

# LA TEORÍA DE LA DETECCIÓN DE LA SEÑAL

## AUTOR

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

## PAR REVISOR

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

## ESTE CAPÍTULO INCLUYE UNA REVISIÓN DE:

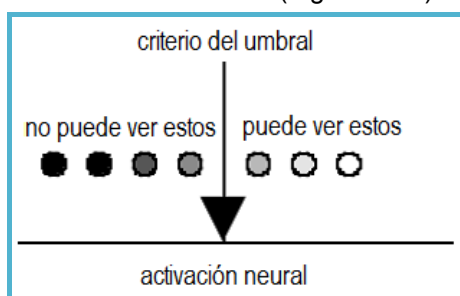
- La activación neuronal necesaria para la detección
- El ruido neuronal de fondo
- Excitación neuronal cuando el estímulo está presente y ausente
- Detectabilidad
- Efecto de la diferencia de criterio

## INTRODUCCIÓN

Cada vez que un sujeto intenta detectar un estímulo, su criterio de umbral puede variar dependiendo de factores tales como la motivación, la atención, la fatiga, etc. Estos afectan a la respuesta. La respuesta también puede variar dependiendo de la cantidad de ruido de fondo en el sistema neuronal en ese momento. La **teoría de la detección de la señal** intenta dar cuenta de la influencia del ruido neuronal de fondo y los variados criterios subjetivos en la medición del umbral.

La Activación Neuronal Requerida para la Detección

Cada vez que se estimula el sistema visual, el cerebro recibe una señal eléctrica. Schwartz (2004) se refiere a esto como **activación neuronal**. Para estímulos muy débiles, la activación neuronal es pequeña, pero para los estímulos fuertes es grande. En aras de dar una explicación clara, supongamos que, para que el sujeto detecte el estímulo (lo vea), la activación neuronal debe superar algún criterio de umbral fijado en el cerebro. Siempre que la activación neuronal supere este umbral, el sujeto responderá, "lo veo". Para la activación neuronal por debajo de este, el sujeto va a decir: "no lo veo". (Figura 32-1)

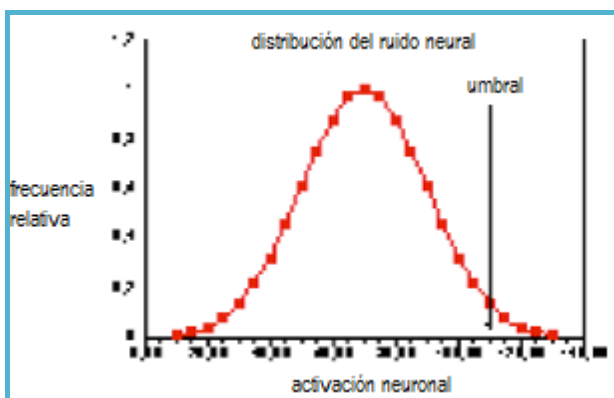


**Figura 32-1:** Cada vez que los receptores retinales reciben una imagen, envían una señal a l cerebro que es proporcional a la fuerza del estímulo. Cada vez que la señal neuronal es lo suficientemente fuerte, la persona percibirá que ve un objeto

## INTRODUCCIÓN (CONTINUACIÓN)

### RUIDO NEURONAL DE FONDO

Incluso cuando el estímulo no está presente, las neuronas disparan aleatoriamente, aunque el nivel de actividad eléctrica es muy baja. Sin embargo, siempre está presente y se llama ruido neuronal de fondo. La fuerza del ruido neuronal es variable. A veces el ruido crea un nivel muy pequeño de activación neuronal, a veces más. En cualquier momento, el valor de la activación neuronal variará al azar, pero se puede asumir que el rango de valores tendrá una distribución normal alrededor de un valor medio. La Figura 32-2 muestra una distribución de probabilidad para los valores de ruido neuronal. Es una curva en forma de campana, que representan una distribución normal, o Gaussiana. Incluso cuando no hay estímulo presente, el cerebro recibe la activación neuronal con una distribución de probabilidad tal como la mostrada en el gráfico.

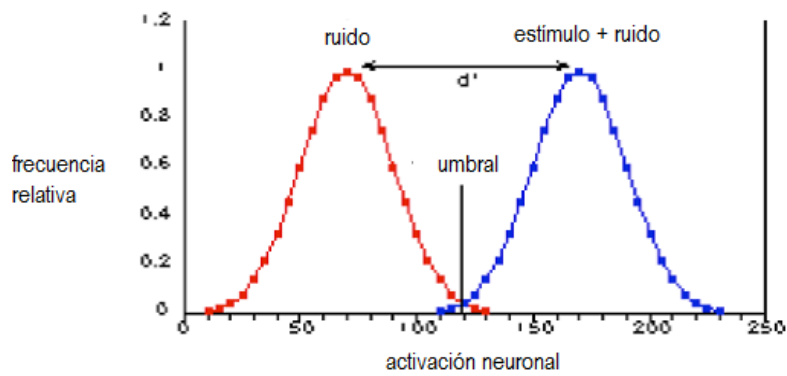


**Figura 32-2:** Distribución de la activación neuronal debida solo al ruido

La Figura 32.2 también indica el nivel de activación neuronal para el umbral. El ruido neuronal de fondo lo general produce una señal débil que está muy por debajo de criterio de umbral de detección. Sin embargo, en algunos casos raros el ruido neuronal de fondo podría ser lo suficientemente fuerte para exceder el criterio de umbral. En ese caso, la persona podría pensar erróneamente que está viendo el estímulo, pero en realidad solo es la recepción de la activación neuronal causada por ruido neuronal. La probabilidad de que esto ocurra es baja. Es proporcional al *área bajo la curva a la derecha de la línea de criterio*. Por supuesto, esto solo puede ocurrir si el criterio del umbral es lo suficientemente bajo que cae dentro del rango de la distribución de ruido

### EXCITACIÓN NEURONAL EN LA PRESENCIA DEL ESTÍMULO

Se va a suponer que, con una intensidad particular, el estímulo por sí solo provoca siempre una cantidad fija de activación neuronal cada vez que se presenta. Por ejemplo, se supondrá que el estímulo por sí solo causa una señal neuronal con una fuerza arbitraria de 100 unidades. Puesto que el ruido está siempre presente, la activación neuronal total recibida cuando el *estímulo esté presente* será debido a los efectos combinados del **estímulo + ruido neuronal**. Dado que el estímulo tiene siempre el mismo valor, y el ruido varía al azar, la suma de estímulo + ruido también variará. Como la variación es completamente debida a los cambios en el ruido, la distribución de la probabilidad de la señal de estímulo + ruido será la misma forma que la distribución de probabilidad del ruido (curva en forma de campana), pero se desplazará a la derecha. Esto es debido a que la excitación del estímulo se añade al ruido. (Fig. 32-3 o fig. 11-5 de Schwartz, 2004)



**Figura 32-3:** Dos distribuciones; la curva en campana de la izquierda representa la distribución de la probabilidad solo para el ruido. La curva de la derecha representa la distribución para el estímulo más el ruido

## INTRODUCCIÓN (CONTINUACIÓN)

Tenga en cuenta que las dos curvas muestran dos diferentes condiciones de estímulo - cuando el estímulo se apaga y cuando está encendido. El sujeto recibirá la activación neuronal de una u otra distribución. Gráficas similares se muestran en Schwartz (2004), pero es importante entender que el gráfico no muestra dos condiciones presentes al mismo tiempo. Más bien, son dos presentaciones posibles, ya sea con el estímulo encendido o apagado, y las dos distribuciones se muestran en la misma curva para su comparación. En cualquier momento, la señal neuronal vendrá ya sea de una u otra de estas distribuciones.

Nótese donde se dibuja el criterio mínimo y considere solamente la curva de estímulo + ruido. La mayor parte del tiempo, cuando el estímulo se activa, la activación neuronal de los estímulos más ruido estará encima de la línea de criterio, y el cerebro responderá, "lo veo".

*La probabilidad de ver el estímulo, cuando está activado, es proporcional al área bajo la curva a la derecha de la línea de criterio.* Suponiendo que el área total es igual a 1,0, la probabilidad de detección, en este caso, es de aproximadamente el 98%.

También se debe tener en cuenta, sin embargo, que a veces incluso cuando el estímulo está presente, el ruido es tan bajo que la señal neuronal combinada del estímulo más el ruido cae por debajo de la línea de criterio de umbral. Siempre que la activación neuronal sea baja, el cerebro responde, "No veo". Esto está indicado por el área bajo la curva a la izquierda del criterio. Según esta curva, la probabilidad de que esto ocurra es muy baja - aproximadamente el 2%.

## ACTIVACIÓN NEURONAL EN LA AUSENCIA DE ESTÍMULO

Cuando no se presenta estímulo, la distribución de probabilidad para recibir un cierto nivel de activación neuronal (debido solo al ruido) se muestra por la curva en forma de campana izquierda en la Figura 32-3. La mayor parte del tiempo, la activación neuronal causada solo por el ruido está por debajo de criterio de umbral, y el sujeto dirá correctamente que no ve nada. La probabilidad de que se responda correctamente que el estímulo no está presente, cuando no está presente, *es proporcional al área bajo la curva de solo ruido a la izquierda de la línea de criterio.* En este ejemplo, hay una probabilidad de 98% de que la persona indique correctamente que el estímulo no está presente.

También se debe tener en cuenta que, sólo el ruido es suficiente para exceder el criterio del umbral, y el paciente puede pensar incorrectamente que lo ve, la probabilidad de que esto pase, es proporcional al área debajo de la curva del ruido, en la parte derecha de la línea, en este caso, aproximadamente del 2%.

## DETECTABILIDAD

Un sujeto debe decidir si ve un estímulo basado en la excitación neuronal que recibe. Él no sabrá de qué distribución vino la excitación neuronal -si la excitación vino del ruido solamente, o si se trataba de la señal + ruido. Mientras exceda el umbral, la respuesta es la misma; "lo veo".

En cada prueba en el experimento, la persona trata de decidir si está mirando a la distribución de solo ruido o de la señal + ruido, pero la única información disponible para él es el valor de excitación neuronal. Cuando la intensidad del estímulo es pequeña la curva de la derecha se desplaza a la derecha de la curva de nivel de solo ruido ligeramente y habrá mucha superposición de las dos distribuciones. En ese caso, será difícil definir el estímulo del ruido, y el sujeto probablemente cometerá muchos errores.

*Si la intensidad del estímulo es grande, la distribución de la señal + ruido será desplazada más hacia la derecha y será más fácil de distinguir entre las distribuciones.* El sujeto probablemente cometerá pocos errores.

## EFECTO DE LA DIFERENCIA DE CRITERIO

En la Fig. 11-7 de Schwartz (2004) ilustra cómo la respuesta de un sujeto a una tarea de detección dependerá del nivel de su criterio. En este ejemplo,  $d'$  es pequeña (pequeña intensidad del estímulo), por lo que si la distribución del ruido (N) y la señal + ruido (N + S) son dibujados en la misma gráfica, se tendría una considerable superposición. Es importante recordar, sin embargo, que durante cualquier ensayo en particular, el sujeto verá una señal neuronal producida YA SEA por la distribución de N o N + S, pero no ambos. ¿Cómo podrían afectar los resultados los diferentes criterios de acuerdo a la teoría de detección de las señales?

Considerando un experimento hipotético. Un sujeto se encuentra en una habitación perfectamente oscura frente a un panel y, después de oír un tono, debe informar si vio la luz tenue o no. Para mantener la honestidad, el experimentador mezclará en algunas pruebas nulas en las presentaciones. Es decir, a veces, cuando suena el tono, la luz no se enciende; otras veces estará presente. Cada vez que oiga el tono, el sujeto debe decir: "lo vi" o "no lo vi".

Por cada presentación, hay dos respuestas posibles, cada una de las cuales podría estar bien o mal. La Tabla 32.1 resume los cuatro resultados posibles.

**Tabla 32-1:** Cuatro respuestas posibles en el experimento de detección

	ESTÍMULO PRESENTE	SIN ESTÍMULO
DICE, "LO VI"	acierto (verdadero positivo)	falsa alarma (falso positivo)
DICE, "NO LO VI"	desacierto (falso negativo)	Rechazo correcto (verdadero negativo)

Cómo respondería el sujeto para los varios niveles de criterio?

### CRITERIO LAXO – SOLO RUIDO

Schwartz, 2004: en la figura 11-7A muestra cómo el sujeto respondería si el criterio fuese bajo o laxo. El sujeto va a decir, "lo veo" con bajos niveles de excitación neuronal. En una prueba de campos visuales se le llamarían una persona "gatillo fácil".

La Figura 11-7A muestra cómo la persona respondería si no hay estímulo presente durante una prueba particular. En este caso, el cerebro recibe la activación neuronal solo del ruido. Gran parte del tiempo la excitación producida solo por N está por encima del criterio. Él va a decir, "lo veo," pero es solo ruido. Esta respuesta se llama una **falsa alarma**, o **falso positivo**.

**P. Cuál es la probabilidad de obtener una falsa alarma con este criterio?**

R. \_\_\_\_\_

A veces la excitación de N estará por debajo de criterio. Él responde que no ve nada, lo cual es correcto - no hay nada más que ruido. Esto se conoce como un **rechazo correcto** o **verdadero negativo**.

**P. Cuál es la probabilidad de obtener un rechazo correcto con este criterio?**

**R. criterio Lax - señal + ruido**

La Figura 11-7A muestra cómo la persona respondería si el estímulo se activa durante una presentación. El criterio es el mismo, pero ahora la excitación neuronal es causada por la distribución N + S. La mayor parte del tiempo, la señal + ruido estará por encima del criterio. Él dice, "lo veo", lo cual es correcto. Esto se conoce como un **acierto** o **verdadero positivo**.

**P. Con esta detectabilidad y este criterio, cuál es la probabilidad de obtener un acierto?**

A. \_\_\_\_\_

En algunas ocasiones, el S + N producirá solo excitación neuronal débil. La señal se entrega en un momento en el ruido de fondo es muy bajo. A pesar del hecho de que el estímulo está presente, el sujeto responde: "no lo vi". Esto se llama un **desacierto (falso negativo)**, ya que él no pudo ver el estímulo cuando estaba presente.

## EFECTO DE LA DIFERENCIA DE CRITERIO (CONTINUACIÓN)

**P. Con esta detectabilidad y este criterio, cuál es la probabilidad de obtener un desacierto?**

**R.** \_\_\_\_\_

A partir de estos ejemplos, podemos ver que, cuando el criterio se establece bajo, consiguen muchos aciertos, pero también muchas falsas alarmas. Es posible influir en el criterio de un paciente mediante sanciones o recompensas. Por ejemplo, supongamos que se le dice a un sujeto, "Cada vez que vea la luz tenue, se le va a dar 100 dólares". Esto animará al paciente a establecer su criterio bajo, y él estará apresurado por decir "lo veo". Esto hará que haya muchas falsas alarmas, pero él también correctamente dirá que lo ve cuando está presente en la mayor parte de las veces (muchos aciertos).

### CRITERIO ESTRICTO – SOLO RUIDO

En la figura 11-7B Schwartz, 2004: muestra cómo el sujeto respondería si el criterio fuera estricto. El sujeto va a decir, "lo veo" solo si la excitación neuronal es relativamente alta. Solo en las pocas ocasiones en las que el ruido excede el criterio la persona dirá que lo ve.

**P.Cuál es la probabilidad de obtener una falsa alarma (falso positivo) con este criterio?**

**R. La mayor parte de la distribución de N está por debajo de criterio, así que la mayoría de las veces, cuando el estímulo no esté presente, la persona va a decir correctamente que no lo ve.**

**P. ¿Cuál es la probabilidad de obtener un rechazo correcto con este criterio?**

**R. Criterio estricto - señal + ruido**

La Figura 11-7B muestra cómo el sujeto respondería si el estímulo se enciende, cuando el criterio es estricto. Parte de la distribución  $N + S$  está por encima del criterio. Esto indica la probabilidad de que la persona diga que lo ve, cuando está presente (un acierto).

**P. Con esta detectabilidad y este criterio, cuál es la probabilidad de obtener un acierto?**

**R. La mayor parte de la distribución  $N + S$  está por debajo de criterio. Esta región representa los casos en que el sujeto dirá no lo ve cuando en realidad está presente (un desacierto).**

**P. Con esta detectabilidad y este criterio, cuál es la probabilidad de obtener un desacierto?**

**A. Con un criterio alto, se obtienen pocas falsas alarmas, pero muchos fallos (pocos aciertos). Se puede influir al sujeto para que establezca su criterio de alto con sanciones. Por ejemplo, si se le dice, "Se le va a dar una descarga eléctrica si dice que lo ve cuando no está realmente presente". El sujeto será probablemente inducido a un criterio muy alto y solo responderá si está absolutamente seguro que lo ve.**

Usando la misma lógica, se debe analizar la probabilidad de obtener cada una de las cuatro respuestas con el criterio moderado mostrado en Schwartz, 2004: fig. 11-7C.

- Falsa alarma (falso positivo)
- Rechazo correcto (verdaderos negativos)
- Acierto (verdadero positivo)
- Desacierto (falso negativo)

Tanto en las pruebas clínicas como experimentales, es posible modificar los criterios de un sujeto mediante el fomento, cautivando u ofreciendo recompensas o sanciones. Piense en cómo lo hace usted en las pruebas clínicas.

## LECTURAS/REFERENCIAS SELECCIONADAS

- Schwartz SH. **Visual Perception - A Clinical Orientation, 3rd Edition**. Appleton & Lange, Stamford, Connecticut, 2004