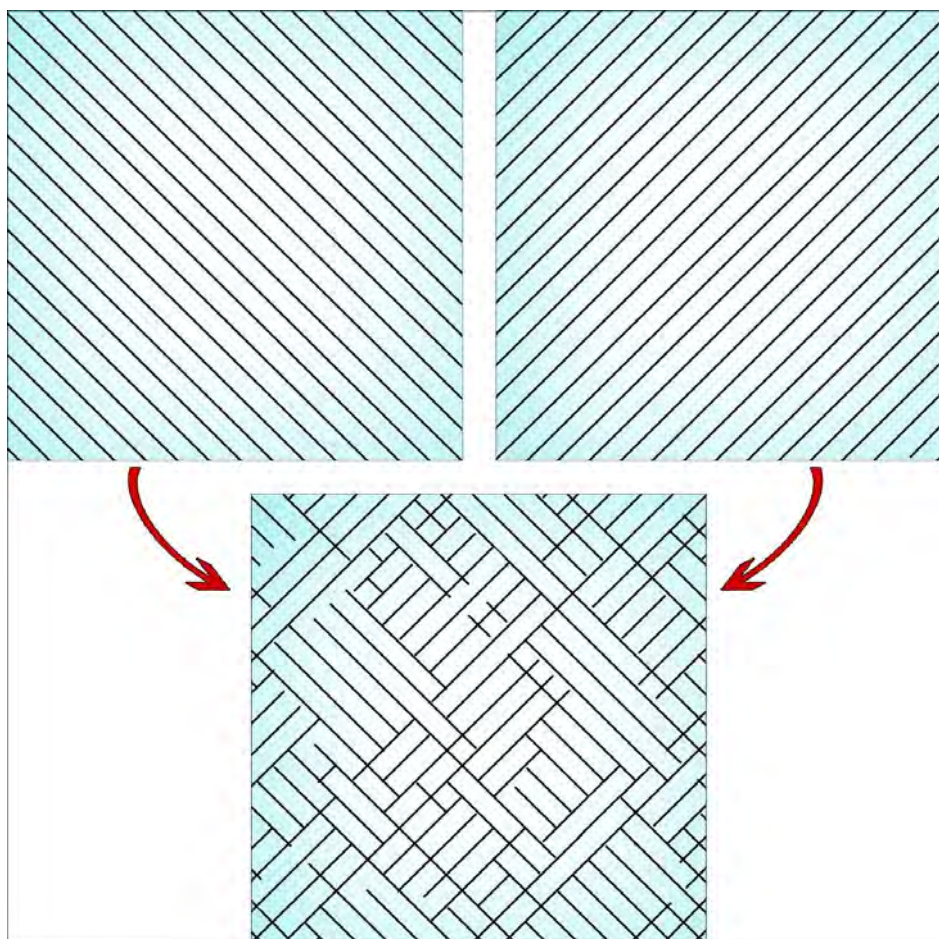


Figura 10. Rivalidad binocular con dominancia en “mosaico con parches”.

Estereograma de líneas diagonales delgadas de Panum. Viendo un test con cada ojo, el resultado final es un mosaico con parches entremezclados y cambiantes de modo alterno, de forma que, por momentos, partes de la imagen de uno se disipa dando paso a las del otro.

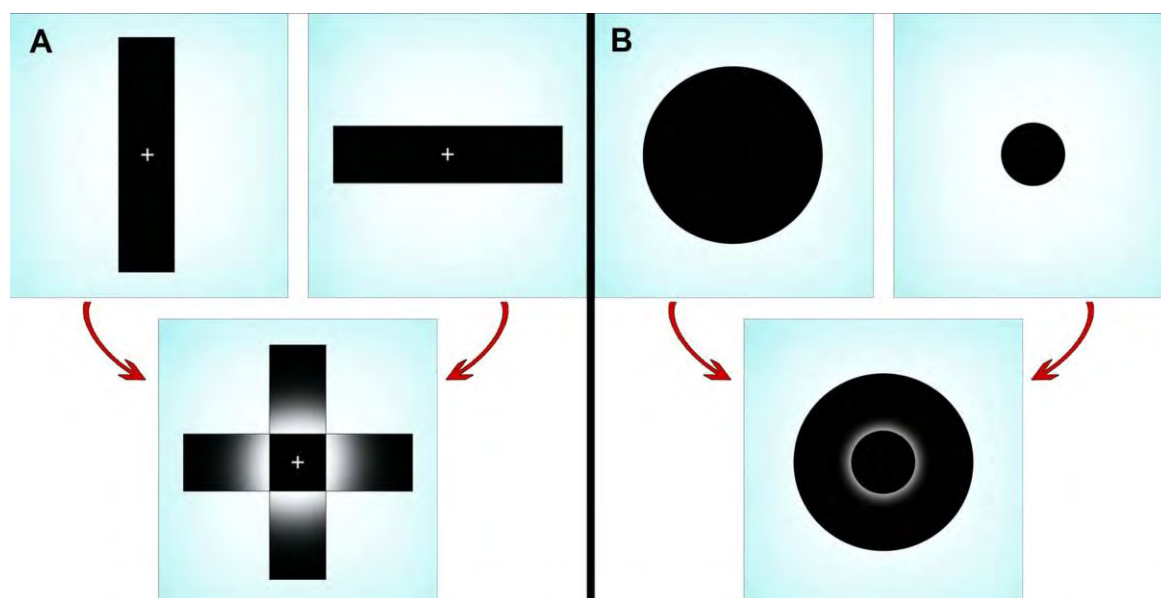


Figura 11. Rivalidad binocular con "fenómeno supresivo de contornos".

Son dos ejemplos de rivalidad binocular, donde se aprecia que el fondo del campo domina en los límites del contorno.

A) Presentamos sobre fondo blanco uniforme una barra negra vertical a un ojo, y otra horizontal, e igualmente negra, al congénere. El resultado es un cuadrado negro en el centro de ambas ramas negras, delimitado por un ribete blanquecino de neutralización, en razón de que el contorno es un dato excitante que hace que domine el fondo blanco del campo. Los extremos de la cruz se ven igual de negros que en el centro.

B) Es otro ejemplo representativo del mismo fenómeno en rivalidad binocular. Aquí el círculo pequeño negro está reflejado en el centro del círculo mayor, si bien el primero está delimitado por un ligero ribete blanco, correspondiente al fondo en el que está ubicado.

El fenómeno de neutralización alternante, que se encuentra en el *antagonismo retiniano* descrito por **Helmholtz**, se extiende hasta los centros subcorticales. Este hecho fue demostrado por **Robert Barany (1948)** al comprobar ausencia de reflejo fotomotor en el ojo que neutraliza.

En *rivalidad binocular* es interesante el *fenómeno supresivo de contornos (Panum, 1858)*, en el que el fondo del campo domina cerca del contorno. Se puede comprobar con otro estereograma de **Panum**: Sobre fondo blanco uniforme se presenta una barra negra vertical a un ojo, y otra horizontal e igualmente negra al congénere, determinando un cuadrado negro en el centro de ambas ramas negras delimitado por un ribete blanquecino de neutralización, en razón de que el contorno es un dato excitante que hace que domine el fondo blanco del campo. Sin embargo, los extremos de la cruz se aprecian casi

tan negros como el centro a pesar de tener que fundirse, a este nivel, dicho extremo visto por un ojo con el fondo blanco del campo visto por el otro. (Figura 11). **Peter Ludvig Panum (1858)** lo explica diciendo: "... que los contornos representan por sí mismos un mayor valor excitante para la atención visual".

También puede haber *antagonismo retiniano* y que la *neutralización* incida sobre determinados aspectos de cada una de las dos imágenes, de manera que la imagen definitiva vista por el sujeto sea consecuencia psicológica de la percepción lógica fundamentada en la educación y experiencia. Esto es lo que obtenemos al mirar las figuras estereoscópicas de **Emilio Díaz Caneja (1928)**. (Figura 12)

En esta figura se aprecian dos dibujos. A presentar, el de la derecha al ojo derecho y el de

la izquierda al ojo izquierdo. Son dos campos circulares divididos verticalmente por su diámetro central en dos mitades, de tal forma que las dos externas de cada uno de los círculos están constituidas por líneas gruesas rojas, paralelas, extendidas horizontalmente, y las dos mitades internas presentan hemicírculos concéntricos de color azul. Ambos círculos están delimitados por otro círculo blanco fino e idéntico en ambos dibujos. También, los dos círculos presentan dos líneas negras que se cruzan en aspa por su centro, formando una cruz de San Andrés. Tanto estas dos líneas finas negras como el círculo blanco de periferia son artilugios colocados para estimular la binocularidad mediante **fusión** binocular de estos elementos comunes.

La **fusión** de ambos tests debería aportar la imagen de círculos azules, en los que se entrecruzarían rayas rojas horizontales. Sin embargo, el resultado final que se observa es alternancia visual, bien de círculos azules completos o de líneas rojas, igualmente completas, que según prestemos atención a cualquiera de los dos dibujos dará lugar a la percepción de uno u otro.

Si consideramos el hemisferio, al que en razón de la decusación quiasmática recibe los hemidibujos correspondientes, sabemos que cada uno de ellos recibirá dos mitades incongruentes, constituidas por medios círculos azules y medias rayas rojas. Por ejemplo: mirando de frente las imágenes con cada uno de nuestros ojos, tal y como están colocadas en el dibujo adjunto, al hemisferio izquierdo le llegarán de forma directa el hemicírculo azul del círculo izquierdo, que está estimulando la retina temporal del ojo izquierdo, y, también, las rayas horizontales rojas del círculo derecho, que lo harán de forma decusada al estimular la retina nasal del ojo derecho. De la misma manera, al hemisferio derecho le llegará de forma directa el hemicírculo azul del círculo derecho que incide sobre la retina temporal del ojo derecho y, a su vez, las rayas horizontales rojas del círculo izquierdo, que al caer sobre la retina nasal del ojo izquierdo también lo harán tras decusarse en el quiasma.

Sin embargo, el resultado perceptivo visual que conseguimos no es la imagen

parcheada, sino una *imagen completa*, bien de círculos azules o de rayas rojas, sin que se produzca esa rígida alternancia visual de los ojos o de los hemisferios, dando perfecta cuenta de la existencia de conexión interhemisférica con consecuencias añadidas de adición y neutralización, donde, como escribiera **Pieron**, el resultado final sería: “... *una síntesis de recuerdos sensoriales*”, en el que tendría mayor importancia, como diría **Emilio Díaz Caneja**, la “*analogía del estímulo*”. Aquí, la alternancia no puede reducirse a un proceso simple y corriente de excitación y neutralización, sino que habrían que considerar elementos sensoriales mucho más elevados haciendo infinitamente más complejo el perfecto antagonismo retiniano, como pensó el genial **Bose**, y donde la mente, como “*agente activo de síntesis*”, según **Sherrington**, cerraría el proceso.

En el sentir de **François Jacob (2005)**: “... *es exigencia de la mente humana tener una representación unificada y coherente del mundo. Cuando esta falta, aparecen la ansiedad y la esquizofrenia*”. (“El juego de lo posible” pág. 27).

Años más tarde, el insigne oftalmólogo palentino comprobó con nuevos dibujos en los que introducía elementos verticales en los campos (Figura 13), que obligaban a cuádruples divisiones de las figuras, o como él decía “*descuartizada*”, y que concluían con el mismo resultado. Tal es: la *alternancia visual* no sería mero cambio sucesivo de imágenes recibidas, sino auténtica *alternancia de función*. Esto justificaba aquella reflexión que hiciera **Jean Lhermitte (1942)** al recordar lo demostrado por **Sachs**: “*la percepción de la forma es un acto mucho más complejo que la sola visión*”.

Y es que la actividad psíquica, en virtud de la cual transformamos la sensación en percepción exteriorizándola, presenta un gran parecido con las “*conclusiones lógicas*” o “*fenómenos lógicos*” de **Wundt**, conocidos como “juicios por inducción”, sobre la que la experiencia tiene un destacado influjo, sin que podamos conocer en el momento actual su verdadero alcance.

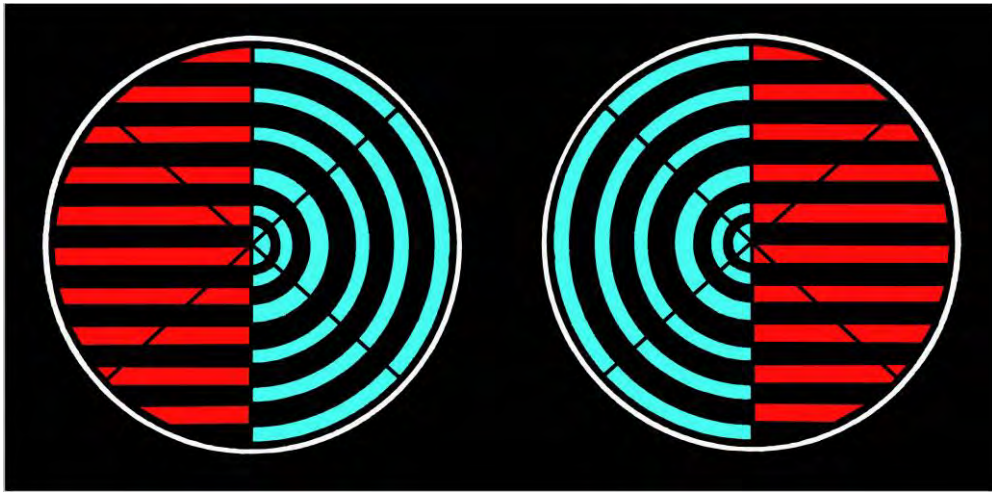


Figura 12. Figura estereoscópica de Emilio Díaz Caneja. Explicación en el texto.

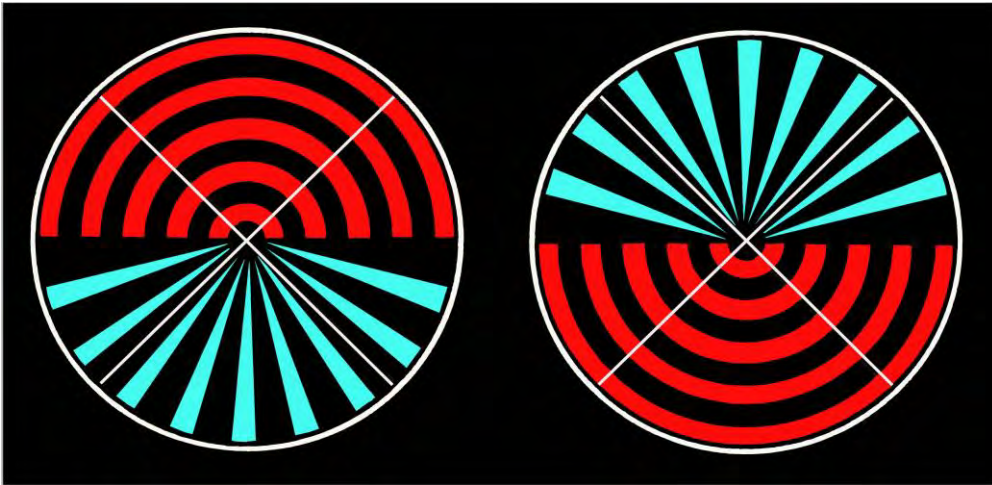


Figura 13. Figura estereoscópica de Emilio Díaz Caneja. Explicación en el texto.

De esta manera, **Díaz Caneja** demostró que en la corteza estriada, al menos en la doble capa granulosa separada por la *línea de Gennari*, no radica la representación iconográfica de la imagen retiniana, dejando sin valor y desmoronando lo que **Salomon E. Henschen (1892)** en su día definió con el nombre de "*retina cortical*", para expresar que a nivel de la corteza estriada habría fiel representación del receptor retiniano, reproductor de la imagen recibida por

él. O sea, que el acto visual no es la reproducción de la imagen retiniana en el córtex cerebral "punto a punto" en el mero sentido de "*concepción geométrica de la percepción*". Es a nivel más profundo donde se localizaría lo que yo llamo "*corteza ciclópica*", que es donde las células binoculares, que descubrieran los ganadores del Nobel del año 1981, llevarían a cabo la superposición de las dos retinas con resultado sensorial de **fusión**.

Hugh Davson (1950) considera al *antagonismo retiniano* y su consecuencia, la supresión alternante de los campos, el resultado del intento del hombre por encontrar en la conciencia algo que pueda entender. Y es que, desde el nacimiento, en el mundo que conocemos, se ha ido edificando de acuerdo a datos y aportaciones sensoriales (táctiles, auditivos, visuales etc), de cuya experiencia queda huella psicológica subjetiva que va a permanecer indefinidamente en el intelecto, de tal modo que en ocasiones la percepción final sentida tiene más parecido a la sensación “revivida” que al estímulo real evocador. De manera que debemos decir: todas las percepciones visuales son consecuencia final de la actividad psíquica. La imagen sentida en el aparato visual, llegada a él a través de principios y leyes ópticas, es completada por el cerebro sobrepasándola en el acto perceptivo final, en que la experiencia vivida y los recuerdos archivados en la mente aportan el “*toque*” definitivo.

A partir de aquí, podemos adentrarnos en el apartado de la percepción de las formas y de las ilusiones ópticas. Me refiero, muy concretamente, al hecho que explicaba el profesor **Díaz Caneja (1928)** diciendo que la percepción definitiva que el individuo ve es consecuencia de una imagen lógica basada en experiencia y educación. A través de la experiencia llegamos a conclusiones instintivas. Y es que el mundo irreal que percibimos, ficticio y profundamente subjetivo, traducido en proyección externa, se ajusta a leyes íntimas de la mente, netamente divorciadas de las leyes físicas. Porque, de forma opuesta a los estímulos recibidos por las retinas, la percepción está plenamente estructurada, organizando su forma en conjuntos lógicos. Por supuesto, guardando relación armónica proporcionada a aquellas. Como dijo **Helmholtz (1867)**: “... *la construcción perceptiva del mundo de las formas fue reducida a una simple asociación de sensaciones visuales cimentadas por el hábito y la memoria*”.

Por ejemplo: conocemos la existencia de la *ley de la constancia de la forma*, mediante la

cual identificamos los objetos con su forma habitual, independiente de la deformación que tenga al incidir sobre el receptor visual. Este hecho se basa en la *experiencia*, de acuerdo, posiblemente, a una programación genéticamente determinada, que el niño utiliza en los primeros años de vida practicando en su mundo, permitiéndole reconocer lo que es familiar y separándolo de lo nuevo. Un cartón redondo que miramos oblicuamente, lo seguimos viendo redondo aunque la sensación recibida es oval. **David Katz (1945)** nos advierte en su libro (*Psicología de la forma*, pág. 14): “... *si la forma de las cosas se modificara continuamente al cambiar la inclinación de la línea de mirada, que es lo que ocurre con las imágenes proyectadas en la retina, no viviríamos el mundo de las formas en orden, sino caóticamente. De que esto suceda así nos preserva felizmente la ilusión que sufrimos respecto de la verdadera forma de la imagen de la retina*”.

La ilusión óptica de las formas también la percibimos consumando cerebralmente la información inconclusa recibida (Figura 14-A), o las interpretamos en aquellos casos que se presentan ambiguas (lo que los ojos no ve, el cerebro lo completa). De tal manera, que determinada forma física el individuo puede percibirla de varias formas distintas (*ley de la variabilidad*). Esto ocurre al mirar el *cuadro de Necker*, en el que la misma figura puede prestarse a doble interpretación según el punto de vista imaginativo que el observador adopte, de manera que según la incidencia en que fije la vista puede ver anterior una u otra cara (Figura 14-B).

En este apartado no puedo evitar referir la *ley de la constancia del tamaño*. Ateniéndonos a las leyes de la óptica geométrica, tanto más alejado está un objeto, tanto más pequeña es su imagen retiniana. Si el mismo disco redondo, antes mencionado, lo alejamos y acercamos, seguimos viéndolo de igual tamaño, a pesar de la importante variación habida en la imagen retiniana.

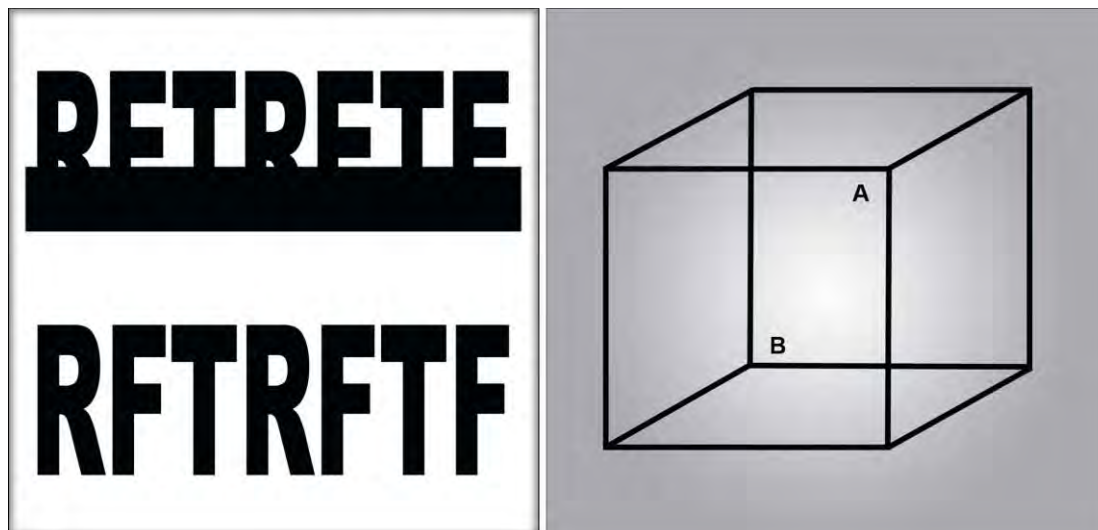


Figura 14. Ilusiones ópticas.

A) **Ilusión óptica.** El individuo completa cerebralmente la información recibida. Tapando la mitad inferior la experiencia le lleva a leer lo que no está escrito.

B) **Cubo de Necker.** Corresponde a la ley de la variabilidad. Según la imaginación de la persona que lo mira, puede ver anterior una u otra cara.

Así mismo, citamos la ley de la constancia cromática: el color de los objetos conocidos los percibimos con un determinado matiz a pesar de las variaciones habidas consecuencia de la iluminación ambiente.

Por último, hemos de comentar la ley de la constancia del movimiento. Si procedemos a mirar un objeto moviéndose a velocidad uniforme, contemplándolo a diferentes distancias, lo percibimos de la misma intensidad, aunque a nivel retiniano la velocidad varía de modo notable.

Es importante diferenciar *fusión central* y *fusión periférica*.

Nadie duda de la responsabilidad de las fóveas en el proceso de **fusión**. Por otra parte, es evidente que el área perifoveal es capaz de fusionar. Basta colocar a un heterofórico la punta del dedo índice ante un ojo para disociar su área central del área central del otro ojo y comprobar que esta disociación no desencadena el movimiento fórico lento que provoca la oclusión total, debido a que hay un resto excéntrico de retina del ojo ocluido que sigue fusionando con la correspondiente excentricidad del ojo descubierto

Ahora bien, la pregunta que hemos de hacernos es: para fusionar ¿cuántos grados de retina excéntrica sana es preciso disponer en cada ojo?.

Si un heterofórico fijando bi-ocularmente un estímulo pequeño a 1 m antepone a un ojo, axialmente al mismo, el extremo de su dedo índice a 20 cm, de tal modo que le oculte, se comprueba objetivamente mediante VOG que esta maniobra no actúa como agente disociante, no apareciendo desplazamiento fórico alguno. Pero si el dedo lo va acercando poco a poco a su ojo llega un momento en el que aparece la foria. Esto significa que se ha ocultado suficiente zona excéntrica perifoveal para disociar ambos ojos provocando la inducción del movimiento reflejo de **fusión**. Esta área puede ser medible.

Se debe puntualizar tres hechos:

1. La *fusión periférica* puede existir sin *fusión central*. Por ejemplo, podemos fusionar cuando la persona presenta un escotoma de neutralización central, bien de naturaleza funcional (estrabismo) u orgánica (maculopatía). La *fusión periférica*, por sí misma y aisladamente, permite mantener el

equilibrio óculo-motor sin que, incluso, se desencadene una heteroforia preexistente.

2. La *fusión central*, sin embargo, no puede funcionar sin *fusión periférica*.

3. La *fusión periférica* se asocia a ambos componentes: motor y sensorial. La *fusión central* es sólo sensorial.

Ambos tipos de **fusión** se identifican con mecanismos diferentes y responden a finalidad distinta.

Al conceptualizar la **fusión**, sobreentendemos implícitamente un mecanismo sensorial (*fusión sensorial*), que tiene como finalidad unificar dos sensaciones en el cerebro en un proceso de integración psíquica de dos imágenes percibidas al mismo tiempo por cada uno de los ojos. Este acto de unificación actúa sobre la información recibida en el área foveal y periférica.

Ahora bien, para que esto se lleve a cabo, es preciso que de manera voluntaria o como respuesta refleja ante la disparidad retiniana que supera los límites del área de Panum, se produzca un movimiento coordinado de los ojos buscando la coincidencia foveal o bi-fovealización sobre el objeto deseado (*reflejo motor de fusión, fase motora de fusión de Perea o fusión motora de Burian*). Se trata de un movimiento mixto de versión y de vergencia, cuyo fin es acoplar las dos imágenes. Esta *fase motora de fusión*, previa al auténtico acto de *fusión*, es función exclusiva de la retina extrafoveal. Seguidamente, la corteza cerebral se encarga de completar el acto con resultado final de fusión con sentimiento de profundidad y relieve (estereopsis). En fisiología, la gran protagonista siempre es la bi-fovealización, que precisa unir los dos ojos en el aspecto motor, sensorial y propioceptivo-postural. Los reflejos a los que nos estamos refiriendo, llamados *reflejos optomotores*, según van evolucionando las especies han ido sustituyendo a los primitivos *reflejos posturales*, única forma de visión en los grupos filogénicamente más primarios.

Para que la **fusión** se lleve a cabo, es preciso que los ojos en los momentos de vigilia, de manera constante e ininterrumpida, se encuentren ejecutando movimientos adecuados de versión y de vergencia, con todo el conjunto de

ajustes optomotores (reflejo motor) hacia el estímulo que ha de impresionar ambas retinas. Este estímulo, a través de la vía óptica, es conducido al cerebro, permaneciendo las aferencias procedentes de cada ojo separadas, tanto a nivel de la estación talámica (*cuerno geniculado lateral*) como en la capa de entrada de la corteza occipital (*capa IV*). Es más allá de ésta (en la *capa V* del área estriada) donde se encuentran las *células binoculares de Hubel y Wiesel*, encargadas de fundir ambas sensaciones monoculares, que han impresionado puntos retinianos correspondientes (*fusión sensorial*). Ahora bien, la capacidad de **fusión** de estas *células binoculares* es muy débil en los primeros meses de vida, siendo necesario para su maduración que la actividad inervacional procedente de ambos ojos sea proporcional y sinérgica, de tal modo que la presencia de un desequilibrio motor (estrabismo) en esta época tendrá como resultado la pérdida de la conexión binocular. Estamos ante la *teoría de la fusión* de las dos sensaciones recibidas por nuestro binóculo a nivel de la corteza visual, demostrada por **David Hubel y Torsten Wiesel** en **1965**. Este hecho, dijimos antes, fue sostenido por **Helmholtz** sin constatación anatómica, basándose solo en datos experimentales. El genial médico y físico alemán creyó que la imagen recibida por cada ojo mantiene su individualidad hasta su llegada al cerebro, donde tiene lugar la **fusión** de ambas en acto psíquico. Como dice **Parinaud (1899)**, “... el relieve estereoscópico es consecuencia y prueba de la individualidad que las impresiones conservan en la sensación resultante”.

Este punto contrasta con la *teoría de la neutralización*, defendida por muchos autores, como **Bose (1926)**, **Verhoeff (1935)**, **Neuhaus (1936)**, **Walls (1948)**, y que arranca con **Porta (1593)**. Según ésta, las imágenes que recaen sobre cada ojo estarían luchando y rivalizando entre sí de modo alternante, de forma que, en cada momento, solo percibiríamos una de ellas. Como diría el fisiólogo indio, **Sir Jagadish Chandra Bose**: “... la visión se llevaría a cabo, por uno u otro ojo, en fases alternas, correspondiendo la actividad del ojo que ve con la fase negativa del otro”. Existiría *alternancia bi-ocular*, en la que en la fase activa de visión de un ojo se estaría produciendo, al mismo tiempo, una fase de neutralización del otro.

A nuestro juicio, ambas, *teoría de la fusión* y *teoría de la neutralización*, pueden ser válidas. La primera para desarrollar el proceso de **fusión** y la segunda para desplegar el de *estereopsis*, como después analizaremos.

HORÓPTERO

En fisiología, cuando se fija determinado objeto todo el conjunto espacial queda organizado en torno a él, percibiendo en visión doble los objetos situados delante y detrás de aquél. Los primeros en diplopía cruzada y los segundos en diplopía homónima.

Al investigar lo que ocurría en la zona, el jesuita belga, de origen español, **François D'Aguilon (1613)**, comprobó que una serie de puntos del espacio situados en determinada *superficie imaginaria* eran vistos simples. A este artificio o pantalla figurada por la mente lo llamó "*horóptero*" ("Opticorum, libri VI).

Supuso que el *horóptero* era una superficie no existente, solo "*imaginable y concebida por la mente*", plana frontal (*velut translucidum interseptum*), pasando por el punto de fijación, el cual, como barrera translúcida ubicada en el espacio, contendría los puntos que, en determinado momento, fueran vistos simples. El *horóptero* sería, en la más pura ortodoxia, solamente "*mental*" engendrado por el "ánimo".

Quiere decir, que cuando fijamos bifovealmente determinado objeto, en ese momento existen en el espacio otros objetos que están estimulando *puntos correspondientes* de nuestro binóculo. Por esta razón no son vistos en diplopía, sino en haplopía o simples. Pues bien, el conjunto de puntos del espacio cuyas imágenes están incidiendo al mismo tiempo sobre *puntos retinianos correspondientes* forma lo que **François D'Aguilon** denominó "*horóptero*".

Fue lastimoso que el insigne jesuita quedase estancado en su investigación. Si la hubiera continuado, prolongando desde su línea imaginaria hasta los ojos los puntos vistos en haplopía, hubiera llegado a concebir la *correspondencia retiniana*. Pero esto hubiera sido muy difícil, dado el desconocimiento fisiológico del momento pues **Aguilonius** creía que la

percepción visual no era función de la retina sino del cristalino.

Vieth (1818) y **Müller (1826)** determinaron los puntos del espacio percibidos en visión binocular simple por estar estimulando zonas correspondientes. La conclusión a sus trabajos fue: Todos los puntos que estuvieran situados sobre una circunferencia horizontal imaginaria, pasando por el punto de fijación y los centros ópticos (puntos nodales) de ambos ojos, tendrían la facultad de excitar *puntos correspondientes*. Es decir, puntos que presentan en visión monocular la misma *dirección visual de Hering* o *signo local de Lotze*, y en visión binocular la facultad de visión única (haplopía) y no doble.

Este *horóptero* con forma geométrica de círculo imaginario pasó a llamarse *círculo de Vieth-Müller* u *horóptero geométrico* (Figura 15). A la función haplopica que dimana de la *identidad retiniana* estos científicos dieron formulación matemática, y bajo este aspecto se consideró en el mundo científico de aquella época.

La inexactitud del *círculo de Vieth-Müller* se demostraría más tarde. No tenía en cuenta determinados parámetros. Las investigaciones de **Helmholtz**, **Hillebrand** y **Hering**, con trabajos matemáticos de mayor complicación, dieron la respuesta comprobando que el *horóptero* se identifica como una línea cuya configuración es variable según la distancia a la que se encuentre el objeto fijado. Así, la línea es recta cuando el punto de fijación está a dos metros; convexa si el punto fijado es superior a dos metros, y cóncava si se encuentra a menos de dos metros, y con menor curvatura que el *círculo de Vieth-Müller*. De este modo, el *horóptero* sería algo "dinámico", modificando constantemente su forma según la distancia del punto fijado. Teóricamente, los objetos situados por delante y por detrás del *horóptero* serían vistos dobles (diplopía fisiológica). En diplopía cruzada los que se encuentran por delante, y en diplopía homónima los ubicados detrás.

Comprobado que este concepto no era rigurosamente cierto, y que estaba lleno de contradicciones, llevó a **Félix Giraud-Teulon (1861)** a decir que todo esto no era más que razonamientos matemáticos sin relación alguna con la fisiología. ("*Vision binoculaire*", pág. 164).

Es cierto que en el *horóptero*, al no existir en la retina verdaderos puntos geométricos con individualidad funcional sino áreas con desigual sensibilidad, tanto menor cuanto más nos alejamos del área central, no es posible una construcción rígida matemática. Y es que, a la *identidad geométrica retiniana* se opone lo que puede llamarse *identidad fisiológica retiniana*, que permite a la sensorialidad, como función cerebral, cierto margen de maniobra o elasticidad

para realizar su cometido. Fueron **Charles Wheatstone (1838)** y posteriormente **Peter Ludvig Panum (1858)**, quienes refutaron la idea del *horóptero* al demostrar los *espacios* y las *áreas de fusión* que llevan el nombre de este último autor. Por ello, el *horóptero* perdió su importancia práctica, pero, al menos, como concepto, entendimiento, y consideración del problema, desde el punto de vista filosófico merece la pena conocerse.



Gerhard Vieth
1763-1836

Johannes Müller
1801-1858

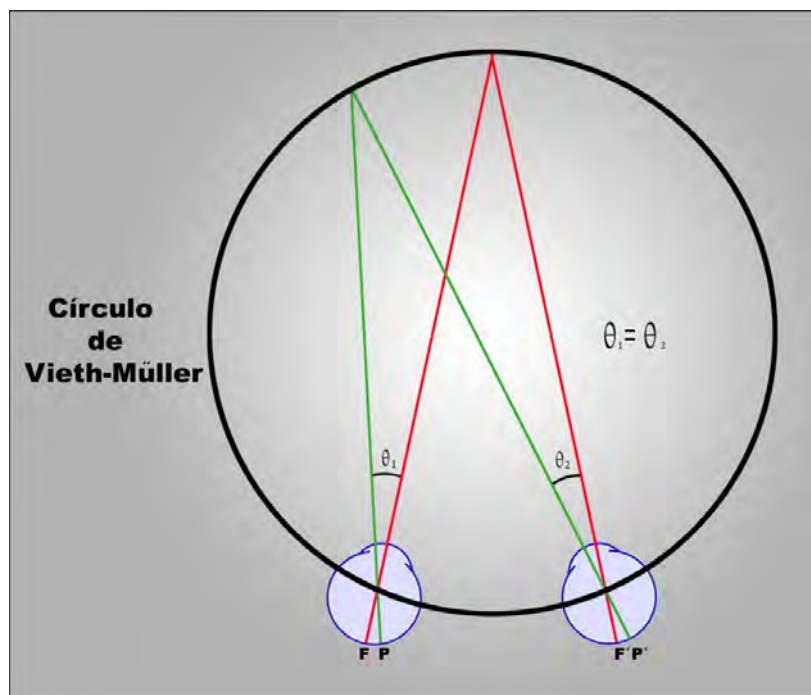


Figura 15. Círculo horóptero de Vieth-Müller.

ÁREA DE FUSIÓN DE PANUM

Sir Charles Wheatstone, en 1838, manifestó que el estímulo de dos puntos dispares (no-correspondientes) podía, en determinadas circunstancias, producir sensación única, poniendo en discusión y haciendo tambalear la *teoría de los puntos correspondientes* de Johannes Müller (1826), "*privilegio universal de los puntos idénticos*", que se verían desposeídos de tan importante prerrogativa. Fue, así mismo, el primer autor en constatar que la incidencia de imágenes retinianas no rigurosamente iguales, sería el factor fundamental para aportar sentido de profundidad y sensación de relieve a nuestros ojos. A la *identidad geométrica* con superposición de los dos horópteros, manteniendo sus límites estrictos, se oponía a partir de este momento la *identidad fisiológica*, que permitía cierto margen de elasticidad siendo el cerebro el único órgano que podría permitirse tal tipo de licencia.

Peter Ludvig Panum, en 1858, completó la experiencia de Wheatstone, demostrando que la visión binocular simple no se halla circunscrita a la línea geométrica rígida conocida en fisiología con el nombre de *horóptero*, sino que corresponde a un área ampliada sagitalmente por delante y por detrás de la misma. Desde entonces esta zona, expresada en minutos de arco, se la conoce con el nombre de *espacio de fusión de Panum*. Es estrecho en el ámbito de la fovea (10 a 20 minutos de arco), y se va agrandando a medida que se aleja del centro (1 a 2 minutos de arco por cada grado de excentricidad), para alcanzar 40 minutos de arco en la periferia, adoptando la forma de diábolo o de lente bicóncava. (Figura 16). Puede decirse que solamente los puntos correspondientes a la visión central o foveal están realmente "acoplados".

El *horóptero matemático* podría considerarse, utilizando la expresión que Emilio Díaz Caneja dio en el Discurso de apertura del curso 1957 en la Universidad de Valladolid: "... como el *esqueleto* del espacio visual percibido".

Peter Ludvig Panum dedujo que la correspondencia retiniana no se hace de punto retiniano de un ojo a punto retiniano del

congénera, sino de punto retiniano de un ojo a área retiniana del otro. Son los *círculos de concordancia (Panum)*, que serían campos o zonas idénticas en lugar de puntos. Para cualquier punto retiniano de un ojo existe en el otro un área pequeña (*área de Panum*), cuya excitación en cualquier lugar dentro de la misma da paso al proceso de fusión de ambos estímulos monoculares. Witold Starkiewick (1958), que llama "puntos para-correspondientes" los ubicados dentro del "área de Panum", lo expresa diciendo: "... a cada punto de la retina de un ojo le corresponde un conjunto de puntos de la retina del otro (*área de fusión*), formando un pequeño campo correspondiente" ("*Role du système musculaire dans la pathogenése et la thérapie du strabisme*", pág. 23). Así concebido, a partir del objeto fijado incidiendo sobre puntos correspondientes de ambas retinas, otro objeto situado próximo a él, bien delante o bien detrás, puede recaer dentro de un área retiniana de uno de los dos ojos en correspondencia normal con el punto retiniano del otro ojo, ser fusionado y visto simple. Considerando esta correspondencia punto retiniano-área retiniana, si un ojo comienza a experimentar desviación, el paciente no tendrá diplopía hasta que aquella tenga suficiente entidad como para que la imagen caiga fuera del *área de fusión de Panum*.

Todo esto expresa que el sistema visual permite cierta disparidad retiniana compatible con fusión. Es obvio, que cuanto menor sea esta disparidad dentro del *área de Panum*, más perfecta será la fusión.

Existe fusión en el *área de Panum*, permitiendo un margen de error en el que no es preciso que los ejes visuales de los ojos se crucen en el punto objeto de fijación. Hay, en opinión de Claud Worth (1905): "... *elasticidad de fusión de las imágenes, jugando un papel importante en la visión binocular*". Esta elasticidad es verdadero atenuante a la regla establecida de los *puntos idénticos o concordantes* y un ejercicio de fusión fisiológicamente distinto de las imágenes retinianas correspondientes. Habría, pues, correspondencia fisiológica entre áreas que son, geoméricamente, ligeramente dispares.

Así, puede darse la situación especial en la que el paciente tenga microestrabismo, de forma tal que manteniendo fusión periférica, al fijar un objeto no pueda hacerlo bifovealmente. Sin embargo, la fusión es posible a pesar de estar siendo estimulados puntos no correspondientes, siempre que la desviación ocular (0 a 20 minutos de arco) sea menor que la extensión del *área de fusión de Panum*. A este fenómeno, descrito en 1900 por Hofman y Bielschowsky, medio siglo

después **Kenneth Neil Ogle (1949)** lo llamó *disparidad de fijación (fixation disparity)*, fenómeno que puede ser medido.

El *área de Panum* tiene extensión variable, dependiendo del tamaño y nitidez del objeto que se fija y de la distancia a que es fijado. De modo continuo y según el momento el *área de Panum* tendrá una extensión u otra, existiendo, de forma permanente y sucesiva, infinitas *áreas de Panum* en el mismo individuo.

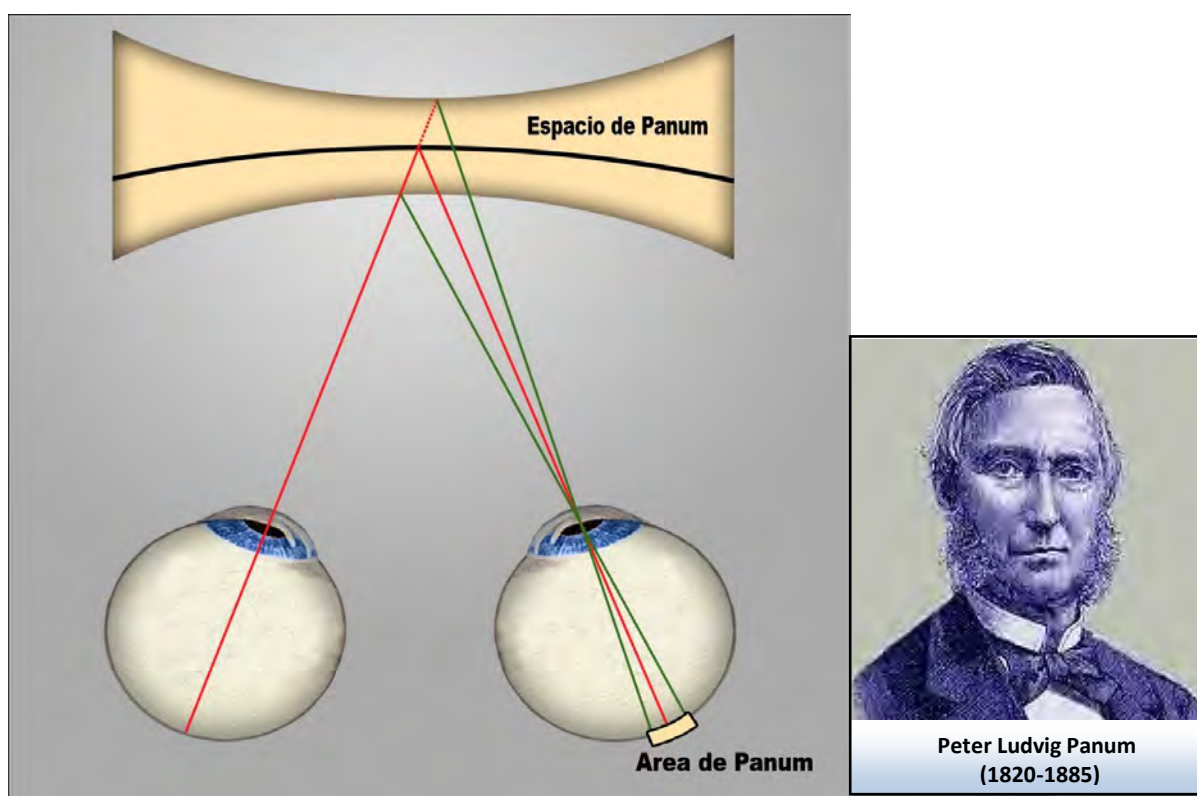


Figura 16. Espacio y área de Panum.

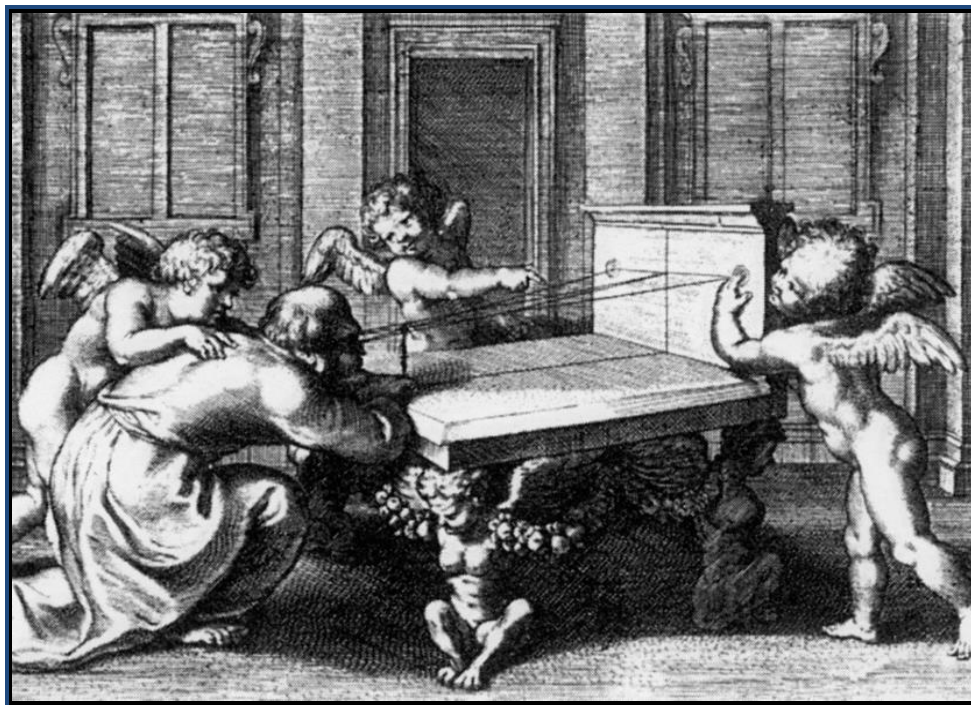
El dibujo representa el *área de Panum* y el *espacio de Panum*. En su interior se encuentra dibujado el *horóptero*. Los objetos contenidos dentro del *espacio de Panum* son vistos simples, y dobles los situados por delante y detrás de dicho espacio.

DIPLOPÍA FISIOLÓGICA

Fuera de los límites del *área de Panum* los objetos son percibidos en diplopía.

El sabio árabe **Ibn al-Haitham**, más conocido por su forma latina: **Alhazén (956-1038**

d.C.), en su tratado de Optica "*Kitab al-Manazir*", hace la primera referencia a la *diplopía binocular fisiológica*, magistralmente explicada con su famosa "*tablilla*". No obstante, es justo reconocer a **François D'Aguilon (1613)** como el primer investigador que la estudió de modo serio y razonado, concibiéndola de forma actualizada.



Diplopía fisiológica.

Ilustración por Peter Rubens para el libro de François D'Aguilon: «*Opticorum libri sex, philosophis juxta ac mathematicis utiles*».

El jesuita **Christophern Scheiner (1615)** la hizo evidente de este modo: Sobre una regla pinchó dos alfileres a diferente distancia, observando que al fijarse en el alfiler más lejano el que se encontraba próximo lo percibía doble. Ocurría lo mismo cuando se fijaba en el próximo, con la salvedad de que, entonces, el que veía doble era el lejano.

Si el objeto se encuentra por delante del *espacio de Panum*, se ve en *diplopía cruzada (diplopía proximal de Maddox)*. Si está situado posterior es apreciado en *diplopía homónima o directa (diplopía distal de Maddox)*. Los vistos en *diplopía cruzada* son proyectados al exterior más cerca que el objeto fijado, en tanto los percibidos en *diplopía homónima* lo son más lejos, siendo la mayor o menor cercanía o lejanía función del grado de disparidad (Figura 17).

La diplopía es tanto más manifiesta cuanto más centrado o alineado se encuentra el objeto que se ubica y recibe por delante o por detrás del *espacio de Panum*. Si uno situado por delante y en línea anteroposterior con otro que estamos

fijando lo desplazamos lateralmente, apreciaremos cómo las dos imágenes se van juntando hasta llegar un momento en el que la diplopía es mínima, dejándose de percibir en visión lateral.

Las dos imágenes (*medias imágenes* de **Benjamin Bourdon, 1902**) se observan una al lado de la otra siempre y cuando los ojos se mantengan en plano horizontal. Si inclinamos la cabeza hacia un hombro vemos como las imágenes diplópicas se van, además, situando a diferente altura, consiguiendo su máxima diferencia en la inclinación cefálica de noventa grados.

No obstante, todos sabemos que de esta visión doble extra-horóptica (*diplopía fisiológica*) no tenemos conciencia ni provoca penosidad en la vida real. Es percepción difusa que precisa determinados artificios intelectuales para ponerla en evidencia. Esta ausencia perceptiva se debe, por una parte, al gran número de estímulos exteriores que, al mismo tiempo, llegan a los receptores retinianos y, por otra, a lo que hemos considerado en llamar *neutralización fisiológica*.

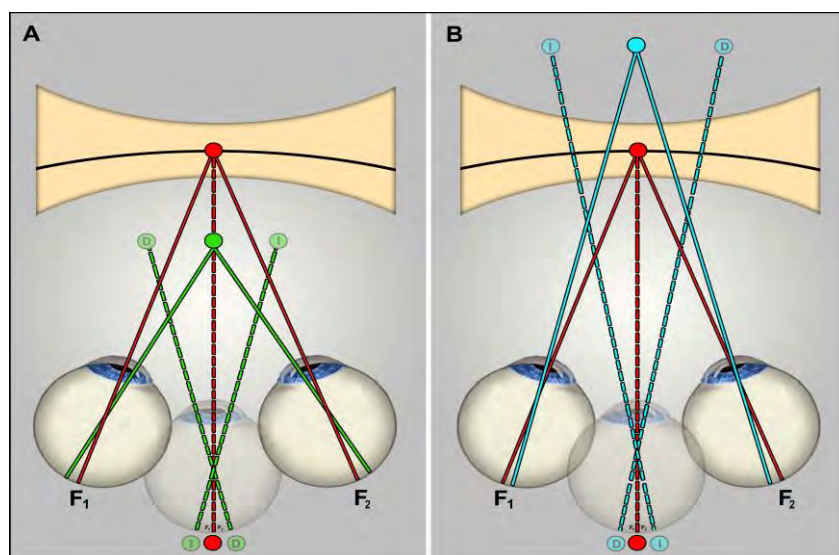


Figura 17. Diplopía fisiológica.

Mirando de frente determinado punto del espacio, los objetos situados por delante del mismo y fuera del espacio de Panum, al recaer sobre ambas retinas temporales son vistos en diplopía cruzada. Los que se encuentran detrás y, también, fuera del espacio de Panum, e incidiendo sobre ambas retinas nasales son vistos en diplopía homónima.

Cuando la persona fija un test morfológico contenido en su área de Panum, y dirige ambas líneas de mirada en vergencia fusional sobre él, define un ángulo y, también, un triángulo cuya base es la línea interocular, correspondiendo el vértice opuesto a esta base al test fijado. Si continuamos y prolongamos las líneas de mirada más allá de este objeto, delimitamos otro segundo ángulo opuesto por su vértice al anterior.

De esta manera, hemos concretado un *doble espacio interangular*, en el que los objetos situados dentro de él, pero fuera del *espacio de Panum*, son vistos en: diplopía cruzada los que se encuentran por delante, y homónima los que se hallan detrás, como antes hemos referido. Los situados delante, porque las líneas de dirección inciden sobre puntos retinianos no correspondientes estimulando áreas binoculares bi-temporales. Los situados detrás, porque inciden sobre puntos igualmente dispares, aunque haciéndolo sobre áreas binoculares bi-nasales.

Tanto en uno como en el otro caso, las imágenes van a ser recepcionadas en hemisferios opuestos: los objetos situado por delante del *espacio de Panum*, que estimulan áreas bitemporales, se dirigirán a hemisferios del mismo lado retiniano (fibras directas el quiasma), y los ubicados detrás del *espacio de Panum*, al

llegar a áreas bi-nasales, serán conducidos, también, a hemisferios opuestos y opuestos, así mismo, al lado retiniano estimulado (fibras cruzadas quiasmáticas).

El mayor interés surge al preguntarnos ¿qué ocurre con todos los objetos que encontrándose fuera del *espacio de Panum*, bien delante o detrás, están en el exterior del *espacio medio interangular* que describíamos antes?. En realidad, serían casi todos los que hay en el espacio visual, pues si lo analizamos detenidamente, el *espacio interangular* definido por las líneas de mirada al objeto en cuestión, al ser tan pequeña la base interocular (distancia interpupilar de seis centímetros de media), en cuanto el objeto fijado se encuentre algo alejado del individuo puede considerarse mínimo, y, en la práctica, reducido a una línea (**Plicque, 1946**).

En esta situación extra-angular, también serán vistos en diplopía cruzada los objetos anteriores al *espacio de Panum*, y en diplopía homónima los posteriores, aunque en estos casos, referidos a los situados fuera del *espacio interangular* que definen las líneas de mirada, las áreas retinianas estimuladas no correspondientes son homolaterales: los objetos del campo derecho del individuo inciden en retinas izquierdas (nasal en ojo derecho y temporal en ojo izquierdo), y los

del campo visual izquierdo lo hacen sobre retinas derechas (nasal en ojo izquierdo y temporal en ojo derecho). La desigual distancia de ambas incidencias retinianas con las correspondientes foveas es lo que marca la disparidad. En la Figura 18 queda explicada la situación.

Ahora bien, el hecho que llama profundamente la atención y que cualquiera puede experimentar es lo siguiente: Fijemos un pequeño objeto situado frente a nosotros en la línea media, a cuarenta centímetros y a la altura de nuestros ojos; tomemos con nuestra mano un lapicero que lo situamos en esta misma línea a quince centímetros. Dará lugar a que lo veamos en diplopía cruzada. El espacio a ambos lados entre el objeto lejano fijado binocularmente y cada una de las imágenes diplópicas es el mismo siempre y cuando el lapicero esté perfectamente ubicado en la línea media. Pues bien, a partir de aquí si vamos desplazando lentamente el lapicero hacia un lado (por ejemplo a la derecha), llega un momento en el que la imagen diplópica del ojo derecho, que es la izquierda según la mira el

individuo, queda superpuesta al objeto fijado (instante en el que coincide la imagen del lapicero con la línea de mirada que va del ojo derecho al objeto), para, a continuación, desplazando lentamente el lapicero seguir viendo sin tránsito ni trauma de ningún tipo el objeto igual que lo veíamos al comienzo de la prueba así como las dos imágenes diplópicas, pero, ahora, situadas a la derecha del objeto fijado.(figura 19).

Lo importante de este experimento es que la imagen diplópica del ojo derecho, la izquierda de las dos, que al comienzo de la prueba estaba incidiendo sobre la retina temporal (en consecuencia alcanzando el hemiserebro derecho por vía directa), pasa posteriormente a incidir sobre la retina nasal de este mismo ojo (ahora llegando al hemiserebro izquierdo por vía cruzada en el quiasma), y todo este cambio profundo se hace de forma que el individuo no nota nada especial. Así se demuestra la importancia de la conexión interhemisférica a nivel del cuerpo caloso.

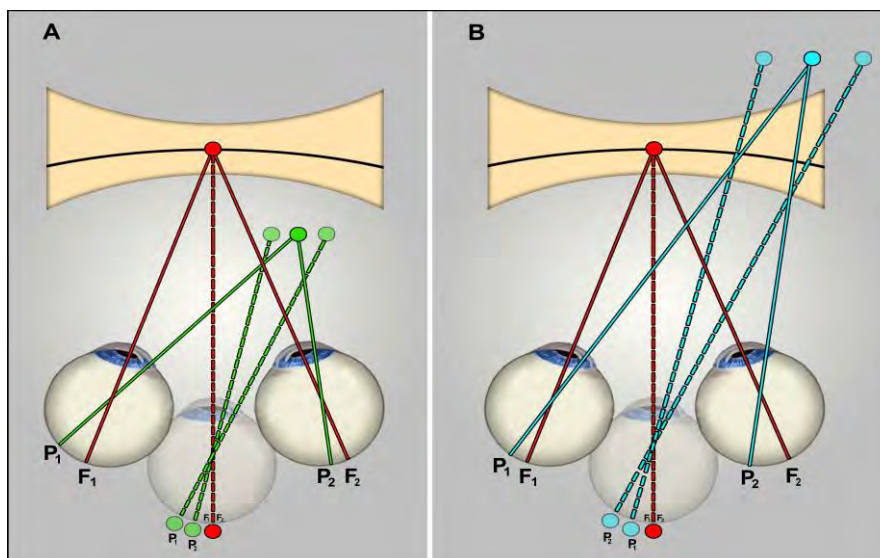


Figura 18. Diplopía fisiológica.

En ambos cuadros, el individuo fija la pelota roja, situada en el área de Panum.

A) Un objeto (pelota verde) situado por delante del objeto fijado (pelota roja) y en situación lateralizada. La incidencia la hace sobre puntos no correspondientes de la retina nasal del OD y de la retina temporal del OI (más cercana a la fovea la del OD que la del OI). La exteriorización está situada en el lado derecho en diplopía cruzada.

B) El mismo objeto, ahora de color azul, ubicado por detrás del objeto que fija (pelota roja). La recepción retiniana se está realizando sobre puntos no correspondientes de la retina nasal del OD y de la retina temporal del OI (más lejana a la fovea del OD que a la del OI). La exteriorización también está en el lado derecho, pero en diplopía homónima.

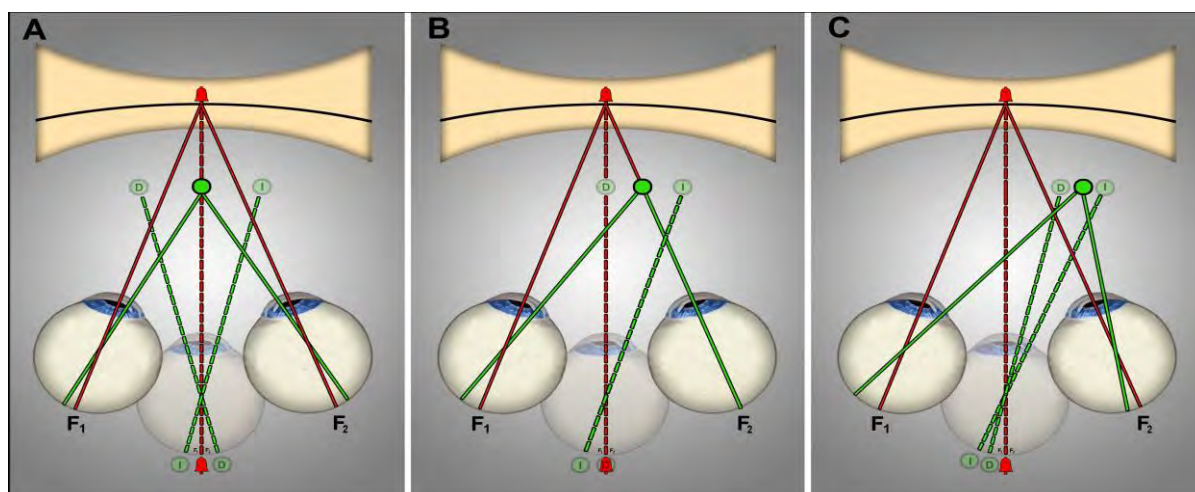


Figura 19. Diplopía fisiológica.

A) Mirando la campana, la pelota verde situada por delante y en posición sagital es percibida en diplopía cruzada.

B) La pelota verde situada hacia la derecha del paciente en lugar coincidente con la línea de dirección visual del OD. Hay diplopía, y la imagen que ve el OD está en coincidencia proyectiva con el objeto fijado (campana). Se refleja con toda claridad en el ojo cíclope.

C) La pelota verde, situada aún más a la derecha, descarga la sensación sobre retinas homólogas: nasal en el OD y temporal en OI. El hecho importante es que la diplopía, si desplazamos dinámicamente el objeto próximo (pelota verde) desde el centro a la posición lateral derecha, no es sentida con modificación o cambio subjetivo alguno. La transición es suave, no sentida por el paciente, a pesar de haber pasado la imagen en el ojo derecho desde la retina temporal en "A" a la retina nasal en "B". O sea, a pesar del cambio receptivo de la imagen del cerebro izquierdo.

La proyección o exteriorización de las imágenes vistas en *diplopía fisiológica* ha sido considerada de diferentes modos, desde **François D'Aguilon (1613)**, por los diversos autores que lo han estudiado, no habiéndose dado importancia a la ubicación en profundidad de ambas imágenes diplópicas hasta **Hering**.

Helmholtz sitúa las dos imágenes a la distancia real del objeto externo que las provoca ("Optique physiologique" Tomo II, pág. 910), admitiendo de esta forma, aunque fuera de forma implícita, que la exteriorización (dirección proyectiva) era falsa en el sentido de no corresponderse a la dirección de impresión en la retina del citado objeto. **Parinaud (1898)** en su libro "*La visión*" (pág. 159) también aporta que las imágenes de la *diplopía fisiológica* son imágenes virtuales subjetivas y, sin duda, "falsas", que no responden a la posición real del objeto.

La teoría de **Helmholtz** sobre la localización en profundidad de las dos imágenes diplópicas en el mismo plano donde se encuentra

el objeto en cuestión fue apoyada por el granadino **Escribano** y por **Alexander Duane**.

Al contrario que **Helmholtz**, **M.L.Polliot** defiende la tesis de que las imágenes diplópicas se sitúan en el plano del objeto fijado. Al igual piensa **Campos (1912)**, quien también las sitúa en el plano en el que están convergiendo los ejes visuales. Considera que se trata de imágenes reales, identificándose el eje de dirección y el de proyección. En la misma línea de pensamiento se encuentra **Díaz Caneja**, que ubica las imágenes diplópicas sobre el plano que conteniendo el punto de fijación es paralelo a la línea de base internodal del paciente, y con la particularidad de que el tamaño aparente lo tienen aumentado cuando las imágenes están por delante del punto fijado (diplopía cruzada), y disminuido cuando se encuentran más lejanas al mismo (diplopía homónima).

Por último, **Schultz** sitúa las imágenes dobles de la diplopía fisiológica en el lugar en el que los ejes secundarios de cada ojo cortan a los

ejes principales del congénere. Existiría, de igual forma, identidad de los ejes de dirección y de proyección.

Ribas Valero (1921) también opina que en la diplopía binocular fisiológica no hay proyección falsa, o sea, que el eje de exteriorización retorna por el mismo camino que se hizo la impresión. Sitúa las imágenes diplópicas entre el plano del punto de fijación y el sitio real del objeto extrahoróptico (más lejos de donde está el verdadero cuando es diplopía cruzada, y más cerca cuando lo es homónima). También las ubica, al igual que **Schultz**, en el lugar en el que los ejes secundarios de cada ojo cortan al principal del otro. (Figura 20).

En realidad la diplopía fisiológica traduce una visión binocular desacoplada con relación a los objetos situados por delante o detrás del fijado bifovealmente por ambos ojos, con atenta inmovilización de su aparato motor, que da lugar a que se independicen las percepciones monoculares. Estas imágenes diplópicas aisladas, para algunos autores, como **Polliot, Campos, Díaz Caneja, Schultz** o **Ribas Valero**, mantendrían correspondencia entre la línea de dirección y la proyectiva.

Dato importante que destacar en el fenómeno de *diplopía binocular fisiológica* es:

cuando percibimos dos imágenes de un objeto situado fuera del *espacio de Panum*, es obvio que, al menos, una de las dos imágenes diplópicas tiene que ser virtual, o tal vez las dos. Dicho de otro modo: el lugar que ocupa en el espacio una de las dos imágenes diplópicas no puede coincidir con el lugar que realmente ocupa el objeto que las desencadena. Y pudieran no coincidir las dos.

Como ejemplo, fijemos un objeto situado a un metro en el plano mediano, y en este mismo plano medio posicionamos otro a veinte centímetros. Así, este último es visto en diplopía cruzada. Ahora imaginemos un centro de coordenadas en el que el eje horizontal (eje X) correspondiera a la línea que une las imágenes diplópicas del objeto próximo. Si el eje vertical (eje Y) corta al anterior en un punto (*centro de coordenadas*) simétrico con respecto a ambas, significaría que las dos imágenes percibidas del objeto próximo son pura ilusión, y el verdadero punto que en el espacio está ocupando el objeto próximo es, exactamente, el mediano. Es el lugar en que, a juicio de **Hering**, se localiza siempre este centro de coordenadas.

Como veremos después, **Tscherning (1898)**, oponiéndose a **Hering**, cree que el *centro de coordenadas* puede estar desplazado a uno u otro lado según el individuo, llegando, incluso, a coincidir prácticamente con uno de los dos ojos.

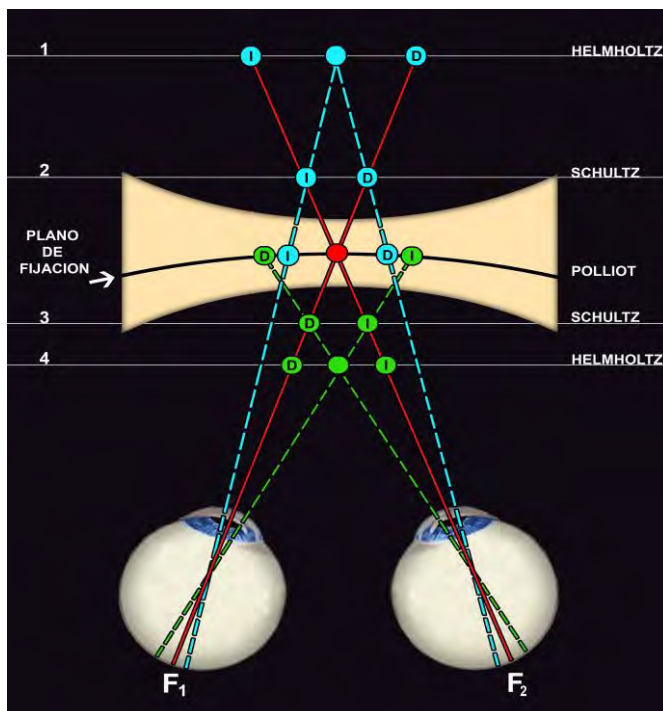


Figura 20. Exteriorización de las imágenes en diplopía fisiológica.

Helmholtz sitúa las dos imágenes diplópicas a la distancia real del objeto auténtico que las provoca.

Schultz y Ribas Valero las ubican en el lugar en el que los ejes secundarios de cada ojo cortan a los ejes principales del congénere.

Polliot y Campos defienden la tesis de que las imágenes diplópicas se sitúan en el plano del objeto fijado.

3.5.

ESTEREOPSIS

El vocablo *estereopsis* (del griego *stereos*: sólido y *opsis*: visión) quiere decir “*apariencia sólida*”).

Lo definimos como “*la capacidad que posee el humano para ver, a través de un artificioso proceso mental, los objetos contenidos en su espacio visual en relieve, grosor, o tres dimensiones, después de llegar a él a través de dos imágenes simultáneas recibidas por cada ojo, bidimensionales y ligeramente dispares por ser observadas bajo puntos de vista perspectivas distintos, en base a su diferente ubicación anatómica*”.

La primera pregunta que cabe hacerse es: ¿la *visión estereoscópica* es real o mera ilusión, apariencia o quimera?. En realidad, cada ojo percibe una *imagen plana*, desigual por ambos, que el cerebro procesa y da especial sentido transformándolas en tercera imagen tridimensional, única, ciclópea, singular y distinta a las dos recibidas monocularmente. En la traducción del estímulo físico, existe algo psicológico que ocurre y que no sabemos ni donde, ni cómo, ni por qué. El filósofo y psicólogo suizo, **Jean William Fritz Piaget (1967)**, en su libro “*Biologie et connaissance*” escribe: “... *el mundo que vemos es una invención del sistema visual*”, y **Henri Bouasse (1917)** en su obra “*Visión y reproducción de las formas y los colores*” (pág.136) nos recuerda que “... *las sensaciones no son las cualidades mismas de los objetos, sino modificaciones de nuestra alma, que hemos ido aprendiendo a descifrar con la educación*”.

François Jacob (2005) dice en “*El juego de lo posible*” (pág. 81): “... *el cerebro no funciona registrando una imagen exacta del mundo que pudiera ser considerada como verdad metafísica, sino creando su propia imagen*”. Con certeza, el Premio Nobel de Fisiología y Medicina de **1965** afirma que la percepción de los objetos que nos rodean, aparte de depender de la sensibilidad de los receptores sensoriales, está en consonancia con la integración muy particular que el cerebro

de cada ser vivo hace del teatro del mundo. Cada sistema nervioso ha creado su propio mundo, habiéndole construido mediante genética y experiencia hasta llegar a algo que tiene utilidad para él en vida rutinaria.

Pero otra vez más vamos a aplicar justicia histórica. **Jan Evangelista Purkinje (1787-1869)** fue el primero en considerar que: “... *la decepción de los sentidos es la verdad de la percepción*”. Con esta frase el filósofo, médico, anatomista y fisiólogo checo nos adelantó que “*lo que en realidad percibe nuestro intelecto es mera consecuencia de un sentido visual engañado*”.

Y es que el cerebro posee la increíble facultad de poder engañar a los sentidos, que en el caso que nos ocupa sería al sentido de la visión.

Mediante la binocularidad nos orientamos poniéndonos en relación proyectiva con nuestro entorno. Que no quiere decir que en monocular no haya orientación, aun aceptando que la orientación binocular, en principio, es superior filogénicamente a aquella.

Es difícil saber en qué momento de la historia el hombre tuvo conciencia de su capacidad para ver en relieve.

En el desarrollo histórico de la estereopsis recordemos al matemático y óptico griego **Euclides (325-265 a.d.C.)** con sus investigaciones sobre las propiedades de las figuras geométricas en el espacio tridimensional. El sabio filósofo y profesor de Alejandría, en su “*Tratado de Optica*” dijo: “... *ver el relieve consiste en recibir por medio de cada ojo la impresión simultánea de dos imágenes desemejantes de un mismo objeto*”.

También hay que recordar a **Galeno de Pérgamo (130-200 d.C.)**, quien, dijimos anteriormente, se adelantó a la ordenación del espacio en torno al teórico “*ojo doble*” de **Hering** u “*ojo ciclope*” de **Helmholtz**. De sus “*Obras Completas*”, en el Libro X, capítulo XII, Tomo I, pág. 640, describe la diferente posición que ocupa un objeto según se mire con uno u otro ojo, que,

al mismo tiempo, es distinto de la posición observada por los dos a la vez.

Invoquemos, de la misma manera, al astrónomo, matemático y óptico **Claudio Ptolomeo (100-170)**, investigador de la distinta percepción de un ojo con relación a la del otro y diferente, así mismo, de la percibida por ambos ojos a la vez.

Por supuesto, que hay que evocar al polifacético **Leonardo da Vinci (1452-1519)**, quien advirtió, como manifiesta en su "Tratado de la pintura" (Capítulo XIII), publicado 161 años después de su muerte, que "... la percepción que el individuo posee del relieve es consecuencia de la incidencia de las imágenes sobre puntos dispares de las retinas, reconociendo imposible imitarlo con la pintura, no pudiendo hacer otra cosa que jugar con ilusiones ópticas para abrirse al mundo tridimensional". Finalmente, citemos al astrónomo y matemático alemán **Johannes Kepler (1571-1630)**. Todos estos autores, y algunos más, estudiaron la visión binocular y la *estereopsia*, pero hay que pasar páginas al calendario y llegar a **Herbert Mayo (1827)**, quien, adelantándose unos años a **Wheatstone**, explica la visión estereoscópica en su libro "Outlines of human Physiology": "... un objeto sólido, colocado que sea

visto por ambos ojos, proyecta sobre cada retina una imagen perspectiva diferente. Si estas dos imágenes se copian sobre el papel y se presentan una a cada ojo, de modo que sus partes se correspondan, el sólido primitivo será reproducido, en apariencia, de modo que ni un esfuerzo de imaginación podrá ser visto como imagen plana".

En **1832** el catedrático de física experimental del King's College de Londres, el escocés **Sir Charles Wheatstone**, dirige la construcción de su genial *estereoscopio* con el que consiguió simular el relieve mediante un juego de espejos, haciendo incidir en los dos ojos imágenes retinianas superponibles, aunque no exactamente iguales, por haber sido fotografiadas bajo ángulos ligeramente diferentes, sintetizando de esta manera todas las experiencias de los autores que le precedieron. A partir de este momento, con cierto rigor, los investigadores empiezan a estudiar de modo más científico el fenómeno visual en tres dimensiones. De este modo concebido, se sienta definitivamente la base de que "... es preciso considerar como algo nuevo en fisiología del aparato de la visión,* la proyección sobre ambas retinas de imágenes distintas cuando un objeto se observa convergiendo sobre él los ejes oculares".



Sir Charles Wheatstone
(1802-1875)



Figura 21. Estereoscopio de Oliver Wendell Holmes (1862). (Colección privada)

Con relación al *estereoscopio*, **Albert Remy (1917)** en "Le diploscope" Pág. 16, señaló que el aparato de **Wheatstone**, a pesar de su denominación, no aporta percepción de profundidad, sino solamente "ilusión de relieve", debido a que "... el estereoscopio no hace ver un determinado objeto por los dos ojos, sino un objeto ligeramente diferente por cada uno de ellos. Estas imágenes son exteriorizadas como imágenes virtuales en un punto inexacto del espacio, lo que les hace ver superpuestas. No hay, pues, más que visión binocular artificial y no visión binocular espontánea. Por otra parte, no se puede ver en el estereoscopio sino dejando divergir relativamente los ojos; como el objeto fijado está bastante próximo, es preciso acomodar más de lo que se converge, de donde la disociación de la sinergia funcional acomodación-convergencia. La visión binocular artificial que aporta el estereoscopio, es obtenida por un funcionamiento anormal de la vía centrífuga del arco reflejo de la visión binocular. El diploscopio, sin embargo, es un aparato muy superior al estereoscopio, puesto que da la visión binocular espontánea, poniendo en juego un funcionamiento normal de la acomodación-convergencia; la vía sensorial y la vía motora del arco reflejo tienen su juego normal".

La utilización de este índice o referencia binocular para reedificar la visión en tres dimensiones, denominado *disparidad retiniana*, fue definitivamente demostrada en **1960** por el investigador húngaro **Bela Julesz** con los estereogramas formados por anaglifos sobre el "*principio de puntos al azar*".



Bela Julesz
(1928-2003)

El aparato visual procesa la llegada del estímulo a los dos ojos generando la tercera dimensión mediante dos funciones: la *percepción en profundidad* y el *sentido del relieve* (*estereopsis*). Esta elevada y noble apreciación se debe al hecho de ver el mundo que nos rodea con dos ojos al mismo tiempo, pero bajo perspectivas diferentes al hacerlo bajo ángulos de mira distintos, motivado por la separación horizontal de los mismos, consecuencia de su ubicación en la cara. Esto da lugar a que las dos imágenes retinianas del objeto fijado en el espacio sean percibidas, geoméricamente, ligeramente distintas y no superponibles (*paralaje binocular* o *disparidad binocular*). Bajo este punto de vista, la *paralaje binocular* se puede definir como: "*perspectiva diferente que cada ojo recibe, consecuencia de la situación que ocupan en el macizo facial*".

La superposición simple y limpia de ambas daría una imagen final borrosa. El procesamiento a nivel central de esta disparidad horizontal de imágenes parecidas vistas con cada ojo, pero ubicadas dentro del *espacio de Panum* es, precisamente, la base sobre la que va a asentarse la facultad binocular de percepción en tres dimensiones. El cerebro es capaz de interpretar la falta de semejanza para, de esta manera, poder evaluar el concepto de relieve: "*La idea de solidez y relieve se halla en el espíritu*" (**Beclard**). También dispone, en base a la binocularidad, de la posibilidad de determinar distancias con respecto al individuo (*percepción egocéntrica*) y entre los diferentes objetos del espacio entre sí (*percepción exocéntrica*).

En opinión de **René Onfray (1909)**: "*... esta asimetría de las imágenes retinianas de cada ojo, es causa de una especie de diplopía inconsciente, que nos aporta, por este hecho, la sensación de profundidad*".

La *fusión simple* presupone la proyección, consecuencia de dos percepciones nacidas en correspondencia retiniana geométrica de la *línea mental* llamada *horóptero*. Sin embargo, cuando la *fusión* nace de la disparidad fisiológica, que acontece dentro del *espacio de Panum* entre áreas ligeramente disímiles, surge la *estereopsis*. Podemos decir con Julio **Alberto Mocerrea (1978)**: "*...la base de la visión binocular son los puntos*

correspondientes; su fin es la estereopsis, y el medio para lograrla es la fusión". ("Clínica y cirugía del estrabismo" pág. 51).

Entonces, podemos llegar a la siguiente conclusión: Si las imágenes retinianas son muy desiguales, no es posible la *fusión*. Sin embargo, si no hay disparidad alguna, tal y como ocurre en la percepción de objetos ubicados en el plano del *horóptero geométrico*, donde la disparidad binocular es nula, habrá *fusión* pero no *estereopsis*. Esta última, noble y elevada función, necesita de la existencia de cierta disparidad horizontal, pero dentro de determinados límites, como es el hecho de que estos *campos receptores* dispares se encuentre en el interior del *espacio de Panum*, siendo en el ámbito de la fovea donde se alcanza el mayor grado *estereóptico*, como demostró **Schoeler** en trabajo realizado bajo la dirección de su maestro **Helmholtz**. La *visión tridimensional* o *estereopsis* es mucho más débil en la periferia.

El *relieve estereoscópico*, sostienen **Helmholtz** y **Reymond**, exige concomitancia y fusión de dos impresiones ligeramente dispares, que mantienen su individualidad hasta la llegada al cerebro. El resultado y consecuencia final, para estos autores, es la *estereopsis*, función que precisa que el intelecto transforme las imágenes percibidas por cada ojo para, finalmente, aunarlas en resultante nueva, compendio de la suma de ambas. Esta imagen final nueva es el fruto del cambio de proyección en el espacio (localización) de cada uno de los puntos homólogos de la imagen monocular, que al expresarse en haplopía por el imaginario *ojo cíclope*, tiene un desenlace proyectivo distinto de imagen final.

A nuestro juicio, este aspecto se refiere al conocimiento de distancia o profundidad, pero no a la percepción del relieve. Como después veremos, en este último estadio de visión en tres dimensiones van a participar como protagonistas: la *confusión* o *decorrelación retiniana*, la *rivalidad retiniana*, la *neutralización*, la *activación de determinados referentes*, la *ausencia de dominancia fisiológica*, y lo que **André Louis Cantonnet (1932)** llamara "*palpación visual*", como forma personal de expresar, aplicar y explicar la *teoría dinámica* de **Brucke (1841)**.

En tanto las disparidades horizontales de las imágenes retinianas son necesarias para percibir con *estereopsis*, las disparidades verticales no participan en ella (**Rogers, 1955**), o, al menos, su intervención permanece controvertida en el momento actual. También ha sido infravalorada su participación por **Cumming (1991)** y **Rogers (1993)**.

Está demostrado que *fusión* y *estereopsis* son funciones neurofisiológicas distintas e independientes, que pueden existir la una sin la otra, aunque ambas caminan de forma paralela en binocularidad. La *estereopsis* es función totalmente sensorial, en tanto que la *fusión* es sensorio-motora. Puede haber *fusión* sin *estereopsis*. Sin embargo, la *estereopsis* precisa de la existencia de *fusión* y otros añadidos sensoriales.

Se ha podido comprobar que hasta la distancia de 3 m, la percepción *estereóptica* es sobreestimada. Cambiará esta predilección progresivamente al ir aumentando aquella. La distancia máxima a que puede apreciarse *estereopsis* es 500 m (**Wheatstone-1838** estimó este recorrido en 2000 pies, o sea, 600 metros), a diferencia de la *fusión* que existe a todas las distancias. En longitudes lejanas las *pistas monoculares* no actúan al no existir imágenes sensiblemente diferentes para poder percibir en tres dimensiones.

Partiendo de dos percepciones monoculares, cada una de ellas en dos dimensiones, llegamos a la binocularidad con *estereopsis*, modo de percepción tridimensional que es factible al poder utilizar señales de disparidad horizontal de suficiente importancia dentro del *área de fusión de Panum*.

Puede existir *estereopsis* aunque la agudeza visual de un ojo no sea buena. Ahora bien, la facultad *estereóptica* cesa cuando la visión de un ojo baja a 0,1 ó existe anisometropía de 2 dioptrías. Sin embargo, cuando el desenfoque refractivo es bilateral puede existir mayor estereoagudeza.

También, cuando la sensibilidad al contraste se encuentra disminuida, baja el nivel de *estereopsis*, en especial cuando la merma es unilateral o asimétrica. La estereoagudeza, que se

reduce al bajar el contraste, lo hace de forma más notable para las frecuencias espaciales bajas.

La disminución acomodativa con la edad no influye sobre la agudeza estereoscópica.

El umbral fisiológico de estereoagudeza central, correspondiente a la cifra máxima de agudeza estereoscópica (valor mínimo perceptible de paralaje estereoscópico o menor disparidad horizontal percibida por medio de la paralaje binocular), aunque es profundamente variable entre personas, oscila de 10 a 30 segundos de arco, y como media 25''. (Kenneth Neil Ogle, 1962, estima que entre 5 y 10''). El nivel de estereoagudeza periférica no es superior a 70". Así pues, el valor de agudeza estereoscópica es buen índice para determinar el tipo de colaboración binocular que existe: central o periférica, aspecto importante en microestrabismos.

FACTORES MONOCULARES DE LA PERCEPCIÓN DEL RELIEVE

En nuestro espacio visual no es imprescindible tener visión binocular para tener sensación estereopsica, porque con un solo ojo puede percibirse de modo muy preciso el volumen de los cuerpos y tener conocimiento, aunque de forma menos perfecta, de distancias, sentido de profundidad y relieve, gracias a la información sobre el entorno que nos proporciona lo que algún autor ha venido a denominar *pistas monoculares*, sin duda elementos de extraordinaria importancia. Un periodo de aprendizaje ayuda a su mejor utilización.

Los indicios secundarios o pistas monoculares se clasifican en primarias y secundarias:

a) *Pistas monoculares primarias*

Utilizan información de naturaleza fisiológica. Son fundamentalmente la convergencia y la acomodación. René Descartes fue el primero en decir que la convergencia ocular y la acomodación eran funciones que participaban en la percepción de distancia. Y, evidentemente, la *convergencia* es admitida de forma unánime

como elemento colaborador en apreciación de la distancia, sobre todo cuando el objeto fijado no está muy lejano. Se da cada vez más importancia de este sentimiento a la información propioceptiva muscular.

Se discute el papel de la *acomodación* en el problema que nos ocupa, porque no está demostrado que presbitas y pseudofacos estén disminuidos en este aspecto con relación a individuos jóvenes con función acomodativa íntegra.

b) *Pistas monoculares secundarias*

Emplean las experiencias visuales previas. Estas pistas son capaces de proporcionar esta facultad perceptiva de modo óptimo, de tal manera que permite al monoftalmo y a aquella persona sin visión binocular tener comportamiento social bastante parecido al normal.

Cuando contemplamos una pintura en la que el autor se ha ayudado con arte para darle "profundidad" mediante artificios pictóricos, la sensación estereopsica es sentida por el espectador con la misma fuerza tanto si mira el cuadro con los dos ojos como si lo hace con uno solo. Son *pistas* válidas para el monoftalmo y el paciente que no tiene visión binocular para conseguir su particular sentido del relieve.

Pasemos revista a las *pistas monoculares secundarias* más comunes:

* *Perspectiva lineal (superposición de objetos)*. Un objeto que queda parcialmente oculto por otro es índice de encontrarse en posición más lejana.

* *Perspectiva aérea (nitidez de objetos)*. Los objetos más lejanos son apreciados menos nítidamente que los próximos.

* *Color y nebulosidad de objetos*. Un objeto muy lejano se hace más nebuloso y pierde calidad cromática (cromoestereopsia).

* *Sombras proyectadas*. La configuración de luz y sombra es un poderoso factor monocular de percepción de profundidad. Componente muy utilizado por los pintores.

* *Tamaño del objeto*. Un objeto, cuya talla absoluta se conoce, cuanto más lejos se encuentra

tanto más pequeño se percibe, en razón del menor tamaño del ángulo visual bajo el cual es sentido en la retina, permitiendo deducir la distancia a que se encuentra. Los militares han estado muy adiestrados en la forma de conocer la distancia del enemigo basándose en el tamaño de sus imágenes. Se dice que los niños muy pequeños calculan mal las distancias por el desconocimiento de los tamaños de los objetos, debido a su novedad.

* *Perspectiva*. Las líneas horizontales dan la impresión de converger a lo lejos. De este efecto también en pintura se saca buen partido.

* *Paralaje*. Factor monocular de percepción de profundidad que se explica del siguiente modo: Fijando determinado objeto, si desplazamos horizontalmente los ojos, aquellos objetos situados por delante se desplazan en sentido contrario y los situados más lejos lo hacen en el mismo sentido.

* *Perspectiva del movimiento*. Sensación de que los objetos situados más próximos se mueven con más rapidez que los lejanos.

André Louis Cantonnet (1932) concluye en el apartado que refiere "la visión de relieve en el monoftalmo", de su libro "*Le strabisme*" (Pág. 33), diciendo: "... *el tuerto jamás puede tener percepción del relieve, pero puede sentir la ilusión donde obtener el conocimiento*".

A juicio de **Hermann Martin Burian**, cuando fijamos un objeto, si coinciden en el espacio muchos *factores monoculares de relieve*, la facultad binocular de *estereopsis* disminuye y a la inversa. También existen individuos con mayor capacidad para utilizar la *estereopsis* binocular pura con el menor número de *factores monoculares de relieve*. O sea, que la percepción visual del espacio es algo meramente subjetivo y captado por cada individuo a su manera: física, fisiológica y psicológicamente.

Claud Worth (1903) describió la *estereopsis* como el tercer grado de la visión binocular ("Squint" Pág. 13). Actualmente, este aserto carece de peso específico alguno. Aunque la fusión (segundo grado de la visión binocular de Worth) y la *estereopsis* (tercer grado de la visión binocular de Worth) caminan de forma paralela en el acto binocular normal y, de hecho,

coinciden la mayor parte de las veces (no siempre, puesto que puede haber fusión con buena amplitud sin *estereopsis*), hoy sabemos que fusión y *estereopsis* son procesos absolutamente distintos, cuyas diferencias fundamentales son:

a) La *estereopsis* no es percibida más allá de 500-600 metros, en tanto que la capacidad de *fusión* existe en toda distancia. **François D'Aguilon (1613)**, en su Tratado "De distantia cognitione" dice "... *con frecuencia, cuando las cosas distan mucho, no conocemos con certeza en qué grado la lejanía se hallan separadas de la visión, pues nada hay tan obscuro como la medida y cantidad del intervalo*".

b) La *fusión* es facultad binocular que proyecta en dos dimensiones, en tanto la *estereopsica* es tridimensional.

c) **David Hubel y Torsten Wiesel** han descrito que las células corticales con facultad *estereoscópica* y las responsables de la *fusión* ocupan lugares distintos en el cerebro.

d) Para *fusionar* es preciso el complemento motor, que no es necesario para ejercer la función de *estereopsis*.

COMENTARIOS A LA TEORIA DE JOSÉ BOVIS

La *estereopsis* es función filogenéticamente adquirida con finalidad darvinista de lucha por la existencia para proporcionar al animal posibilidad de precisar la distancia exacta a la que se encuentra su objetivo o presa.

Para ello, es preciso la percepción binocular del objeto en su entorno. No hay posibilidad de ver en relieve, ni percibir profundidad alguna de un objeto aislado en el vacío. "... *es preciso situar los objetos en su relación con los demás, que se ven alrededor de él para que tengamos sentido verdadero de estereopsis*".

En la actualidad y desde el principio de su descubrimiento, la *estereopsis* se explica y justifica por *disparidad retiniana*. Cuando se hace referencia a ella será, según **Jesús Bovis**, en razón

de "... un único estímulo procedente de un objeto único observado y sin relación alguna con los demás que le rodean". Y continúa este autor: "... *disparidad. Solo disparidad. Nada más que disparidad*" como modo de explicar los diferentes investigadores, a lo largo del tiempo, la sensación de relieve en la visión.

El fin último y primordial de la *estereopsis* es el conocimiento de la distancia existente entre el objeto diana y los ojos del animal. Se calcula tomando como referencia los cuerpos opacos situados en torno al mismo, por delante y por detrás de él. Nadie ha prestado atención a lo que ocurre en visión binocular por delante y por detrás del objeto que observa, justificándose el sentido de profundidad, el relieve o la *estereopsis* solo por la *disparidad retiniana*.

Estudios de investigación, sobre todo experimentales en animales, han ido conociendo muchos aspectos de la corteza cerebral visual en torno a la cisura calcarina y otras áreas corticales relacionadas con ésta. Sigue desconociéndose la forma en que los impulsos transmitidos desde la retina hasta estas áreas actúan para dar lugar a la percepción binocular del relieve. Y es que, a juicio de **Bovis**, todos los experimentos están basados en la elaboración y seguimiento de imágenes desde la retina hasta la corteza occipital, que jamás se producen en la vida real. Valorar el efecto de la *disparidad retiniana* provocada por un objeto único y aislado en el espacio, es situación absolutamente irreal, que no tiene nada que ver con la auténtica veracidad de la visión binocular.

El pensamiento actual y unánime sobre la forma de explicar la *estereopsis* es la siguiente: Cuando el individuo mira un objeto con sus dos ojos, cada retina, dada la diferente posición y distancia que ocupan los ojos en la cara, percibe diferente imagen al ser visto el objeto en cuestión bajo ángulos distintos o, lo que es lo mismo, bajo otra perspectiva. Esto da lugar a la recepción de dos imágenes *disparas* incidiendo sobre puntos que no son exactamente correspondientes. El

resultado y la consecuencia última de esta *disparidad* es la *estereopsis*, que desde **Wheatstone (1838)** hasta el momento actual no ha sido cuestionado por nadie.

La teoría del relieve de **Bovis**, que acepta en parte este aserto, lo considera insuficiente. Dice: "... *percibir un objeto aislado en el espacio es una elucubración casi metafísica. La realidad cotidiana jamás va a poner ante nuestros ojos nada semejante. Siempre habrá algo detrás y delante de lo que sea*".

A nuestro juicio, su idea más que teoría es "evidencia". Se demuestra en la práctica por los principios fundamentales de la Óptica Geométrica, cambiando radicalmente los asertos clásicos en los que están basados la *estereopsis*.

Para **Bovis**, hay un hecho que siempre está presente en todos y cada uno de los actos de la visión binocular y que, hasta ahora, había pasado desapercibido o al menos no se le había dado la importancia que merece en el papel que juega en la percepción de la tercera dimensión: Es que "... *detrás de cada objeto que tengamos por delante, uno u otro ojo verá cosas que el otro no ve*". Siempre hay un área, una zona del espacio, más o menos importante, situada posterior al objeto fijado que es visto por un ojo y no por el otro. Lo podemos comprobar experimentalmente en cada momento, correspondiendo esta área en la retina del ojo que percibe, al área limítrofe a la fóvea que a su vez está recibiendo la imagen del punto de fijación. Así pues, hay áreas en el espacio, que en visión binocular son percibidas por un ojo y no por el otro y que este autor llama *lagunas monoculares*. Esta es la verdadera causa y explicación de la sensación de profundidad, de la *estereopsis*. Sin la existencia de estas áreas monoculares puede haber fusión si lo que percibimos se encuentra en el mismo plano, pero jamás habrá sentido del relieve. Esta experiencia la podemos hacer a modo de ejercicio práctico en cualquier momento.

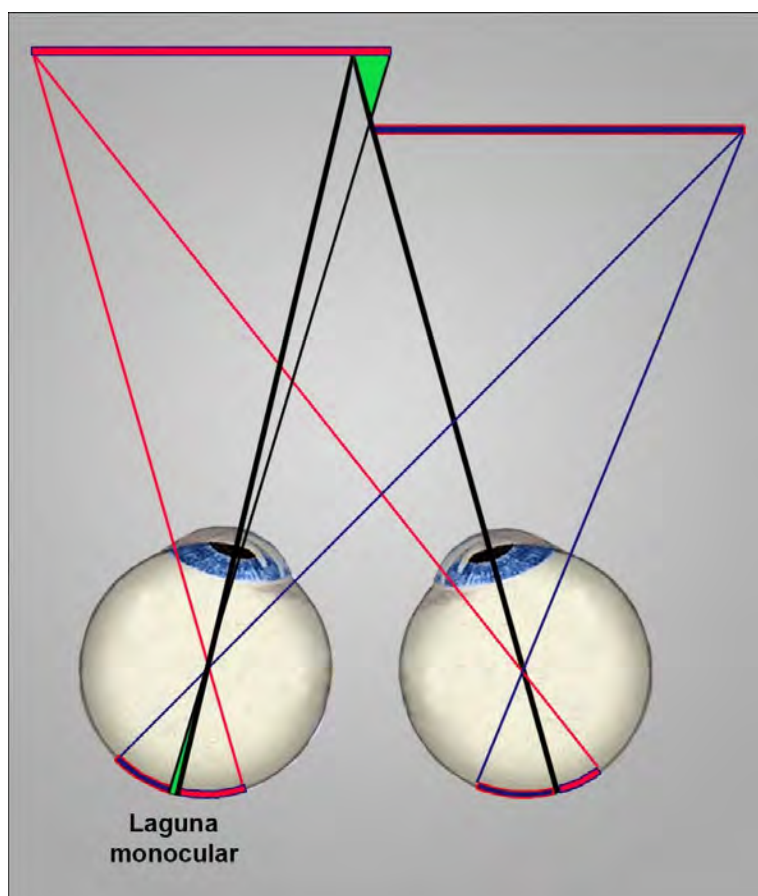


Figura 22. Área monocular de confusión visual.

Con el respeto que siempre merece el nombre que el autor da a su obra, y sin pretender protagonismo alguno, pensando tan solo que es forma de rendir homenaje a la paternidad; suponiendo que los nombres y los conceptos se pueden rectificar si lo que se busca es aclaración al problema y comprensión fácil para el lector que desee interesarse por el tema, a mí me parece más feliz que el término de *lagunas monoculares*, el nombre de *áreas monoculares de confusión visual*, sobre la base de que éstas, lo que producen para aportar sentido de *estereopsis*, es un fenómeno fisiológico de *confusión* sobre nuestro binóculo. En tanto un ojo percibe el área en cuestión sobre un campo receptor retiniano adyacente a la mácula (yuxtafoveal), el otro ojo percibe en el campo receptor "correspondiente" del otro ojo "algo distinto", dando lugar al fenómeno de *confusión*, que entra en rivalidad y es neutralizado, siendo el *área monocular*

de confusión visual la que aporta todo el protagonismo a la teoría del relieve de **Bovis**, de tal forma que cuando esta área no existe, podrá haber fusión pero jamás *estereopsis*.

Ciertas singularidades caracterizan las *áreas monoculares de confusión visual*:

a) Dominancia.

El *área monocular de confusión visual*, visto solo por el campo receptor retiniano de uno de los dos ojos, es siempre dominante sobre el área retiniana correspondiente del otro ojo que está recibiendo del espacio exterior "algo distinto", que es neutralizado.

b) Valor angular del *área monocular de confusión visual*.

Cuanto mayor sea este valor angular o tamaño horizontal del *área monocular de*

confusión visual visto por un ojo, mayor profundidad o sensación de relieve existirá y viceversa. Cuando este valor angular sea cero, se corresponderá con dos objetos vistos en un mismo plano. Sobre un plano puede haber fusión, pero nunca *estereopsis*. Habrá *disparidad retiniana*, pero no relieve ni sentido de profundidad.

c) Variabilidad constante de la conducción del **área monocular de confusión**.

El **área monocular de confusión visual** va a ser conducida al cerebro derecho o izquierdo según el individuo mire inmediatamente por delante o por detrás de esta área. El **área monocular de confusión visual** cuando la fijación se hace sobre el objeto inmediato más próximo, siempre recaerá sobre la retina nasal yuxtafoveal, llegando al cerebro opuesto por la vía óptica cruzada. Cuando la fijación se realiza sobre el objeto inmediato más lejano, el **área monocular de confusión** incidirá en la retina temporal yuxtafoveal, y será enviado al cerebro del mismo lado por la vía óptica directa. Es decir, casi simultáneamente según se mire inmediatamente delante o detrás del objeto en cuestión, el **área monocular de confusión visual** será dirigida a un hemisferio o al opuesto.

Bovis, en sus experiencias en bello trabajo publicado en *Acta Estrabológica Nº 3 del año 2004*, va más lejos, rompiendo definitivamente todos los esquemas tradicionales: La existencia del **área monocular de confusión visual** en un ojo imposibilita la fusión, pues existe absoluto antagonismo entre fusión y confusión, siendo esta obligatoriamente inhibida, porque para poder realizar visión normal tiene que neutralizarse la imagen que incide en el campo receptor correspondiente del otro ojo. Significa, como hace tiempo se demostró, que *fusión* y *estereopsis* son funciones independientes, que no tienen nada que ver entre sí y que caminan por sendas, si se quiere paralelas, pero definitivamente separadas. Solo hay fusión cuando lo que se observa está situado sobre un mismo plano y a la misma distancia del observador, exista, o no, *disparidad*. Se percibe con *estereopsis* cuando los objetos se encuentran en planos distintos, con **áreas monoculares de confusión visual**, sin existir fusión

de estas áreas, y sin que la clásica *disparidad retiniana* tenga participación transcendental en esta elevada función.

ESTEREOPSIS. ANTECEDENTES.

(BRUCKE, 1841, DOVE, 1853, DONDERS, 1867, JAVAL, 1896)

El que fuera Profesor de Fisiología de las Universidades de Königsberg y de Viena, **Ernst Wilhelm von Brücke**, en 1841 fue el primer autor en constatar la influencia de los movimientos oculares en la percepción de la visión estereoscópica (*teoría dinámica de Brücke*). Para él, es necesario mover de forma sucesiva los ojos recorriendo con la mirada los diferentes puntos del objeto considerado, logrando verlos simples. Se estaría haciendo, según **André Louis Cantonnet (1932)**, una sucesiva y rápida "*palpación visual*". La percepción de relieve precisaría variaciones de convergencia fijando sucesivamente el objeto lejano y el próximo, independiente de la finalidad que se persiga con ellas. Estos cambios angulares de los ejes visuales son los que traducirían la diferente profundidad.



Ernst Wilhelm von Brücke
(1819.1892)

Como dijo **Julius Bernstein (1883)** es: "... una especie de viaje que ejecuta el punto común de mirada de los dos ojos, para conseguir con este recurso precioso evaluar distancias, tener

conocimiento del espacio, y jugar el papel principal en la visión estereoscópica". ("Les sens" Pág. 122)

El filósofo español **Jaume Balms (1846)**, con anterioridad, había afirmado: "... en mi concepto, la vista necesita del movimiento para darnos idea de volumen. Con los ojos inmóviles no se alcanzaría a discernir entre lo que el objeto tenga de sólido y lo de mera perspectiva".

Este "viajar" transitando los diferentes puntos del objeto fijado, **Santiago Ramón y Cajal** lo describe perfectamente: "... cuando miramos con ambos ojos un objeto, si realizamos movimientos rápidos de convergencia y, por consiguiente, de proyección binocular en el espacio, la sensación de relieve aparece; pero si inmovilizamos la convergencia y la proyección en un solo plano, cesa la percepción de la tercera dimensión y el relieve desaparece casi del todo. Y es que la sensación de la tercera dimensión brota de la persistencia cerebral de varios estados próximos de convergencia y, por consiguiente, de una serie de proyecciones sucesivas en varios planos distintos del espacio. El cerebro ve a un tiempo varios planos del objeto, porque dentro de un tiempo dado los contempla como presentes y espaciados". Para **Ramón y Cajal** la diferencia patogénica entre la visión de una imagen plana de otra con relieve radicaría en que la percepción de la primera se llevaría a cabo actuando la convergencia una sola vez, mientras que para percibir la segunda tendría la convergencia que actuar varias veces.

Sin embargo, según los trabajos de **Dove (1842)**, **Hering (1865)** y **Helmholtz (1867)**, no sería necesario mover los ojos para precisar el relieve (*teoría estática*), aunque otros autores, como **Donders** y **Recklinghausen (1867)**, mantienen un desacuerdo intermedio al decir: "... sin movimientos es posible reconocer que diferentes puntos no están colocados a la misma distancia, pero es imposible decidir cuál de estos puntos es el más alejado y cual el más próximo. Fijando invariablemente un mismo punto, es imposible distinguir si otro punto está más alejado o más próximo que el primero".

Desde luego, la experiencia aporta la afirmación de que la *teoría estática* sería suficiente, aunque al recorrer la vista por los diferentes puntos del objeto se mejora y matiza

de forma indiscutible la sensación de relieve, aunque no sean precisos estos movimientos oculares para saber, simplemente, si hay o no profundidad.

Emile Javal (1896) destaca los conceptos de *existencia* y *cuantificación*, o como dice literalmente: "*notion et mesure*". Este autor no abandona los trabajos de **Brucke** aunque los matiza introduciendo el factor de "...*inervación diferente que pone en marcha el movimiento relativo de los dos ojos para ir de un punto a otro de profundidad distinta*". Es la toma de consciencia del movimiento vergencial la responsable de la medida y cuantificación del relieve, hecho no compartido por **Benjamin Bourdon (1902)**.

Para **Franciscus Cornelius Donders (1867)**, la tercera dimensión se sustenta así: Acepta la *identidad retiniana* en el sentido definido de que cada punto del fondo ocular de un ojo tiene su correspondiente en el otro, de manera que la impresión luminosa de dos *puntos idénticos o correspondientes* es confundida en percepción única, de la misma forma que la impresión de dos puntos no correspondientes da lugar a percepción de dos luces. Y admite con **Wheaststone (1838)**, que el estímulo de dos puntos retinianos no rigurosamente correspondientes puede fundirse en impresión única. Pero, al considerar los trabajos de **Peter Ludvig Panum (1858)**, reflexiona que si a cada punto de una retina le corresponde un área (pequeño círculo o elipse) de la otra, de modo recíproco cada punto de esta área debería tener su círculo o elipse en la primera retina. Esto le desborda y entiende muy difícil "*poder representar las cosas pasando de esta manera*". Por eso, **Donders** cree que "*la fusión se hace en virtud de la supresión mutua de impresiones simples*". Esta neutralización, realizada en el centro cerebral de percepción, da lugar a una tercera imagen, que será distinta de sus dos componentes iniciales.

En la percepción de profundidad, **Donders** apuesta por la "*teoría dinámica de Brucke*" y por la "*supresión de ciertas partes de las imágenes de cada ojo*" para la consecución de la imagen correspondiente a la tercera dimensión. Y también apuesta por "*el cambio de convergencia necesario para fijar con los dos ojos, al principio un punto,*

después el otro para hacernos adquirir la noción de su distancia relativa, siendo el sentimiento de la convergencia con el sentido muscular correspondiente el que nos hace juzgar de modo bastante exacto la distancia absoluta”.

Y concluye este genial fisiólogo afirmando que en vida ordinaria, en que no se fija jamás un mismo punto, no pueden separarse las indicaciones debidas a las imágenes perspectivas y a las provistas por el cambio de convergencia. Ambas actúan en colaboración y auxilio de modo simultáneo, teniendo interés la experiencia que se va adquiriendo con la visión alternante de convergencia entre puntos más lejanos y más próximos, para ir haciendo a lo largo del tiempo los ajustes oportunos.

Emile Javal (1896) también reconoce a la *neutralización* como “colaboradora preciosa” de la visión binocular cuando dice: “...manteniendo la cabeza inmóvil, mírense en un espejo, primero con los dos ojos y después, de forma alternativa, con uno y otro ojo. Comprobarán las diferencias entre lo que se ve de las tres maneras. Cerrando el ojo izquierdo se ve menos oreja izquierda que cerrando el ojo derecho y recíprocamente. Cuando se abren los dos ojos, se aprecia la suma de todo lo que se veía con uno y otro. Para que este aspecto no sea abominablemente confuso, es preciso que haya *neutralización* parcial de las dos imágenes unioculares. Es así que el contorno de la parte izquierda de la cabeza tal y como sería visto por el ojo derecho ha desaparecido enteramente para dejar subsistir lo deparado por el ojo izquierdo” “Manuel du strabisme” Pág. 41.

Para **Javal** la visión en tres dimensiones estaría basada en la percepción alterna de áreas de las imágenes que son útiles, *neutralizando* las que no son precisas, para llegar así a la síntesis mental.

Marius Hans Erik Tscherning (1898) incide, igualmente, en la notoriedad de la *neutralización* como factor importante a intervenir en la visión binocular cuando, al referirse al *antagonismo de los campos visuales*, dice: “... parece que la *supresión* de las imágenes de un ojo juega un gran papel en la visión binocular” “Optique Physiologique” pág. 292.

René Onfray (1909) escribe: “... tres operaciones fisiológicas entran en juego para

concurrir a la percepción binocular de los objetos: incidencia de las imágenes sobre puntos correspondientes de cada retina, fusión de las imágenes que recaen sobre puntos ligeramente dispares, y *neutralización* parcial de nuestras impresiones visuales. Su combinación constituyen los diversos grados de la visión binocular” “Manuel pratique du strabisme” pág. 11.

Por último, **André Louis Cantonnet (1932)** asevera en la misma idea: “... sabemos que las dos sensaciones de nuestros ojos no son idénticas. La superposición pura y simple daría una imagen confusa. Es preciso una operación delicada de *neutralización* de rasgos superfluos y de composición de rasgos esenciales lo que va a permitir el resultado de fusión”.

Reflexión personal

En modesta opinión, compartimos la *teoría dinámica de Brucke* pero con matices y a través de un mecanismo nervioso, distinto al propugnado por **Javal**.

Para percibir con estereopsis es preciso recibir sensaciones con la *disparidad retiniana* que caracteriza al humano, quien presentando dos ojos separados y situados frontalmente en la cara le permite que sean impresionados por imágenes ligeramente distintas en razón al diferente ángulo de observación que presentan. Estamos de acuerdo con los clásicos en que “*si no hay disparidad, no es posible ver en tres dimensiones*”. La *disparidad binocular* conlleva la excitación de *puntos correspondientes* y de *puntos dispares*. El profesor de la Escuela de Medicina de Caen, **Léon Liégard (1865)**, escribe en su monografía “(Deux problèmes de physiologie” pág. 5): “... el objeto que mira el individuo, se compone de sensaciones percibidas en común por los dos ojos (las cuales ofrecen mayor vigor), y otras captadas particularmente por cada uno de ellos, percibidas con menor vivacidad, siendo la asociación de estas dos disposiciones lo que provee a la inteligencia el conocimiento del relieve”. El área percibida por cada ojo de modo aislado **Leonardo da Vinci** lo llama “*aureola monocular*”. A este proceso de unificación de dos sensaciones distintas, por parte de nuestro binóculo, **Peter Ludvig Panum**,

denominó “*círculo de sensaciones*”, necesario para la binocularidad con *estereopsis*.

Ahora bien, no es simplemente esta semejanza paraláctica de las dos imágenes captadas por el ojo derecho y el izquierdo lo que contribuye, por sí misma, a la percepción de relieve, sino la consecuencia de la *disparidad binocular*, que a través de movimientos de vergencia “*palpatorios*”, como si de “*tacto visual*” se tratara (utilizando el vocablo metafórico del conde de Bufón, **Georges Louis Leclerc**), captamos lo que hemos denominado **área monocular de confusión visual**, descrito por Bovis con el nombre de “**laguna monocular**”, que es el substratum de antagonismo y rivalidad sobre el que asienta el acto intelectual que permite al sensorio la percepción en tres dimensiones.

Es preciso, además, “*activar*” esta singular “**área monocular**”, cuya existencia conlleva *antagonismo retiniano* y su consecuencia, tal es el fenómeno de *confusión* o *decorrelación retiniana* que surge, y del que deriva el hecho psíquico fino y selectivo de neutralización del ojo que no la percibe. Conociendo la importancia de la *perspectiva lineal (superposición de los objetos)* en la sensación de profundidad en monocular, en parte podría participar esta pista en la *estereopsis binocular*, como “*aspecto inconsciente*”, según expresión de **André Louis Cantonnet**.

A nuestro juicio, para poder “*activar*” el área monocular de confusión visual (*laguna monocular de Bovis*), se precisa poner en marcha el proceso fusional de los *referentes* inmediatos anterior y posterior a este área, a través de las *palpaciones visuales* de **Cantonnet**, que es la forma mejor descrita que hemos visto para hacer realidad la *teoría dinámica de Brucke*. El filósofo y matemático griego **Pitágoras de Samos (582-507 a.d.C.)** hablaba de “*...el ojo palpando de alguna manera los objetos*”. Si el individuo tiene correspondencia retiniana normal con capacidad, así mismo, normal para fusionar estos *referentes*, no habrá problema y el sentido de *estereopsis* será perfecto a través del mecanismo citado anteriormente valorando el **área monocular de confusión visual**. Por el contrario, en un estrabismo con CRA, esta “*área*” en teoría sigue existiendo, pero no es “*activada*” debido al escotoma de neutralización del ojo estrábico, que

al imposibilitar la fusión con el ojo dominante, ocasiona la ausencia del *referente egocéntrico* de delante y detrás del área monocular de confusión visual, no pudiendo situarla entre ambos *referentes* fusionales.

En un microestrabismo con *identidad* puede darse la situación de que exista *estereopsis*, aunque disminuida. Sería debido a que hay CRA muy adaptada al desequilibrio óculo-motor, permitiendo cierta fusión de los referentes aludidos antes. La clave se encuentra en la *neutralización*. Si en el *test de Bagolini* hay *neutralización*, no existirá *estereopsis* al no poderse activar el **área monocular de confusión visual**. Si al *test de Bagolini* no hay *neutralización*, encontraremos *estereopsis* aunque sea deficiente.

Resumiendo: Para poder ver en tres dimensiones es preciso ejercitar, al mismo tiempo, *fusión*, *confusión*, *rivalidad retiniana* y *neutralización*, y así llegaríamos al estadio más elevado de visión conseguido con nuestros dos ojos: la *estereopsis*.

a) Mediante la *fusión*, con su peculiar elasticidad fisiológica, obtenemos visión binocular en dos dimensiones.

b) Al producirse la *confusión* del **área monocular de confusión visual**, resultante de la percepción de esta superficie por un ojo y neutralización del otro, que no la percibe en base a su ubicación facial, aunque, no obstante, manteniendo binocularmente los referentes anterior y posterior a ella, es cuando somos capaces de ver en tres dimensiones. Estos referentes son percibidos a través de las *palpaciones visuales* de **Cantonnet**, que es como aplicar la *teoría dinámica de Brucke*.

Es decir, de la captación por nuestros ojos de dos imágenes rigurosamente iguales, nace la *fusión*. Ahora bien, para percibir con *estereopsis*, las imágenes recibidas por cada ojo han de ser ligeramente distintas, no simétricas, en tanto que la imagen resultante final, suma de las dos anteriores, será perfectamente simétrica. Esta imagen final es, por supuesto, mayor que la obtenida para *fusionar* solamente, pues a la

imagen resultante hay que sumar lo percibido por el ojo derecho que no es visto por el izquierdo, y lo visualizado por el izquierdo que no lo es por el derecho. Siempre la imagen estereopsica en tres dimensiones de superior tamaño que la simplemente fusionada en dos dimensiones, con la particularidad de que la localización espacial de los puntos homólogos de cada imagen monocular va a aportar el sentido tridimensional.

Julius Bernstein (1883) en su libro "Les sens" pág. 123 dice: "... *la fusión capta un objeto en un plano, mientras que la estereopsis ve un cuerpo en el espacio*".

¿ES LO MISMO SENTIMIENTO DE DISTANCIA Y PROFUNDIDAD QUE ESTEREOPSIS?

Hiparco de Nicea (190-120 a.d.C), supuso que "... *los rayos que emiten los dos ojos permiten apreciar la distancia, como las dos manos a las extremidades de los brazos*". Se estaba adelantando a las expresiones "*tacto visual*" o "*palpación visual*", que tanto prodigaron nuestros clásicos del XIX como forma de expresión al referirse al sistema proyectivo visual.

Johannes Kepler en 1611 en su libro "Dioptrice, seu demonstratio..." nos dice que "... *el sentido común percibe las distancias, según la sensación de contorsión de los ojos*". Vuelve a la teoría de Alhacen en la que la distancia del objeto se tantea como si fuera con dos palos cogidos con cada mano y acabando en punta. Ello indicaría que la proximidad nos la aporta la mayor o menor convergencia ocular.

Esta teoría no fue aceptada por **François D'Aguilon (1613)**: "... *algunos han afirmado equivocadamente que la distancia se conoce por sí misma en virtud del ángulo de convergencia de los ejes oculares*".

Posteriormente, **George Berkeley (1685-1753)** escribe: "... *la estimación de la distancia del objeto de fijación es logrado por la convergencia y otros factores fisiológicos que no son visuales*".

Sin embargo, desde que **Joseph Harris** en su "Tratado de Optica" (1775) dijera: "... *vemos el relieve por los mismos medios que estimamos la*

distancia", se han venido identificando percepción visual en profundidad y estereopsis o visión tridimensional. **Emilio Díaz Caneja** en la Ponencia "Estereopsis", que escribe el año 1927 en la SOHA, en su pág. 14 dice: "... *recoger el pensamiento de D'Aguilon sobre la percepción de la distancia, que, en suma, es la del relieve o tercera dimensión*". Y es que, la *convergencia* de los ejes oculares como medio de determinar la distancia a la que se encuentra el objeto, muy considerada en los primeros momentos en el pensamiento filosófico del XIX, pasó a ser controvertida en el siglo XX. A partir de ese momento y hasta nuestros días, como acusa **Bovis** (Acta Estrabon 2004. Nº3:149), los autores se han empeñado en creer que "... *todo es disparidad y nada más que disparidad*".

Así pues, podemos decir, sin temor a equivocarnos, que a lo largo de la historia ha habido dos hipótesis que se disputan el mecanismo de percepción binocular de profundidad y sentido de relieve:

a) Teoría dinámica. Basada en variaciones de la *convergencia ocular*, que autores, como **Benjamin Bourdon (1902)**, dicen llevarse a cabo, probablemente, a través de sensaciones musculares ("La perception visuell de l'espace" pág. 234).

b) Teoría estática. Sustentada a través de sensaciones retinianas por ligera *disparidad* de las imágenes percibidas, dada la diferente situación que los ojos ocupan en el macizo facial. Esta teoría alcanzó toda su fuerza con la *ilusión de relieve* conseguida con el estereoscopio (**Sir Charles Wheatstone, 1838**), que parte de dos imágenes planas ligeramente dispares ("Contributions á la physiologie de la vision" Phil. trans., 1838, II, pág. 371-394). Esta teoría fue apoyada por los anaglifos que se asientan sobre el principio de puntos al azar (**Bela Julesz, 1960**).

La *disparidad retiniana* expresa la distancia relativa entre los objetos del espacio mantenidos en el plano de fijación.

En realidad, ambas teorías pueden ser complementarias. Si la *disparidad retiniana* fuera

el único parámetro en explicar el sentimiento de profundidad, ¿cómo interpretar *las leyes de la constancia del tamaño y de la forma?*. Mediante esta ley *“independientemente de la distancia respecto a nosotros, el tamaño de un objeto se percibe constante y, también, se ve constante la forma física de los objetos”*. Si miramos un objeto a un metro y, después, a treinta centímetros, debería verse más pequeño y aplanado en la distancia lejana, y no es así. Considerando esto, los cambios que deberían acaecer en forma y tamaño retiniano de ese objeto al variar la distancia, explica que tiene que haber, obligatoriamente, algún tipo de información adicional extra-retiniana. Mecanismos neuronales especiales garantizarían ambas leyes.

Hasta hace relativamente poco tiempo, se ha venido creyendo que la corteza visual primaria no recibía otra cosa que estímulos visuales procedentes de la retina a través de la vía óptica principal (retino-genículo-calcarina).

Recientes trabajos de neurofisiología han permitido saber que estas zonas, ubicadas en la corteza occipital, presentan estrecha vinculación con otras determinadas áreas cerebrales.

Yves Trotter (1993) comprobó experimentalmente en primates (macaca mulatta) que la actividad eléctrica de gran parte de las neuronas ubicadas en la corteza visual primaria, muy particularmente las situadas en los 2º a 3º centrales del campo visual, es modulada por el estímulo en función de la distancia absoluta del mismo, variando de modo considerable.

Posteriormente el mismo autor constató que fijando un objeto, si modificamos el ángulo de convergencia con prismas también se comprueba actividad eléctrica en estas células. Así se demuestra que el agente causal no es el cambio de la impresión sobre la membrana nerviosa ocular al variar la distancia sino el movimiento de vergencia, lo que indica la inter-relación existente entre el mensaje retiniano llegado a la corteza visual y la posición de los ojos. Esto evidencia que se trata de una señal extra-retiniana. Hay que aceptar que la actividad muscular en el movimiento de vergencia es la base que enjuicia la dirección.

El hecho auténticamente novedoso de estos experimentos es haber comprobado que hay

neuronas a nivel de la corteza visual primaria que responden únicamente a la distancia, con particular sensibilidad en cercanía. Estaríamos ante la existencia de neuronas responsables de la percepción egocéntrica de la profundidad.

Trotter (1991) da gran importancia en el tema que nos ocupa a la *información propioceptiva* de la musculatura extraocular. Hecho que el espíritu intuitivo de **Sir Charles Scott Sherrington** había sugerido en **1918**. Incluso antes de esta fecha, en tesis doctoral **Paul Simon Etienne Ginestous (1901)** expone que: *“...la noción de distancia se tiene por la cantidad de energía empleada en el esfuerzo de la musculatura ocular, de la misma manera que el esfuerzo muscular nos informa del peso que tiene un objeto que levantamos”* (“Du rétablissement de la vision binoculaire dans le traitement du strabisme”, pág. 25). También, el profesor de psicología experimental de la universidad de Rennes, **Benjamin Bourdon (1902)**, concedió importancia a la convergencia, y refiriéndose a los medios a través de los cuales se percibe la profundidad, escribió: *“... se trata probablemente de sensaciones musculares”* (“La perception visuelle de l’espace”, pág. 234). Del mismo modo, **William Nicati (1909)**, discípulo del Catedrático de Anatomía del Collège de Francia, **Louis Antoine Ranvier (1835-1922)**, habla de la convergencia como *“... medio puesto a nuestra disposición para medir de modo efectivo las distancias”*. (“Physiologie oculaire”, pág. 178). Y más recientemente, **André Magitot (1946)** dice en su (“Physiologie oculaire clinique”, pág. 443): *“... estimamos la posición de los objetos gracias a la información que nos aportan los propioceptores de los músculos oculares que dirigen nuestra mirada. La educación que hemos ido adquiriendo nos hace conscientes que tal o cual grado de contracción corresponde a cierta distancia de nuestros ojos. Nuestro entrenamiento nos ha enseñado a traducir las unidades de medida”*.

Posiblemente, los experimentos de **Trotter** estén indicando lo que tratamos de demostrar mediante experimentación clínica: A diferencia de la estereopsis, que precisa de la visión central de los dos ojos, sin la que no hay percepción tridimensional, el sentido de distancia, sin embargo, es parámetro que camina de forma

distinta. Para ver el objeto cuya profundidad se precisa calcular, es suficiente el concurso simple de fusión periférica con percepción central de un ojo, sin precisión de percepción central del otro. O sea, el sujeto puede tener escotoma funcional de neutralización (estrabismo), o escotoma absoluto macular (patología orgánica), no alcanzar la más mínima estereoagudeza y, no obstante, tener capacidad para el cálculo de la distancia absoluta del objeto con relación al individuo. Todo debido a que en la convergencia bi-ocular sensores propioceptivos situados en los músculos extraoculares se encargan de este cálculo. Así se deduce que la apreciación de distancia será tanto más fina cuanto más cerca se encuentre el objeto fijado. Fracasando cuando la distancia es importante, al estar los ojos paralelos y no haber convergencia.

En realidad, esto tampoco es novedoso. **Benjamin Bourdon (1902)** comprobó que la percepción de profundidad era bastante exacta cuando el punto fijado se encontraba a 1 m, poco exacta a 2 m, muy inexacta a 4 m, e imposible de estimar profundidad más allá de 16 m (*"La perception visuelle de l'espace"*, pág. 242). E, incluso, podemos remontarnos a **François D'Aguilon (1613)** quien en su tratado *"De distantia cognitione"* (Libro III, pág. 154) escribe: *"...con frecuencia, cuando las cosas están muy alejadas, no sabemos con certeza en qué grado se encuentran separadas de la visión, pues nada hay tan obscuro como la medida y cantidad del intervalo"*.

He trabajado en los conceptos de sentimiento de distancia y visión en tres dimensiones, llegando a la conclusión de que son funciones distintas, aunque ambas sean facetas de la binocularidad.

El cálculo de distancia o conocimiento de profundidad se encuentra vinculado a la *vergencia*, de tal manera que muchas personas sin estereovisión, carentes de la más mínima estereoagudeza por patología central funcional (estrabismo) o patología central orgánica, realizan perfectamente el *test de coincidencia de Verrey y Lang (1982)* con los dos ojos, en tanto la prueba es fallida al hacerlo monocularmente.

Se ha dicho que el estrábico puede ser homologado al "monoftalmo funcional", de modo que el ojo dominante puede considerarse como "ojo único". Opinamos que tal afirmación es un despropósito. En primer lugar porque el campo visual que aporta el ojo desviado no es gratuidad, como demostraron **Cass (1937)** y **Burian (1971)**. El primero comprobó mayor visión panorámica de los exotrópicos. El segundo determinó la insatisfacción de algunos divergentes operados al sentir la reducción de campo tras cirugía satisfactoria. Pero además, es que el ojo desviado colabora al cálculo de distancia, aun en pacientes con carencia absoluta de estereoagudeza visual.

De prueba realizada sobre 50 pacientes vistos en consulta con microtropía, con ángulo inferior a 5° (grupo 1), y 50 pacientes sin alteraciones oftalmológicas reseñables (grupo 2 ó control). En todos ellos las edades estuvieron comprendidas entre 12 y 50 años, habiendo considerado mínima la menor de las dos en la pretensión de que las respuestas pudieran validarse desde el punto de vista intelectual.

En el grupo I, el 80% eran microtropías secundarias (espontáneas o tras cirugía). El 20% correspondían a microtropías primarias. Había microendotropías (90%) y microexotropías (10%). El 80% tenían agudeza visual normal en ambos ojos. En el 20% había ambliopía del ojo no director, con agudeza visual igual o superior a 0,4. El estudio sensorial reveló supresión total o parcial en el 30% de los casos. Todos los pacientes presentaron correspondencia anómala armónica.

En el grupo II, la agudeza visual con corrección, en todos los pacientes era normal en ambos ojos. La correspondencia retiniana era, así mismo, normal en todos ellos.

El resultado fue que aunque los 50 pacientes del grupo I (enfermos con microtropía) carecían de estereoagudeza a todos los tests de estereopsis (Lang I y II, Randot, TNO y Frisby), realizaron perfectamente el test de coincidencia de Lang y Verrey en bi-ocular, fallando, igualmente todos, en monocular y de modo indistinto cuando la prueba se les hacía en uno y otro ojo.

El 100% de los pacientes del grupo II (grupo control) presentaron estereoagudeza normal a estos tests.

Estos hechos testimonian:

1º Sentimiento de distancia y estereopsis son funciones distintas.

2º La capacidad de percibir profundidades absolutas que tienen los pacientes con microtropía, a diferencia de estrábicos de mayor ángulo, avalan las investigaciones de **Trotter** de que son las neuronas de los 2º-3º centrales del campo visual las que coparticipan en esta función.

3º Sabemos que la calidad de estereoagudeza está profundamente afectada en presencia de cualquier proceso que curse con neutralización en un ojo. Una simple foria descompensada lo demuestra. Sin embargo, la neutralización en las microtropías no influye en la percepción absoluta de la distancia.

4º Comprobar idéntico resultado en pacientes que neutralizan y en los que no lo hacen, indica claramente que la sensibilidad contráctil muscular es el factor que determina sentimiento de profundidad.

Estos resultados lo apoyan los trabajos de **Gauthier (1986)**, quien sostiene la hipótesis de que en el estrábico señales aferentes y eferentes de los dos ojos se combinan para localizar un objeto en el espacio.

Estas conclusiones aportan datos de aplicación práctica. Por ejemplo, para determinar que en el tema de aptitud laboral la carencia de estereopsis no tiene por qué significarle al individuo merma para ocupar determinados puestos de trabajo, en los que no sea imprescindible la visión tridimensional y sea suficiente la capacidad para percibir distancia y localización espacial, que pudieran haberle incapacitado, injustamente, los tests habituales de estereoagudeza.

! Se puede no tener estereoagudeza y, sin embargo, poseer sentido absoluto de distancia !

REFLEXIÓN ACERCA DE LA DOMINANCIA OCULAR FISIOLÓGICA

El acto visual normal, expresado bajo ese logro adquirido a lo largo del tiempo en la

evolución natural de las especies, es un proceso de sucedidos extremadamente complejo que se entremezclan y acontecen en milésimas de segundo para culminar en algo que, a velocidad de vértigo, percibe nuestra conciencia, y que apenas damos importancia aun siendo de extrema perfección. Lo llamamos "*visión estereoscópica*".

En fisiología, para ver en relieve y tener conocimiento de distancia, profundidad, y, en conjunto, sentimiento en tres dimensiones de los objetos de nuestro entorno, es preciso que en el cerebro se esté procesando de forma constate infinidad de información monocular, bi-ocular y binocular. Alguna, cargada de lógica y aparente racionalidad, tal y como ocurre en la que deriva del proceso de fusión o imagen única (haplopía), pero existen otras informaciones bi-oculares, que podrían frívolamente considerarse perniciosas y molestas, aunque no por ello menos necesarias, las cuales, colaborando en perfecta cadencia, dan lugar a un resultado increíble. Y es que, en cada instante de vigilia, la visión se compone, al mismo tiempo, de momentos de *monocularidad*, de *bi-ocularidad*, de *binocularidad*, de *diplopía fisiológica*, de *neutralización*, de *rivalidad retiniana* de determinadas áreas, de instantes de *confusión* acompañada de la opuesta *inhibición*, y de cuantas y cuantas cosas más que, posiblemente, no tenemos consciencia de ellas, ni siquiera de su existencia, pero que el resultado final es elevado y sublime, posiblemente el mayor logro filogénico adquirido: la *estereopsis*.

Los animales vertebrados se caracterizan por estar constituidos por un conjunto de huesos y/o cartílagos, cuya unión ordenada forman la estructura llamada esqueleto, en los que el nexo común es tener como eje del cuerpo una serie de piezas articuladas, que conforman la *columna vertebral*, permitiéndoles determinada flexibilidad.

Cuando miramos el cuerpo de estos animales, en sus lados derecho e izquierdo percibimos una peculiaridad extraordinariamente importante, que es la *simetría bilateral*. Las dos mitades laterales con relación al eje central, arbitrado por la *columna vertebral*, son iguales, tanto en los vertebrados ovíparos, como en los vivíparos, y, también, en los que respiran mediante pulmones, al igual que en los que lo

hacen por branquias. Esta *estructura anatómica simétrica*, va a imponer la peculiar disposición de gran parte de los diferentes órganos y estructuras del animal de forma duplicada, completando, los de uno y otro lado, el soma del animal.

Volviendo a la simetría referida, el córtex, con sus dos hemisferios aparentemente simétricos, ante el estudio de los neurofisiólogos utilizando técnicas modernas de visualización, se han podido detectar asimetrías anatómicas, bioquímicas, electrofisiológicas, e, incluso, de irrigación en ambos hemisferios.

En el humano, en este conjunto simétrico constituido por numerosos órganos dobles, hay entrañas cuyas funciones a realizar son puramente *individuales*, otras *adicionadas* y, finalmente, algunas *asociadas*.

a) Funciones individuales

Las caracteriza el ser propias, peculiares, privadas e inalienables. Solo pueden realizarlas un determinado único e impar órgano. Ejemplo: el corazón o el hígado.

b) Funciones adicionadas

La adición supone añadido, suma o complemento. En este cometido de adición de función, el fracaso de uno de los dos órganos pares traduce falta de colaboración y ayuda, pero la conservación y el trabajo aislado del otro permite mantener el cometido con suficiente competencia para evitar la claudicación final. Aquí podemos considerar las funciones: renal, pulmonar, de las extremidades, e incluso algunas correspondientes al aparato de la visión (capacidad de poder discriminativo y de detección campimétrica de luz, color y forma). En el caso de las extremidades (podal o de las manos) es bien conocida la lateralización o dominancia, sin entrar en matices de que esta situación pudiera ser condición innata o basada en la educación o experiencia.

c) Funciones asociadas

Nos enfrentamos ahora a un problema totalmente distinto. Hay que aplicar la ley del *"todo o nada"*.

La *función asociada* precisa de los dos órganos simétricos para llevarla a cabo. Es

involuntaria, y el individuo no puede elegir tenerla o no. O se tiene, o no se tiene. Por ejemplo la *estereopsis*, que precisa del concurso armónico de los dos ojos, función que no es posible realizar con uno solo. En fisiología, hablar de dominancia de un ojo sobre el otro, cuando ambos tienen que estar ejerciendo *función asociada*, como es la visión en tres dimensiones, que me perdone algún autor si veo ridículo que el médico la intente buscar mediante los *tests del agujero o del puntero*.

En alusión a los órganos de los sentidos, concretamente al aparato visual, la importancia de la duplicidad del órgano adquiere un valor superior, que está por encima de la mera adición de sensaciones, como dijera **Charles Scott Sherrington**. Ahora bien, en la escala evolutiva de las especies, no es lo mismo los ojos elementales de los peces, que los de los anfibios, en cuanto a que, aunque del mismo modo sencillos, les diferencia la tenencia de párpados de estos últimos. Tampoco pueden homologarse los ojos de los reptiles, que ya presentan la retina dispuesta de conos y bastones, a los ojos de las aves, en los que la visión de algunas alcanza gran perfección, ubicados en la mayoría de ellos en disposición lateral; en algunos más frontales con mayor campo binocular, como el búho y la lechuza. Por último, los ojos de los mamíferos, si bien situados en su mayoría en posición lateral, en el orden de los primates se encuentran en posición frontal.

Esta posición de los ojos en el humano, junto a la encefalización de las estructuras nerviosas, unido al desarrollo histológico de la fovea, al especial trayecto hemidecusado de las fibras nerviosas, y a la existencia de las funciones acopladas de acomodación-convergencia, conseguido todo esto a lo largo de millones de años (filogénesis), con el pequeño empujón de ayuda, que, a título individual, imprimen los periodos embriogénico y ontogénico, le ha permitido ver de manera singular, con *sentido espacial* a través de sus componentes de: equilibrio óculo-motor coordinado y recíproco, visión bi-ocular, aptitud de fusión (binocularidad), y capacidad de percepción en tres dimensiones (*estereopsis*).

La finalidad última es el control sensorial de su espacio, manteniendo la constante de ser él, centro de todo el entorno que abarca su campo.

En este trabajo, dentro del gran capítulo de la bi-ocularidad, hacemos referencia sólo al apartado de la visión binocular del individuo que presenta normalidad de equilibrio óculo-motor coordinado y recíproco, y de equilibrio óptico, postural y sensorial.

En él, se lleva a cabo algo tan complejo como que un objeto, que puede, incluso, estar en movimiento, impresionando de forma individual a cada ojo, que es recibido en dos dimensiones, y llegando a ambas retinas invertido en base a las leyes físicas, el intelecto es capaz de verlo *estable* (a pesar de que la inmovilidad absoluta de los ojos no existe), en *haplopía* (percepción mental única), *recto*, y en *tres dimensiones (estereopsis)*. Es como si se tratara de una "ilusión óptica" o pura ficción, al haberse transformado dos imágenes planas (las percibidas con cada ojo) en otra con profundidades sólidas, y, por si fuera poco, situarlo en un preciso y determinado lugar del espacio, que no corresponde ni a la proyección exterior del ojo derecho ni del izquierdo, sino a una quimérica, imaginaria e irreal posición comandada por un inexistente *ojo cíclope* medio. Por último, el individuo es capaz de relacionarlo con los demás objetos que le rodean y, lo más importante, consigo mismo. Así, de esta manera, tiene conocimiento psico-fisiológico de su espacio exterior.

Estoy hablando de la percepción única (*fusión*), con sentido de distancia y capacidad de sentimiento en tres dimensiones (*estereopsis*). Este acto, en el que la participación de la voluntad hay que entrecomillarla, tiene que ser interpretado, entendido, respondido y memorizado.

Pues bien, la binocularidad con *estereopsis* es un sucedido complicado y enmarañado de momentos de fusión, confusión, antagonismo retiniano y neutralización selectiva de estímulos.

En este largo preámbulo pretendemos decir al lector que la *estereopsis* precisa de una inter-relación bi-ocular de tal grado, que hace, sin necesidad de demostración experimental alguna,

ver un tanto hilarante la expresión de dominancia ocular fisiológica.

Determinado objeto situado dentro de nuestro espacio campimétrico llama la atención retiniana, e inmediatamente actúa el reflejo optomotor de fijación, apareciendo, comúnmente, un movimiento sacádico-vergencial buscando la bifovealización, al que se añade el cúmulo de funciones asociadas: pupilar, de acomodación, sentimiento psíquico de proximidad etc. etc. Este movimiento bi-ocular se realiza armónicamente en relación con movimientos de cabeza, cuya utilidad es evitar rotaciones extremas de los globos oculares. Desarrollamos de forma automática el acto binocular de detección y discriminación, participando sucesivamente la visión periférica y la visión central.

A partir de la bifovealización, arranca todo el proceso sensorial que culmina en la *percepción estereóptica*. Este proceso, extremadamente complejo, de información y asimilación binocular está formado de instantes acontecidos, al mismo tiempo, de monocularidad y bi-ocularidad. Y dentro de esta última, sucedidos de fusión, rivalidad retiniana, confusión y neutralización.

Para centrarnos en el tema, añadimos que los dos hemisferios cerebrales humanos, aunque anatómicamente parezcan simétricos, como se dijo antes, se ha demostrado que no es así, y, además se sabe que en el aspecto funcional la asimetría es muy profunda.

A lo largo de la filogénesis, el cerebro humano ha ido diferenciándose, estructuralmente, del resto de las especies para adaptarse a las funciones que le son específicas, como el lenguaje. Y, también, en razón a las desiguales habilidades de los miembros que se han tenido que ir especializando y desarrollando para el trabajo, la defensa, la escritura, los deportes etc.

Esta asimetría funcional de los dos hemisferios la conocemos desde que **Marck Dax, en 1836**, situara en el hemisferio izquierdo las funciones del intelecto más elevadas, y que el anatomista y antropólogo francés **Paul Pierre Broca, en 1861**, descubriera en el Hospital Bicetre de París el centro del lenguaje en la tercera

circunvolución frontal del lado izquierdo (*área de Broca*).

A partir de entonces, hemos aprendido que el hemisferio izquierdo, además de controlar el habla, la memoria verbal, la organización del pensamiento, el razonamiento, y el concepto del cuerpo, gobierna, también, la motilidad de los miembros del lado derecho del cuerpo, aunque con mayor importancia, obviamente, el control de la mano y podal. Por otra parte, el hemisferio derecho tiene otras singularidades, como el tratamiento de la información visual, la interpretación del espacio y otras que, en este momento, no justifica profundizar en ellas.

De esta asimetría funcional ha nacido el concepto de lateralidad (cortical y periférica) para expresar diferencia entre un lado y otro del cuerpo, así como el concepto de dominancia o preferencia para reflejar el predominio funcional de un lado del cuerpo, lógicamente comandado por su hemisferio cerebral correspondiente.

Cuando hablamos de dominancia, podemos considerar dos tipos:

* *Dominancia del control motor de las extremidades (podal y de las manos).*

* *Dominancia del control a nivel de los sentidos (ojos, oídos, tacto).*

a) Dominancia del control motor de las extremidades.

Viene reflejada por el mejor uso de la mano o del pie de uno u otro lado. De esta manera, los individuos son clasificados como *diestros* (domina el hemisferio cerebral izquierdo), *zurdos* (domina el hemisferio cerebral derecho), *ambidextros* (utilizan sus dos miembros indistintamente, si bien prefieren para determinadas acciones uno y para otras el otro), y con *dominancia cruzada* (diestros para un miembro y zurdos para el otro).

La lateralidad de las extremidades, sobre todo las superiores, ha sido la más estudiada.

Antonio Oña y Alfonso María Bilbao (2000) mantienen la hipótesis de que: "... la lateralidad puede entenderse como un conjunto de conductas, que se adquieren cada una de ellas de

forma independiente, por un proceso particular de entrenamiento y aprendizaje, en lugar de quedar determinadas por una supuesta facultad genérica neurológica innata".

b) Dominancia del control a nivel de los sentidos.

Aquí es donde encontramos mayor confusión. En principio, decimos que la estructuración par de los vertebrados no lleva implícito, en fisiología, que uno de los dos órganos tenga dominancia sobre el otro. Entre otras razones, porque no conocemos alguna que indique que deba ser de esta manera.

La lateralidad auditiva se ha estudiado con mayor profusión que la visual. Algunos autores creen que para los estímulos verbales hay dominancia del oído derecho, en tanto que en los no verbales la dominancia es patrimonial del izquierdo. Pero el tema no está claro.

La *dominancia ocular fisiológica*, sin embargo, ha sido menos estudiada. Casi nada estudiada. A nuestro juicio, por la dificultad en encontrar tests adecuados para su investigación que no se solapen ni sobre ellos influyan la lateralidad o dominancia de las extremidades.

Marius Hans Eirk Tscherning en 1898 escribió: "... todos los individuos tienen un ojo director". Este hecho se ha mantenido hasta ahora sin discusión alguna. De ello se habla de modo habitual, sin ningún pudor ni duda al respecto, sobre todo en cirugía faco-refractiva, para justificar determinados comportamientos de tratamiento. **Reading (1983)** ha clasificado la *dominancia ocular fisiológica* en: *dominancia direccional, dominancia motora y dominancia sensorial*. Esta clasificación no la compartimos, pero, sin embargo, la aceptamos, al menos parcialmente, por el hecho diferencial de expresar distintas formas de dominancia.

Dominar es "ejercer poder o ascendencia sobre algo", y en el caso que nos ocupa de un ojo sobre el otro.

Cuando se habla de *dominancia ocular fisiológica*, lo primero a especificar es a qué tipo de visión nos estamos refiriendo. ¿Lo hacemos en alusión a la *visión binocular*, a la *concurrente*, tal vez a la *alternante*? (estás dos últimas dentro de la *visión bi-ocular*), ¿o es a todas en conjunto?. La

dominancia ocular fisiológica ¿únicamente es cualificable o también cuantificable?, porque desde el que fuera diestro en dominancia ocular, al ambidextro, podría haber infinidad de grados (ruego disculpen el vocablo de diestro y ambidextro, que la Real Academia Española aplica solo a lateralidad de los miembros).

Por si fuera poco, debemos añadir que la *dominancia ocular fisiológica* no puede relacionarse con la *dominancia cerebral*, puesto que si nos atenemos a la hemidecusación quiasmática, ambos ojos se proyectan sobre los dos hemisferios cerebrales, además de la interconexión habida entre ambos hemisferios de las fibras visuales centrales a través del rodete del cuerpo calloso, que demostraran experimentalmente **Ronald Myers** en **1955** y **David Whitteridge** en **1961**. Esto lleva a la aberración que supone querer encontrar parecida situación en el sistema visual con lo que ocurre en referencia a la lateralidad existente a nivel de extremidades.

Centramos el problema exponiendo el siguiente criterio definitivo: Asentamos en la diferenciación de los tres tipos de dominancia de **Reading (1983)**, pero con matices importantes en cuanto a su existencia.

A) Dominancia fisiológica direccional

La *dominancia direccional*, entendemos que sí existe. Perfectamente puede ponerse en evidencia explorando al paciente mediante la famosa experiencia de **Tscherning (1898)**:

Este autor la describe así: Coloca dos velas en el plano medio del cuerpo a la misma altura, aunque a distancias diferentes. Fijando binocularmente la vela más lejana, la vela próxima se desdobra, percibiéndose dos imágenes. Comprueba que en tanto el ojo derecho se corresponde con la vela de la izquierda, el ojo izquierdo lo hace con la vela de la derecha (imágenes cruzadas).

Sin examen especial y sin cerrar uno y otro ojo el individuo desconoce la imagen que pertenece a cada uno de ellos.

Fijando la vela lejana, con movimiento rápido hay que tocar con el dedo índice una de las dos velas próximas, que están desdobladas.

Cuando el eminente fisiólogo hizo su experiencia personal, el toque fue certero sobre la vela que corresponde a la imagen del ojo derecho. No así cuando trata de posar el dedo en la del ojo izquierdo, que permanece como imagen virtual, fantasma e inexistente, que no puede tocarse. Realizado el experimento en otros pacientes comprobó que algunos no presentaban tal superioridad de uno de los dos ojos, situándose el centro de proyección entre ambos.

Para **Tscherning** este centro de coordenadas, variable de un individuo a otro, puede estar en el centro o desplazado hacia cualquiera de los lados, pudiendo, incluso, coincidir prácticamente con uno de los ojos, como se dio en su caso personal. Yo, también he realizado la misma experiencia que este autor describe en su "*Optica Fisiológica*" (pág. 188), e, igualmente la tengo desplazada y en concordancia con la imagen que ve mi ojo derecho. En otras personas que hemos realizado el experimento, lo marcan en el centro y, en menos ocasiones, puede tenerse movida hacia el lado izquierdo.

Ello ha supuesto que autores, desde **Tscherning** hasta el momento actual, hablen en fisiología de ojo director, dominante o prevalente. A nuestro juicio, esto no sería más que *dominancia direccional*, totalmente contaminada por lateralidad de los miembros superiores.

B) Dominancia fisiológica motora

Con respecto a la *dominancia motora*, tenemos dudas sobre su existencia. Creemos que hay que meditar más sobre la incongruencia o falta de correspondencia motora que presentan en fisiología los movimientos de vergencia, hecho demostrable por video-oculografía (**Perea, 2006**), y que, en la década de los 60, **Maurice Quére** demostró mediante electrooculografía, comprobando el incumplimiento de la **ley de Hering (1879)** en este tipo de movimiento.

A juicio del que fuera catedrático de oftalmología en Nantes, la hipermetría de un ojo sobre el otro es expresión de dominancia. De todas formas, advirtiendo que aunque la iniciativa motora pudiera ser más importante en un ojo que en el otro, al final siempre hay acople en la ejecución final en virtud de la vergencia fusional,

que pasa por la bifovealización.

C) Dominancia fisiológica sensorial

Esta sería la dominancia por excelencia. Hemos referido en más de una ocasión que el aspecto motor es controlado por el sensorial. Esta evidencia se demuestra al saber que la mayoría de los individuos son heterofóricos compensados.

Cuando se habla de *dominancia ocular en fisiología*, disculpen mi ignorancia al confesar que, de acuerdo al concepto que tengo sobre visión binocular y, sobre todo, de *estereopsis*, no entiendo que un ojo pueda dominar al otro.

En patología sí es entendible. Podemos referir *dominancia sensorial* en anisometropías, aniseiconias y anisoenfermedades oculares. Es decir, en anisovisión en general, donde habrá, obviamente, un ojo dominante con la colaboración del cerebro, que, como mecanismo de adaptación, siempre va a pretender la *neutralización* del ojo deficiente, para que no perturbe o trastorne lo menos posible a la haplopía.

Ahora bien, en fisiología, cabe preguntarse: ¿qué utilidad podría tener que un ojo domine?. Sabemos que en el cuerpo de cualquier ser vivo todo tiene un fin. En tanto no se entienda por qué en un individuo normal un ojo tiene que dominar al otro, se me ha de permitir la duda. Pero, después veremos que podemos ir más lejos.

Cierto es, que cuando el individuo normal apunta con un rifle, mira con un catalejo, o ve con el oftalmoscopio de imagen recta el fulgor pupilar, habitualmente siempre utiliza el mismo ojo: el derecho si es diestro. De la misma manera, cuando trata de escuchar por el auricular del teléfono suele hacerlo con el mismo oído: con el derecho si es diestro y con el izquierdo si es zurdo. Volvemos a insistir que hablamos de lo que ocurre en el individuo normal y no del enfermo que presenta patología en determinado ojo u oído.

Pretender reducir el problema de la *dominancia ocular fisiológica* a lo referido es simplificarlo de modo extremo, que indica desconocimiento de por qué estamos dotados de dos ojos ubicados en el macizo facial en situación singular. Podríamos tenerlos a cada lado de la cara

como la mayoría de los mamíferos, que, en algunos casos, como ocurre con las gallinas, sin tener estos animales, posiblemente, penosidad confusional, poseen precisión extraordinaria para picotear el grano a diestra y siniestra, y con tal exactitud que más la quisiera para sí el hombre en ciertos menesteres, a pesar de su binocularidad. Naturalmente que el diestro para concretar el disparo con un rifle, utilizando el dedo índice de su mano derecha, no puede apuntar con su ojo izquierdo. Al igual que es más rebuscado que el diestro que toma un catalejo con la mano derecha mire con su ojo izquierdo cruzando la línea media de su cara.

Cualesquiera de las pruebas utilizadas en clínica para determinar la dominancia ocular motora, en las que participan la intención y atención del individuo, como son el *test del agujero*, el *test del puntero* o el *test del catalejo*, aunque pidamos al paciente asirlo con las dos manos, carecen de valor, al ser pruebas contaminadas por la lateralidad de las extremidades, que les resta crédito. Siempre, repetimos, con referencia a la persona normal (con isovisión y estereopsis).

Los tests en los que hacemos intervenir la *rivalidad o antagonismo retiniano* de **Helmholtz (1867)**, bien sea bajo las variantes de forma, brillo o color, como es el test de Worth, no son pruebas concluyentes que puedan pasar la más elemental crítica. Suelen presentar fluctuaciones alternantes muy variadas, que si aplicamos el mínimo rigor quedan totalmente desechadas. **Díaz Caneja (1928)** con sus figuras estereoscópicas demostró que lo que el individuo ve no son determinados aspectos de cada una de las dos imágenes entrando en rivalidad, sino una imagen total y lógica fundamentada en la experiencia, y en donde el valor de la atención y el pensamiento sería el único factor importante, sin participación de la dominancia cerebral. Este autor, a mi juicio el español que más ha meditado sobre visión binocular, escribe: "... la teoría del ojo director de Tscherning solo parece aplicable a aquellos casos en el que la máxima agudeza de un ojo sobre las sensaciones de inferior calidad de su congénere impone su campo monocular como base adonde la orientación binocular se define". Es forma de

expresar que la dominancia ocular fisiológica no existe. Solo puede admitirse en patología.

Posiblemente, la exploración que podría aportar datos al tema de la *dominancia ocular fisiológica* es el *test cinético de vergencia*. Los motivos son:

1. Este movimiento es inducido solamente por estímulos visuales, sin contaminación asociada de lateralidad.

2. La vergencia es un movimiento que precisa la estimulación de las dos retinas.

3. El movimiento se compone de dos fases: rápida (la primera) y lenta (la segunda). El momento final de ajuste del movimiento es un ejercicio preciso de bifoventación, en el que participa esencialmente la vergencia fusional.

4. Estudia, al mismo tiempo y en asociación, sensibilidad sensorial y motora. Por tanto valoraría dominancia motora y sensorial.

El mayor inconveniente estaría en la dificultad de cuantificar y dar la importancia justificada a la fase lenta de la vergencia.

La bi-ocularidad, es decir, la visión con dos ojos admite tres posibilidades: binocularidad, alternancia visual, o dominancia de un ojo.

a) Si un ojo domina en el acto visual, el otro tiene que estar sometido o dominado. La única forma de poder entender y manifestarse en fisiología este sometimiento es mediante *neutralización* del ojo dominado.

b) En la fijación de determinado objeto, la *neutralización* de un ojo es incompatible con la estereopsis.

Silogizando: “Si hay dominancia ocular no puede haber estereopsis”. Quiere decir: “la función de estereopsis es incompatible con la dominancia ocular fisiológica”.

Y es que lo que existe en binocularidad es una forma de visión alternante, pero no en sentido opuesto a la función de fusión, como creyera en su momento **Bose (1926)**, sino como forma opuesta a cualquier tipo de dominancia ocular, en el que la percepción por un ojo del *área*

monocular de confusión visual (laguna monocular de Bovis) da lugar a *neutralización*, así mismo, alternante a nivel del campo receptor correspondiente del ojo opuesto, que entra en conflicto de *confusión* y rivalidad retiniana, constituyendo la esencia activa del acto visual binocular normal. Quede claro que no existe dominancia ocular en el sentido sensorio-motor que entendemos por este vocablo, que pudiera recordar el fenómeno de lateralidad de los diestros o zurdos. Se trata de *rivalidad alternante*, como intuyó **Washburn** en **1933**, quien pensó en la gran influencia que este fenómeno tendría sobre la visión en relieve. Para **Javal (1896)** “... la visión en tres dimensiones estaría basada en la percepción alterna de las zonas de las imágenes que son útiles, neutralizando las que no son precisas, llegando, de esta manera, a la síntesis mental”. Esta percepción y neutralización alternas tiran por tierra el concepto de dominancia fisiológica compatible con estereopsis.

Evidente, que en ciertos momentos, de manera extremadamente variable y muy limitada en el tiempo, para poder aportar sentido de relieve y estereopsis, manteniendo la fusión binocular de los referentes anterior y posterior, un ojo tiene que *neutralizar* por la *confusión* que le provoca la falta de percepción del *área monocular de confusión visual*, que está rivalizando con cualquier otra cosa que recaiga sobre su campo receptor correspondiente. Esto podría dar impresión de *dominancia ocular* por parte del otro ojo. Aunque siempre sería unas veces con un ojo y otras con el opuesto, según el ángulo bajo el cual el individuo mire determinado objeto. Es decir, lo que existe no es *dominancia ocular alternante*, sino *neutralización alternante del área monocular de confusión visual* en función de la amplitud angular de fijación o el valor de perspectiva que se adopte. En todo caso, manteniendo la fusión de lo percibido por los dos ojos a la vez.

Podrá existir *dominancia ocular* para evitar el fenómeno de *confusión*. Podrá existir *dominancia ocular* en la función de *fusión simple*, pero creer que existe *dominancia de un ojo* sobre otro, *per se*, en el acto visual normal con ejercicio fisiológico de *estereopsis* es un “sin sentido”. La *alternancia ocular*, con sus fases de dominancia-

supresión de los campos receptores correspondientes al que percibe el **área monocular de confusión visual**, es un eslabón más y totalmente imprescindible de esta función, sin la cual no puede existir visión en tres dimensiones del marco del universo exterior que estamos contemplando.

De esta manera considerada, tiene perfecto sentido las dos teorías que existen para explicar la fusión sensorial: la *teoría de la fusión* y la *teoría de la supresión*. La *teoría de la fusión* de las dos imágenes procesadas en la corteza visual fue demostrada en 1965 por **David Hubel** y **Torsten Wiesel** y es aplicable para la función de *fusión sensorial*. La *teoría de la supresión* es

adaptable para la función de *estereopsis*. En tanto un ojo percibe el **área monocular de confusión visual**, el otro, entrando en rivalidad retiniana, tiene forzosamente que neutralizar, ya que la *confusión* lleva implícita *neutralización* a nivel de esferas superiores. *En la combinación psíquica de las percepciones habidas en los dos ojos, dando como resultado la síntesis mental que se traduce por estereopsis, hablar de dominancia de un ojo sobre el otro en su aspecto sensorial es, y lo digo con respeto, desconocer la esencia de la visión binocular.*

En fisiología no puede entenderse la dominancia ocular en una red funcional organizada que trabaja binocularmente.

BIBLIOGRAFÍA

- Adler FH.**- Physiology of the eye. Edición: Mosby. SaintLouis. 1955.
- Awaya S, von Noorden GK, Romano PEW.**- Sensory adaptations in strabismus anomalous retinal correspondence in different positions og gaze. *Am Orthopt J* 1970. 20:28.
- Aguilon de F.**- Opticorum libri sex philosophis iucta ac mathematicis. Anberes. 1613.
- Arruga A.**- Diagnóstico y tratamiento del estrabismo. *Ponencia de la Sociedad Oftalmológica Hispanoamericana*. Edición: Bermejo. Madrid. 1961.
- Backus BT y col.**- Horizontal and vertical disparity, eye position, and stereoscopic slant perception. *Vision Res* 1999. 39:1143.
- Bagolini B.**- Tecnica per l'esame della visione binoculare senza introduzione di elementi dissocianti (prove del vetro striato). *Boll Oculist* 1958. 37:195.
- Bagolini B y col.**- Subjetive space in comitat squint. *Am J Ophthalmol* 1965. 59:430.
- Banks MS y col.**- Sensitive period for the development of human binocular vision. *Science* 1975. 190:675.
- Beverly KI y col.**- Selective adaptation in stereoscopic depth pereception. *J Physiol* 1973. 235:17.
- Birch EE y col.**- Stereoacuity development for crossed an uncrossed disparities in human infants. *Vision Res* 1982. 22:507.
- Birch EE y col.**- The development of vergence does not account for the onset of stereopsis. *Perceptions* 1983. 12:331.
- Birch EE y col.**- Criteria for monocular acuity deficit in infancy and early childhood. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 1988. 29:636.
- Birch EE y col.**- Prospective assessment of acuity and stereopsis in ambliopic esotropes following early surgery. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 1990. 31:758.
- Blake R.**- Abnormal fusion of stereopsis and binocular rivalry. *Psychol Rev* 1988. 95:151.
- Bossink C y col.**- A test of Levelt's second proposition for binocular rivalry. *Vision Research*.
- Bovis Bermúdez J.**- Lagunas monoculares en visión binocular. *Achivos Sociedad Oftalmológica Hispanoamericana* 1967. Tomo XXIII. N.º 7.
- Bovis Bermúdez J.**- Lagunas monoculares. *Acta Estrabol* 2004. N.º 3:149.
- Brown JP, Ogle KN, Reier L.**- Stereoscopic acuity and observation distance. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 1965. 4:894.
- Bouasse H.**- Visión et reproduction des formes et des couleurs. Edición: Delagrave. París. 1917.
- Bourdon B.**- La perception visuelle de l'espace. Edición: Schleicher Frères. París. 1902.

- Bufon.** Histoire naturelle, générale et particulière. Tome Onzième. Edición: Imprimerie Royale. París. 1778.
- Bufon.**-Historia natural. Obras completas. Edición: A. Bergnes. Barcelona. 1834.
- Burian HM.**- Binocular vision and ocular motility. St-Louis. CV. Mosby. 1985.
- Campbell FW y col.**- Monocular versus binocular visual acuity. *Nature* 1965. 208:191.
- Cantonnet A y Fillozat J.**- Le strabisme. Edición: Éditions Médicales Norbert Maloine. París. 1932.
- Castresana B y col.**- El estrabismo. Edición: Paracelso. Madrid. 1926.
- Chaumont P.** La répulsion. *J Fr Orthopt* 1988. 205.
- Chaumont P.**- Répulsion inhibition et correspondance rétinienne. *J Fr Orthopt* 1992. 177.
- Clarke WN.**- Stereoacuity testing in the monofixation syndrome. *J Ped Ophthalmol Strab* 1990. 27:161.
- Condillac.**- Traité des sensations. 1754.
- Courten C y col.** Morphology of the neurons in the human lateral geniculate nucleus and their normal development. *Exp Brain Res* 1982. 47:159.
- Crovitz HF y col.**- Dominance of the temporal visual fields at a short duration of stimulation. *Am J Psychol* 1963. 76:631.
- Cumming BG y col.**- Vertical disparities and perception of three-dimensional shape. *Nature* 1990. 349:411.
- Díaz Caneja Candanedo E.**- Discurso leído en la Real Academia de Medicina y Cirugía de Valladolid. 1949.
- Díaz Caneja Candanedo E.**- La doble sensación visual y su percepción única. Discurso de apertura del curso de la Universidad de Valladolid. Valladolid. 1957.
- Donzis PB y col.**- Effect of binocular variations of Snellen's visual acuity on Timus stereoacuity. *Arch Ophthalmol* 1983. 101:930.
- Dufour M.**- Les idées de Hering en optique physiologique. Edición: Imprimerie nationale. París 1909.
- Duke-elder S.**- System of ophthalmology. Londres. Kimpton 1958.
- Fisher NF.**- The optic chiasm and the corpus callosum: their relationship to binocular vision in humans. *J Ped Ophthalmol Strab* 1986. 23:126.
- Edwards M y col.**- Luminance contrast and spatial-frequency tuning of the transient-vergence system. *Vision Res* 1998. 38:705.
- Fahle M.**- Binocular rivalry: Suppression depends on orientation and spatial frequency. *Vision Res* 1982. 22:787.
- Fahle M.**- Naso-temporal asymmetry of binocular inhibition. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 1987. 28:1016.
- Fisher NF.**- Binocular vision. *J Ped Ophthalmol Strab* 1988. 25:212.
- Foley JM.**- Binocular distance perception. *Psychol Rev* 1980. 87:411.
- Fox R y col.**- Stereopsis in human infants. *Science* 1980. 207:323.
- France TD y col.**- Evidence for binocular function in infantile esotropia. *J Ped Ophthalmol Strab* 1994. 31:225.

- Garding J y col.**- Stereopsis, vertical disparity and relief transformations. *Vision Res* 1995. 35:703.
- Gauthier y col.**- Adaptation processes resulting from surgical correction of strabismus. In: Kell EL, Zee
- Gil del Rio E.**- Optica Fisiológica Clínica. Edición: Toray S.A. Barcelona. 1966.
- Ginestous PSE.**- Du retablisement de la vision binoculaire dans le traitement du strabisme. Edición: Paul Gassignol. Burdeos. 1901.
- Giraud-Teulon F.**- Physiologie et pathologie de la vision binoculaire. Edición: JB Bailliere et fils. París. 1861.
- Halpern DL y col.**- How contrast affects stereoacuity. *Perception* 1988. 17:3.
- Harrad R y col.**- Binocular rivalry disrupts stereopsis. *Perception* 1994. 23:15.
- Harrad R.**- Psychophysics of suppression. *Eye* 1996. 10:270.
- Harwerth RS y col.**- Behavioral studies of local stereopsis and disparity vergence in monkeys. *Vision Res* 1995. 35:1755.
- Harwerth RS.**- Motor and sensory fusion in monkeys: psychophysical measurements. *Eye* 1996. 10:209.
- Hecaen H.**- Neuropsychologie de la perception visuell. Edición: Masson. París. 1972.
- Hess RF y col.**- Comparison of motion and stereopsis: linear and non-linear performance. *J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis* 1999. 16:987.
- Hess RF y col.**- Linear and non-linear filtering in stereopsis. *Vision Res* 1994. 34:2431.
- Hubel DH, Wiesel TN.**- Receptive fields binocular interaction and functional architecture in the cat's visual cortex. *J Physiol* 1962. 160:106.
- Hubel DH, Wiesel TN.**- Effects of visual deprivation on morphology and physiology of cells in the cat's lateral geniculate body. *J Neurophysiol* 1963. 26:978.
- Hugonnier R&S.** Strabismes. Edición: Masson. París. 1981.
- Jacob F.**- El juego de lo posible. Edición: Fondo de cultura económica. México. 2005.
- Javal E.**- Manuel du strabisme. Edición Masson. París 1896. **Jeannerod M.**- Le cerveau-machine. París. Fayard. 1981.
- Jeanrot N.**- Vision binoculaire et stéréoscopie. *J Fr Orthopt* 1995. 21.
- Jeanrot N.**- Bases physiologiques de la fonction visuell. *J Fr Orthopt* 1993. 217.
- Julesz B.**- Binocular depth perception of computer-generated patterns. *Bell System Technical Journal* 1960. 39:1125.
- Julesz B.**- Foundations of cyclopean perception. Chicago. 1971. University of Chicago Press.
- Kaufman PL.**- Adler Fisiología del ojo. Madrid. Elsevier. 2003.
- Katz D.**- Psicología de la forma. Edición: Espasa Calpe SA. Madrid. 1945.
- Kontsevich LL y col.**- Analysis of stereothresholds for stimuli below 2,5 c/deg. *Vision Res* 1994. 34:2317.
- Landers D y col.**- Stereoscopic depth fading is disparity and spatial frequency dependent. *Inves Ophthalmol Vis Sci* 1999. 40:416.
- Le Grand Y.**- Optique physiologique. Tomo 3º. Edición: Masson. París. 1956.

- Le Grand Y.**- Les yeux et la vision. Edición Dunod. París. 1959.
- Liegard L.**- Deux problèmes de Physiologie. Edición: F. Le Blanck-Hardel. Caen. 1865.
- Liu L y col.**- A polar coordinate system for describing binocular disparity. *Visio Res* 1994. 34:1205.
- Lobstein-Henry Y.**- Réflexe optomoteur et strabisme precoz. *Clinique Ophtalmol* 1984. 2:43.
- Magitot A.**- Physiologie oculaire clinique. Edición Masson et Cie. París. 1946.
- Marr D y col.**- A computational theory of human stereo vision. *Proc Royal Soc Lond* 1979. 204:301.
- Meyer E.**- Rapport sur La Vision binoculaire. Edición: G. Steinheil. París. 1896.
- Mitchell DE.**- A review of the concept of Panum's fusional areas. *Am J Optom Physiol Optics* 1966. 43:387.
- Naegle JR y col.**- The postnatal development of monocular optokinetic nystagmus in infants. *Vision Res* 1982. 22:341.
- Nicati W.**- Physiologie oculaire, Edición Schleicher . París. 1909.
- Noorden GK Von y col.**- Experimental amblyopia in monkeys. *Arch Ophthalmol* 1970. 84:206.
- Nuel JP.**- La vision. Edición: Daniel Jorro. Madrid 1905.
- Ogle KN.**- Disparity limits of stereopsis. *Arch Ophthalmol* 1952. 48:50.
- Onfray R.**- Manuel pratique du strabisme. Edición: G. Steinheil. París. 1909.
- Orssaud C.**- Vision binoculaire. *EMC* 2006. 21-545-A-25. **Parinaud H.**- La vision. Edición: Octave Doin. París. 1898.
- Parinaud H.**- Le strabisme et son traitement. Edición: Octave Doin. París. 1899.
- Péchereau A y col.**- Strabisme. Edición: Elsevier Masson SAS. París. 2013.
- Perea J.**- Estrabismos. Edición: Artes Gráficas Toledo S.A.U. 2006.
- Perea J.**- Estrabismos. ISBN: 978-84-695-4601-7. Edición: Artes Gráficas Toledo S.A.U. 2008.
- Perea J.**- Fisiopatología del Equilibrio oculomotor. ISBN: 978-84-695-4603-1. Edición: Brosmac S.L. Madrid. 2011.
- Piaget J.**- Biologie et connaissance. Edición: Gallimard. París. 1967.
- Pigassou R.**- La disparité de fixation: phénomène réel ou artefact instrumental? *J Fr Orthopt* 1983. 31.
- Pigassou R.**- Les strabismes: Les divergences oculaires. Edición: Masson. París. 1991.
- Pigassou R.**- La fonction binoculaire explicitée. *J Fr Orthopt* 1991. 141.
- Poggio y col.**- Binocular interaction and depth sensitivity in striate and prestriate cortex of behaving rhesus monkey. *J Neurophysiol* 1977. 40:1392.
- Pons Moreno AM, Martínez Verdú FM.**- Fundamentos de visión binocular. Edición: Guada Impresores S.L. Valencia. 2004.
- Pratt-Johnson JA.**- Fusion and supresion: development and loss. *J Ped Ophthalmol Strab* 1992. 29:4.

- Rogers BJ y col.**- Vertical disparities, differential perspective and binocular stereopsis. *Nature* 1993. 361:253.
- Saroux H, Biais B.**- Physiologie oculaire. París. Edición: Masson. 1983.
- Schiller y col.**- Functions of color-opponent and broad-band channels of the primate visual system. *Nature* 1990. 343:68.
- Sherrington C.**- Further note on the sensory nerves of the eye muscles. *Proc Roy Soc. London.* 1898. 64:120.
- Sherrington C.**- The muscular sense. 1900.
- Sherrington C.**- Observations in the sensual role of the proprioceptive nerve supply of the extrinsic ocular muscles. 1918. *Brain* 41. 332.
- Spielmann A.**- Les ésootropies precoces, troubles du réflexe de fixation monoculaire. *Bull Soc Ophtalmol Fr* 1988. 88:10.
- Spielmann A.**- Les strabismes. Edición: Masson. París. 1991.
- Trotter Y y col.**- Modulation of neural stereoscopic processing in primate area V1 by the viewing distance. *Science* 1992. 257:1279.
- Trotter Y.**- Bases neuronales de la percepción visual tridimensionnelle chez le primate. *J Fr Orthopt* 1995. 9.
- Trotter Y y col.**- Neural processing of stereopsis as a function of viewing distance in primate visual cortical area V1. *J Neurophysiol* 1996. 76:2872.
- Trotter Y y col.**- Gaze direction controls response gain in primary visual cortex neurons. *Nature* 1999. 398:239.
- Tscherning M.**- Optique physiologique. Edición: Georges Carre y C. Naud. París. 1898.
- Tychsen L.**- Pediatric ocular motility disorders of neuroophthalmic significance. *Neuroophthalmol* 1991. 4:615.
- Tyler CW.**- A stereoscopic view of visual processing streams. *Vision Res* 1990. 30:1877.
- Velasco J y col.**- Desarrollo de la binocularidad en un niño estrábico. *Acta Estrabol* 1998. 5....
- Vinci de Leonardo.**- Traité de la peinture. Edición: Deterville- París. 1796.
- Washburn.**- *Proc Nat Ac Sci* 1933. 19:773.