



# VERGENCIAS COMBINADAS, FUSIÓN SENSORIAL & EI HOROPTER

## AUTOR

**Thomas Salmon:** Northeastern State University, EEUU

## PAR REVISOR

**Scott Steinman:** Southern California College of Optometry, USA

## REVISIÓN DE FUSIÓN MOTORA Y VERGENCIAS

Existen seis tipos de movimientos vergenciales

- Disparidad de vergencia- estimulada por la disparidad retiniana
- Vergencia por acomodación- estimulada por acomodación
- Vergencia tónica - Inervación basal de los MEO en ausencia de un estímulo visual
- Adaptación vergencial- estimulada por la disparidad de vergencia y vergencia de acomodativa; se activa con el pasar el tiempo
- Vergencia proximal- estimulada por la percepción de proximidad de un objeto
- Vergencia voluntaria

Estos mecanismos son controlados por centros del cerebro que trabajan en conjunto para mantener la **fusión motora**; es decir, tienen por objetivo hacer que las imágenes caigan en **puntos retinianos correspondientes**.

## INTERRELACIONES DE LAS VERGENCIAS

**La figura 5-16** en el capítulo de McCormack's (Borish capítulo 5) resume la interrelación entre los diferentes componentes vergenciales.

La vergencia tónica (VT) hace el trabajo básico de llevar los ojos de su posición anatómica de reposo (alrededor de 17 dioptrías prismáticas de exo) a una posición paralela. Si se pretende fijar un objeto cercano, la vergencia proximal (VP) estimula un movimiento convergente grande, lo que hace que los ojos se acerquen hacia una disparidad de vergencia (DV) y a una vergencia acomodativa (AC/A) necesarias para realizar una actividad.

Si se sostiene la fijación en visión próxima, las inervaciones de disparidad de vergencia y las inervaciones de la vergencia acomodativa estimulan la adaptación vergencial, que se hace cargo de la respuesta de convergencia paulatinamente. Esto es ajustado por el circuito de retroalimentación. Ya que la postura tónica de los ojos es levemente endofórica, una leve cantidad de disparidad negativa de vergencia y de acomodación negativa refleja, es necesaria para fijar un objeto distante.

## MAS SOBRE DISPARIDAD DE VERGENCIA

Recuerde que la **disparidad de vergencia** (también llamada convergencia fusional) es considerada como el mecanismo primario empleado para alinear la fijación con un objeto de interés. Todas las otras vergencias ayudan con un alineamiento menos específico de los ojos, pero, la fusión motora precisa es determinada por la disparidad de vergencia.

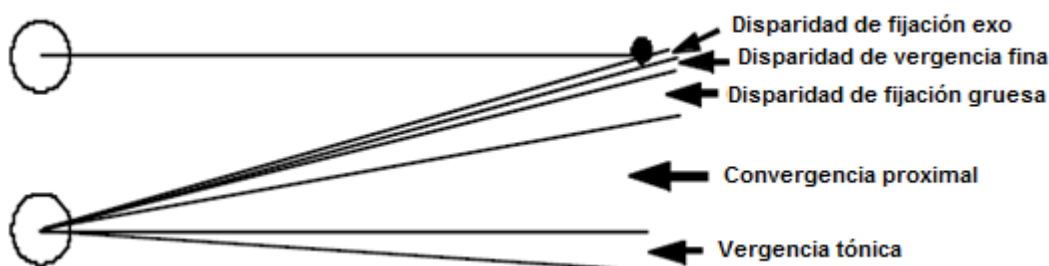
La disparidad de vergencia tiene dos componentes:

- Disparidad de vergencia positiva (disparidad de convergencia)
- Disparidad de vergencia negativa (disparidad de divergencia)

*Existen dos grupos celulares separados en el cerebro que se conocen con el nombre de células para convergencia y células para divergencia, las cuales inervan la disparidad positiva y negativa respectivamente. El número de células de divergencia es significativamente menor que las células de convergencia, lo que podría explicar el por qué hay una menor amplitud y velocidad de los movimientos divergentes. Además, tanto la convergencia como la divergencia muestran comportamientos que sugieren que cada mecanismo se subdivide en componentes análogos para lograr una fusión sensorial (McCormack, p. 165).*

Además, existen subsistemas para la disparidad de vergencia fina y gruesa. La **disparidad de vergencia gruesa** responde a objetos grandes y disparidades retinianas gruesas. Los ajustes de detalle hacen parte de la función del mecanismo de **disparidad de vergencia fina**. El sistema de retroalimentación negativa, que se muestra en los diagramas, es lo que permite que la disparidad de vergencia fina fije con precisión y complete la fusión motora. Sin embargo, no siempre lo hace de manera perfecta. Una vez que se ha dado la disparidad de vergencia fina, se presenta aun un desalineamiento residual de los ejes visuales. Es decir, que aun existe una leve cantidad de disparidad, que continua estimulando el mecanismo vergencial fino. Esto se conoce con el nombre de **disparidad de fijación** (Figura 18.1).

La disparidad de fijación generalmente es tan leve que la imagen retiniana aun puede ser fusionada binocularmente. Recuerde que la disparidad de vergencia no es la única responsable de la fusión motora. También recibe ayuda de otros mecanismos vergenciales (tónicos, proximales, acomodativos).



**Figura 18.1** Componentes vergenciales activos al cambiar la fijación de visión lejana a visión próxima

La cantidad de disparidad de fijación es determinada por la demanda de disparidad vergencial (qué tan cercano está el objeto) y la ganancia de la señal neurológica. La ganancia describe la capacidad de respuesta que tiene la disparidad vergencial fina a la disparidad retiniana. La relación entre disparidad de fijación, demanda de disparidad de vergencia (DVD) y ganancia (G) se muestra en la siguiente ecuación (tomada de McCormack, p.166)

$$FD = DVD \times \left[ 1 - \left( \frac{G}{1 + G} \right) \right] \quad \dots \text{Ecuación 18.1}$$

Los valores normales de ganancia son de 100 aproximadamente, pero a mayor ganancia, menor disparidad de fijación para una distancia determinada. Para una ganancia fijada, la disparidad de fijación aumentará para puntos de fijación más cercanos.

A modo de ejemplo, considere el caso de un paciente cuya vergencia tónica hace que los ejes visuales sean paralelos, resultando en ortoforia en visión lejana. Si éste tiene una distancia pupilar de 64mm, la demanda de convergencia para fijar a 40cm es de 15 dioptrías prismáticas. Si la convergencia proximal y acomodativa proveen 10 dioptrías prismáticas, la disparidad de vergencia remanente es de 5 dioptrías prismáticas. La tabla 18.1 muestra como la disparidad de fijación variará con diferentes valores de ganancia, de acuerdo con la ecuación 18.1. Se estudiará la disparidad de fijación en mayor detalle más adelante.

**Tabla 18.1:** Disparidad de fijación para diferentes ganancias cuando la demanda de disparidad de vergencia es de 5 dioptrías prismáticas. Todas las unidades están en dioptrías prismáticas.

Demanda de disparidad de vergencia (DVD)	Ganancia (G)	Disparidad de fijación (FD)
5	100	0.05
5	125	0.04
5	150	0.03

Note que la disparidad de vergencia requiere de cierta disparidad para continuar funcionando.

**P** ¿que pasaría si este mecanismo alineara perfectamente los ángulos sobre el objeto de fijación?

**R** La demanda de vergencia sería cero y el estímulo para mantener la vergencia adecuada se perdería. Sin esta disparidad de vergencia, los ojos regresarían rápidamente a su posición de reposo. Sin embargo, la disparidad aumentaría y tendrían que regresar rápidamente a una posición de fijación. Esto sería un mecanismo inestable e ineficiente para mantener la fusión motora. Saladin (Capítulo 21 en Borish, p. 748-749) explica como la disparidad de fijación ayuda a mantener estable el alineamiento. [referencia alternativa: Schor and Cuiffreda: Vergence eye movements: basic and clinical aspects, 1983]

*[...]El mecanismo de control de disparidad de vergencia dirige el patrón inervacional hasta que se alcanza el nivel de vergencia deseado, con el controlador actuando de manera nula, su propia señal de error se transmite a través de un proceso de retroalimentación negativa. Al igual que sucede con el sistema acomodativo, esta situación nula, pareciera ser apropiada si el nivel de vergencia se encuentra en algún punto de reposo, sin embargo, incluso si este punto se alcanzase, el sistema se tornaría inestable porque no tendría ningún estímulo. Fluctuaría en retroceso y hacia una zona muerta de disparidad de algunos minutos de arco, dependiendo de la configuración del estímulo. [...] Una zona muerta es necesaria para mantener el ruido natural (finalización sin ningún estímulo externo) de un sistema constantemente estimulado. En lugar de pasar de un punto nulo (el centro de la zona muerta), sin embargo, el sistema se desplaza a una región de la zona muerta y por tanto, genera un error direccional específico para crear la señal necesaria para el control. [...] La cantidad de disparidad remanente para proveer un estado de quietud necesario o mantenimiento de la inervación, se conoce clínicamente como disparidad de fijación[...].*

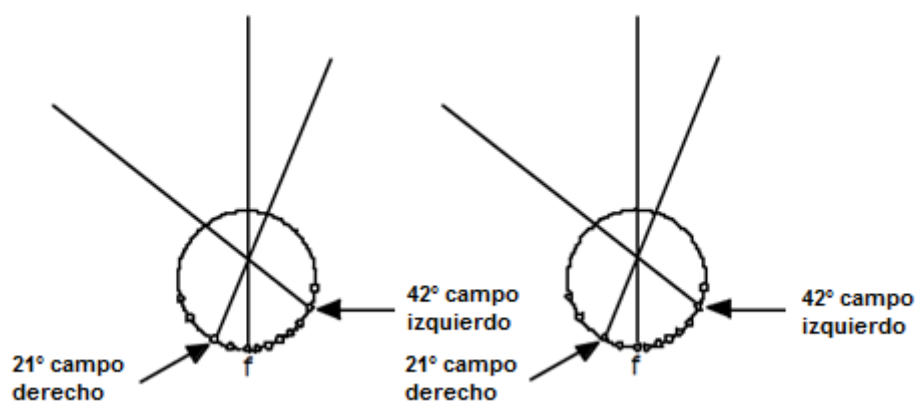
## FUSIÓN SENSORIAL E INTRODUCCIÓN AL HORÓPTERO

La fusión motora es un prerrequisito para la fusión sensorial, que es el proceso que emplea el sistema visual para combinar las imágenes retinianas de ambos ojos en una sola percepción. Ya hemos tocado algunos conceptos básicos de la fusión sensorial cuando se enseñó acerca de las direcciones visuales correspondientes entre ambos ojos. La fusión motora hace que ambos ojos apunten hacia el mismo objeto; en ese momento se deben tener imágenes similares cayendo en áreas correspondientes de ambas retinas. Los científicos antiguos de la visión, intentaron entender cómo se lleva a cabo la fusión.

*“El padre Franciscus Aguilonius (1613) apreció que las imágenes que se proyectaban para ambos ojos eran levemente distintas, dada la diferencia visual angular de cada ojo. El empleó este hecho para desarrollar y analizar las posiciones en el espacio que caerían en puntos correspondientes en ambos ojos”* (Tomado de Tyler, The Horopter and Binocular Fusion, in Binocular Vision, edited by Regan, 1991, p. 19) De las leyes de dirección visual, es sabido que los objetos en diferentes posiciones en el espacio caen en diferentes zonas retinianas y cada zona retiniana tiene una dirección visual determinada asociada. En otras palabras, cada punto retiniano tiene su propia dirección óculo-céntrica o señal local. Recuerde que según las leyes binoculares de dirección visual de Hering, cada línea visual de un ojo, tiene una línea visual correspondiente en el otro ojo con la misma dirección visual. Por tanto, cada punto retinal en un ojo tiene su **punto correspondiente** en la retina del otro ojo que tiene la misma dirección visual.

**P** ¿La dirección visual está asociada con un punto óculo-céntrico o egocéntrico correspondiente para determinada dirección visual?

**R** La figura 18.2 ilustra el concepto de las direcciones visuales correspondientes y los puntos correspondientes cuando los ojos fijan un objeto en el infinito. La imagen del objeto fijado cae en ambas fóveas, mientras que otro punto único, localizado a 42° hacia la izquierda del punto de fijación, estimula un par de puntos correspondientes—en la zona nasal de la retina izquierda y temporal de la retina derecha. Similarmente, un único punto en el espacio, situado a 21° hacia la derecha del punto de fijación, estimula otro par de puntos correspondientes. Para cada par de puntos correspondientes, es posible localizar un único punto en el espacio que los estimula.

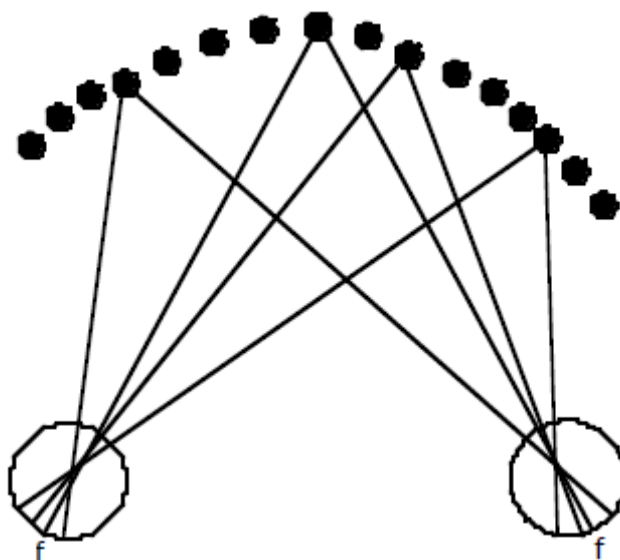


**Figura 18.2** Los puntos visuales correspondientes tienen la misma dirección visual óculo-céntrica..

Usted puede localizar los puntos en el espacio que estimulan puntos visuales correspondientes, encontrando la intersección de líneas visuales correspondientes. Esto se visualiza y mide más fácilmente cuando los ojos están fijando un objeto cercano. Si usted conecta un gran número de líneas visuales correspondientes provenientes de ambas retinas, se formará un arco similar al que se muestra en la figura 18.3. Este arco de puntos es conocido con el nombre de **horóptero**. El término fue inventado por Aguilonius y significa “el horizonte de la visión”

## CARACTERÍSTICAS DEL HORÓPTER TEÓRICO

Ya que, desde la definición, un objeto situado en el horóptero tiene la misma dirección visual en cada ojo, su imagen caerá en puntos retinales correspondientes. Los puntos retinales correspondientes tienen cero disparidad, ya que tienen la misma dirección visual óculo-céntrica.



**Figura 18.3** El horóptero o “el horizonte de la visión”

Teniendo en cuenta la definición del horóptero, se tiene por tanto, que hace referencia a la localización de los puntos en el espacio que producen **una disparidad retiniana de cero**. Dado a que la disparidad se genera por el desplazamiento horizontal de ambos ojos, el horóptero es un arco que se forma sobre el plano horizontal.

Aquilinius postuló que el horóptero cae en un círculo que incluye el punto de fijación y los puntos nodales de ambos ojos (fig 18.3). Cuando los ojos están fijando un objeto lejano, el círculo es grande; cuando se fija un objeto cercano el círculo es pequeño. Cada distancia de fijación tiene un horóptero asociado a ella. Vieth en 1818 y Müller en 1840, estudiaron la forma del horóptero y el círculo teórico descrito geoméricamente que se mostró anteriormente es conocido con el nombre de **Horóptero de Vieth-Müller, o círculo de Vieth-Müller**.

Teóricamente, para que exista una fijación simétrica en la línea media, el horóptero existe solo en el plano horizontal y en plano vertical que pasa a través del punto de fijación. Todos los otros puntos en el espacio estimularán zonas retinianas dispares. Con una fijación asimétrica, el horóptero se distorsiona en una curva compleja (**Fig.2.5, 6 de Tyler**, en el capítulo de Christopher Tyler, the horóptero and binocular fusion, in binocular vision , editado por Regan , 1991) Los horópteros mostrados en Tyler muestran puntos con disparidad cero en un espacio tridimensional conocidos como **puntos horópteros**.

Nuestro objetivo es entender los principios básicos de la fusión binocular, y con este propósito, es suficiente limitar la concepción del horóptero solo al plano horizontal. El horóptero generalmente se mide alineando bastones verticales, como en el equipo de **Howard Dolman**.

Ya que se emplean bastones verticales para medir el horóptero, el horóptero horizontal algunas veces es llamado **Horóptero longitudinal** (ver Steinman Fig 4.2 o Fig 24.4 en **Adler's Physiology of the eye**, ninth edition, 1992, p, 776)

## BIBLIOGRAFÍA

- Benjamin, W. **Borish's Clinical Refraction**. WB Saunders, Philadelphia. 2006. Chapter 5, pp 135-146.
- Steinman et al. **Foundations of Binocular Vision**. McGraw-Hill, New York, 2000. Chapter 4, pp 81-83.
- Tyler CW. **The horóptero and binocular fusion**. In Regan D, Binocular Vision. London: Macmillan; 1991
- McCormack GL. In **Borish's Clinical Refraction WB Saunders**, Philadelphia. (1998),
- Schor CM and Ciuffreda KJ. **Vergence eye movements: Basic and clinical aspects**. Butterworth, Michigan. 1983.
- Von Noorden GK. **Binocular Vision and Ocular Motility - 5th Edition**. Mosby, St. Louis. 1996.
- Goss DA. **Ocular accommodation, convergence, and fixation disparity: A manual of clinical analysis**. Butterworth-Heinemann, Michigan. 1995.
- Ciuffreda KJ and Tannen B. **Eye Movement Basics for the Clinician**. Mosby, St. Louis, 1995.
- Griffin JF. **Binocular Anomalies - Diagnosis and Vision Therapy, 3rd Edition**, Butterworth-Heinemann, 1995.
- Hart W. **Adler's Physiology of the Eye, 9th Ed**. Mosby Yearbook, St. Louis. 1992.
- Kaufmann, PL. **Adler's Physiology of the Eye, 10th Ed**. Mosby, St. Louis, 2003.
- Kandel. **Essentials of Neural Science and Behavior**, Appleton & Lange, 1995.
- Moses, RA. **Adler's Physiology of the Eye, 8th Ed**. Mosby Yearbook, St. Louis. 1987.
- Reading RW. **Binocular Vision**. Butterworth Publishers, Woburn, MA, 1983.
- Schwartz S. **Visual Perception - 2nd Edition**. Appleton & Lange, Stamford, CT, 1999.