



SENSIBILIDAD ABSOLUTA DEL OJO HUMANO

AUTOR

Thomas Salmon: Northeastern State University, EEUU

PAR REVISOR

Scott Steinman: Southern California College of Optometry, EEUU

ESTE CAPÍTULO INCLUIRÁ UNA REVISIÓN DE:

- El famoso experimento de Hecht, Schlaer & Pirenne
- Adaptación a la oscuridad
- Sensibilidad a lo largo del campo visual
- Experimentos y resultados

EL FAMOSO EXPERIMENTO DE HECHT, SCHLAER Y PIRENNE

En 1942, tres científicos, llamados Hecht, Schlaer & Pirenne llevaron a cabo un famoso experimento para responder la siguiente pregunta (Cornsweet, 1970).

- Bajo condiciones ideales, ¿Cuál es la cantidad mínima de luz que el ojo humano puede detectar?

En otras palabras ellos querían medir la sensibilidad absoluta del ojo humano. Revisaremos este experimento clásico porque el descubrimiento de ellos fue muy sorprendente e importante pues generó muchos de los conceptos básicos que los científicos y clínicos deben considerar al evaluar la visión. (Schwartz, mencionó en el 2004 brevemente este experimento en el capítulo 3, pag 30)

En principio, se puede ver como un simple experimento. La intensidad luminosa más baja percible por el ojo humano debería poder ser medida mostrándole a un paciente una luz y reduciendo su intensidad hasta que no sea visible. Esto me recuerda un comentario que hizo un estudiante recién graduado en la Universidad de Indiana. Él preguntó, “¿qué tiene de difícil obtener un PhD? Todo lo que se hace es tomar las clases adecuadas, hacer algunos experimentos, recolectar datos y escribir un informe”. No le tomó a él mucho tiempo en darse cuenta que, cuando se trata de la ciencia (si se hace de manera adecuada), las cosas son **mucho** más complicadas de lo que se piensa al principio.

Una descripción del experimento aparentemente simple de Hecht se complica rápidamente al considerar los detalles. Además de tener que construir un equipo que pudiera controlar de manera precisa la intensidad de la luz, tuvieron que considerar lo siguiente en su diseño experimental:

- ¿Qué tanto tiempo debe adaptarse el paciente a la oscuridad antes de empezar el experimento?
- ¿En qué parte del campo visual se debe mostrar la luz?
- ¿Qué tan grande debe ser la luz?
- ¿Qué tanto tiempo debe mostrarse?
- ¿De qué color debe ser la luz del test?

ADAPTACIÓN A LA OSCURIDAD

Se sabe que el ojo es mucho más sensible cuando se ha estado en la oscuridad por un tiempo. Por ejemplo, si se entra a un cine o a un cuarto oscuro en un día soleado, no se podrá ver bien al principio. Con el tiempo, sin embargo, los ojos se adaptan a la oscuridad y se comienza a ver muy bien, incluso si la luz es muy baja.

Como lo que ellos querían era medir la sensibilidad absoluta, Hecht et al. Quisieron ver cuando el ojo tenía una sensibilidad máxima. Por lo tanto, era obvio que primero el paciente tuviera que adaptarse a la oscuridad.

La pregunta surgió: ¿Cuanto tiempo debe esperar el paciente en la oscuridad para empezar el experimento? ¿media hora? ¿dos horas? ¿ocho horas? Diferentes investigaciones ya habían revelado como la sensibilidad del ojo aumentaba con el tiempo en la oscuridad; esto es lo que se conoce con el nombre de : **Función de adaptación a la oscuridad** (Fig. 4-1).

La adaptación a la oscuridad, o la habilidad que los ojos tienen para acostumbrarse a la oscuridad, aumenta rápidamente, pero, se nivela luego de 30 minutos. Por lo tanto, ellos decidieron dejar que sus pacientes se adaptaran por 40 minutos a la oscuridad.

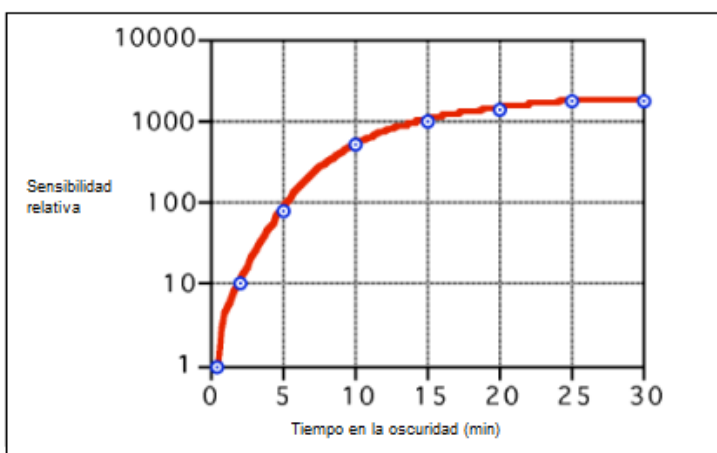


Figura 4-1: Curva de adaptación a la oscuridad

SENSIBILIDAD A LO LARGO DEL CAMPO VISUAL

La agudeza visual varía en diferentes zonas de la retina. La mejor agudeza visual se mide en la fovea, en donde los fotorreceptores conos, están agrupados de manera más densa. En forma similar la sensibilidad del ojo varía según la localización retiniana. Ésta es principalmente una función de los bastones, por tanto Hecht et al. Decidieron situar la luz del test de tal manera en que su imagen se formara en la zona retiniana con mayor densidad de bastones. La figura 4.2 muestra la densidad de bastones a lo largo de la zona horizontal de la retina.

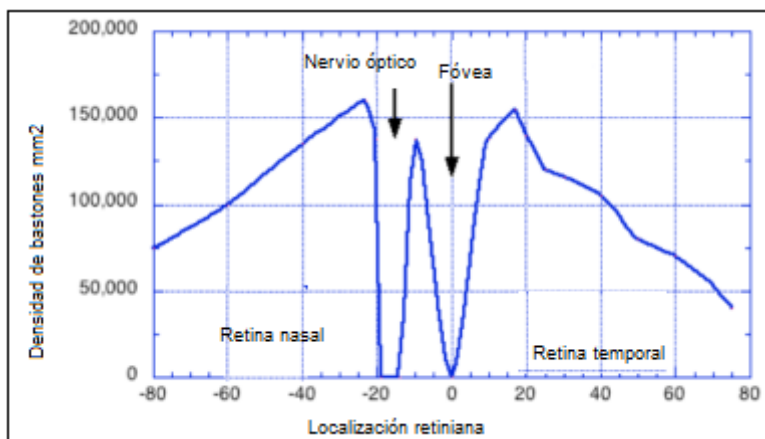


Figura 4-2: Densidad de bastones a lo largo de la retina (redibujado de Perception, por Tom Cornsweet p. 11)

SENSIBILIDAD A LO LARGO DEL CAMPO VISUAL (CONT.)

La densidad de bastones es máxima hacia los 15-20° nasales o temporales a la fóvea. Hecht decidió proyectar la imagen a un punto a 20° temporales a la fóvea, por lo tanto situó la luz del test 20° nasales a una luz de fijación roja, como se muestra en la Figura 4-3.

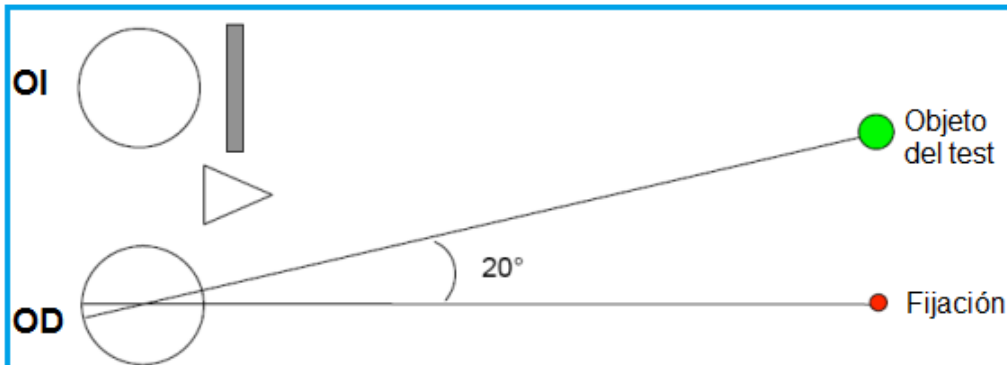


Figura 4-3 Estimulo para el ojo derecho situado a 20° del punto de fijación, por tanto la imagen se forma en la retina temporal, donde la densidad de fotorreceptores baston es máxima

TAMAÑO DEL ESTÍMULO

Se habian realizado varios estudios para determinar la relación entre el total de cuantos que se necesitan para detectar una luz y su tamaño. Siempre y cuando el punto fuera menor a 10 minutos de arco en diámetro, el total de luz requerida para detectarlo es constante. Por encima de este tamaño, se requería más luz para detectar el estímulo. Esto se relaciona con un fenómeno conocido con el nombre de sumación espacial y ley de Ricco, temas que se estudiarán en mayor detalle más adelante. Hecht y su equipo decidieron hacer su punto del test de 10 minutos de arco en diámetro, aunque una luz más pequeña también hubiese sido aceptable (Fig 4-4)

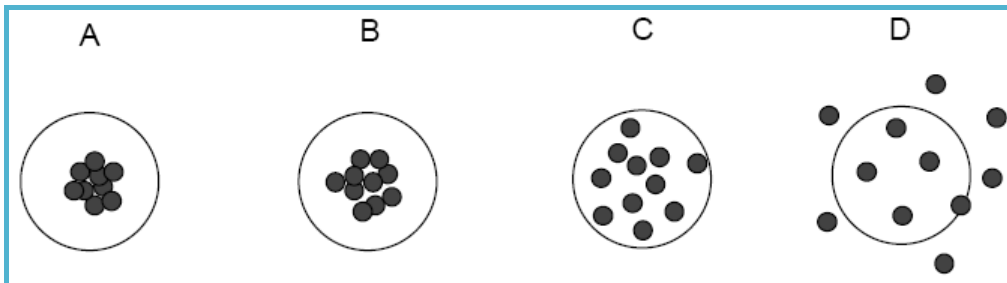


Figura 4-4: Estimulo para el ojo derecho situado a 20° del punto de fijación, por tanto la imagen se forma en la retina temporal, donde la densidad de fotorreceptores baston es máxima

Siempre y cuando la luz incida en un diámetro circular de 10 minutos de arco (A a la C), el total de luz que se necesitará para detectar el estímulo no importa. Los puntos muestran la distribución de fotones. Si la distribución de la luz es mayor a 10 minutos de arco (D), más luz se requerirá para detectar el estímulo. Este fenómeno se estudiará en mayor detalle en el capítulo 9.

DURACIÓN DEL ESTÍMULO

Varios tests se habian hecho para estudiar la relación entre el total de cuantos requeridos para detectar una duración de un flash. Siempre y cuando la duración del flash sea menor a 100 milisegundos (llamada la duración crítica para los bastones), el numero total de de quiantos requeridos para la detección del estímulo será el mismo. Para una duración mayor, se requiere más luz. Esto se relaciona la **sumación temporal y la ley de Bloch**, temas que serán estudiados en mayor detalle más adelante en esta sección (Capítulo 10). Hecht et al seleccionaron un flash que durará un milisegundo.

SENSIBILIDAD A LO LARGO DEL CAMPO VISUAL (CONT.)

COLOR DEL ESTÍMULO

Hecht llevó a cabo un experimento con las siguientes condiciones, pero, uso luces de diferentes longitudes de onda. Él midió la cantidad mínima de cuantos requeridos para que un paciente detectara la luz a diferentes longitudes de onda y encontró que bajo esas condiciones el ojo era más sensible a la luz de 510nm (verde) (Fig 4-5)

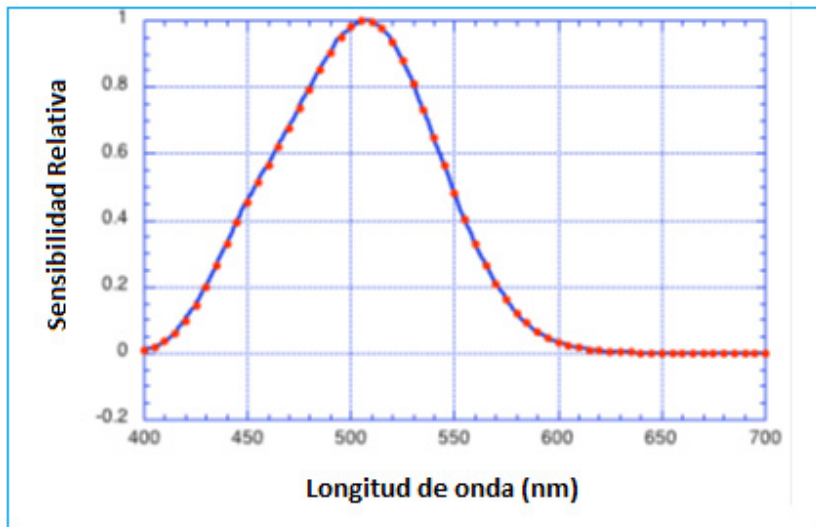


Figura 4-5: Sensibilidad en función de la longitud de onda, bajo condiciones de oscuridad

EXPERIMENTOS Y RESULTADOS

Después de haber establecido esos detalles, Hecht llevo a cabo los siguientes experimentos con las siguientes condiciones

- Pacientes adaptados a la oscuridad por 40 minutos
- Realizar el examen de manera monocular
- Los pacientes fijaron una luz roja de baja intensidad
- El estímulo (punto del test) se situó a 20° nasal al punto de fijación
- El punto del test tenía un diámetro de minutos de arco
- La luz del test se mostró por un milisegundo
- La longitud de onda fue de 510nm (verde)

Cuando el paciente estaba listo éste debía presionar un botón, al hacer esto la luz del test se mostraba. Luego debía referir si vio el estímulo. Posteriormente la intensidad de la luz se reducía para encontrar la intensidad mínima que el paciente podía percibir.

Hecht et al. determinaron que bajo esas condiciones un paciente podía ver con dificultad el estímulo si este presentaba 90 cuantas justo al frente de la córnea. Esto es increíblemente sensible comparandolo con cualquier sensor de luz hecho por el hombre

Este resultado llevó a una pregunta aún más interesante: “ Si al menos 90 cuantos de luz deben entrar al ojo para hacer visible un estímulo, cuál es la cantidad mínima de luz que puede detectar un fotorreceptor bastón?”

Si 90 cuantos de luz deben presentarse para que el ojo los detecte, esto no significa que necesariamente los fotorreceptores de la retina requieren un mínimo de 90 cuantos porque no el total de los 90 fotones llegan a la retina. La mayoría de los 90 cuantos que inciden en el ojo nunca llegaron a los fotorreceptores de la retina. Hecht et al concluyeron lo siguiente acerca de los 90 fotones:

- De los 90 cuantos que inciden en el ojo
- Alrededor del 3% se reflejan en la córnea
- Alrededor del 47% son absorbidos por los medios ópticos y el pigmento
- Alrededor del 40% cae entre los bastones de la retina y es absorbido por el epitelio pigmentario de la retina

Eso deja un remanente estimado de 10% de la luz incidente. Por lo tanto, solo de 9 a 10 fotones llegan a la retina y son absorbidos por los bastones.

EXPERIMENTOS Y RESULTADOS(CONT.)

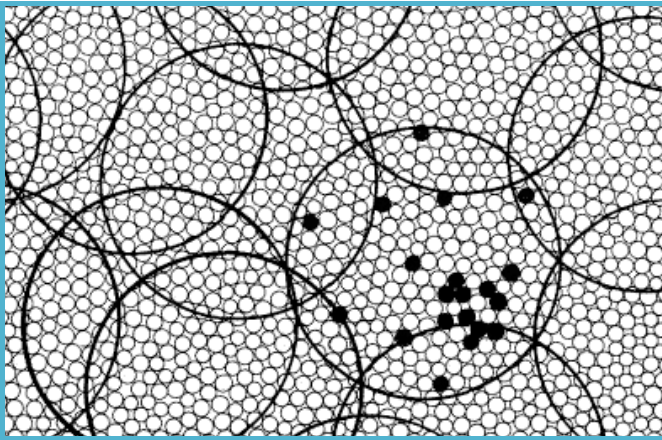


Figura 4-6: Ilustración de algunos fotones dispersos a lo largo de un área retiniana de 10 minutos de arco. Los círculos de color blanco representan los bastones[tomado de Cornsweet (1970) p. 17]

Estos 10 fotones incidieron en un área retiniana de 10 minutos de arco, que agrupaban alrededor de 500 bastones. Si los fotones se distribuyeran de una manera aleatoria se puede asumir que cada fotón incidió sobre un bastón diferente. Hecht et al. concluyeron de manera sorprendente lo siguiente, citado de Cornsweet:

Esto significa que **un solo cuanto** debe ser suficiente para activar un bastón y que el efecto de activación de alrededor de otros 10 bastones cercanos se lleva a cabo de alguna manera por el sistema visual. ... El hallazgo principal de Hecht et al., de que un solo cuanto de energía es suficiente para activar un bastón, está firmemente establecido.

(Cornsweet, T. Visual Perception. Academic Press, New York, 1970. p. 25-26.)

LECTURAS RECOMENDADAS/REFERENCIAS

- Schwartz SH. **Visual Perception - A Clinical Orientation, 3rd Edition**. Appleton & Lange, Stamford, Connecticut, 2004
- Cornsweet, T. **Visual Perception**. Academic Press, New York, 1970. Chapter 2